



MENDEL

**Minimale Belastung elektrischer Netze
durch Ladevorgänge von Elektrobussen**

Sachbericht zum Verbundprojekt



Vorgelegt bei:

Projektträger
Technische Innovationen in der Wirtschaft
Linder Höhe
51147 Köln

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



MENDEL

**Minimale Belastung elektrischer Netze
durch Ladevorgänge von Elektrobussen**

Sachbericht

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

Institut für Verkehrssystemtechnik

Förderprogramm: IKT für Elektromobilität III	Förderkennzeichen: 01 ME 15007C
Titel des Teilvorhabens: Kooperative Assistenz für elektrisch angetriebene ÖPNV Fahrzeugflotten	
Zuwendungsempfänger: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) Institut für Verkehrssystemtechnik	
Autoren: Jan Trumpold, Sten Ruppe, Daniel Wesemeyer, Lars Wölfel, Maik Bargmann	
Laufzeit des Vorhabens: von: 01.01.2016 bis: 30.06.2019	Datum: 19.12.2019

Vorgelegt bei:

Projektträger
Technische Innovationen in der Wirtschaft
Linder Höhe
51147 Köln

Gefördert durch:



Inhalt

Inhalt	3
Abbildungsverzeichnis	4
1. Aufgabenstellung	6
1.1. Projektziel	6
1.2. Konkrete Zielstellung dieses Teilvorhabens	6
2. Voraussetzungen	8
2.1. Anknüpfung an andere Forschungsprojekte	8
2.2. Bisherige Arbeiten des Antragstellers	9
3. Planung und Ablauf des Vorhabens	10
3.1. Zeitplan	10
3.2. Konzept	11
4. Wissenschaftlicher und technischer Stand	13
4.1. Teilprojekt Smart Grid	13
4.1.1. Lastmanagement	13
4.2. Teilprojekt ITS	13
4.2.1. Dezentrale Implementierungsansätze	13
4.2.2. Zentrale Implementierungsansätze	14
4.2.3. Fahrerassistenzsysteme	14
5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen	16
6. Ergebnisse	17
6.1. Teilprojekt Smart Grid	17
6.1.1. Lastmanagement	17
6.2. Teilprojekt ITS	25
6.2.1. Anforderungsanalyse ITS	26
6.2.2. System- und Schnittstellenspezifikation ITS	40
6.2.3. Systemimplementierung ITS	72
6.2.4. Systemintegration ITS	82
6.3. Feldtest, Simulation und Bewertung	87
6.3.1. Erprobung des Gesamtsystems in Simulation und im Feld	87
6.3.2. Bewertung der Ergebnisse	92
7. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	100
8. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit	101
9. Fortschritt bei anderen Stellen	102
10. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen	103



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Projektstruktur.....	10
Abbildung 2: Zeitplan für das Gesamtprojekt MENDEL	11
Abbildung 3: Konzept für das Gesamtprojekt MENDEL	12
Abbildung 4: Dezentrale ÖV-Priorisierung mit R09/16-Telegrammen	14
Abbildung 5: Vereinfachte Systemarchitektur des Teilprojekts "Smart Grid"	17
Abbildung 6: Einordnung in das MENDEL-Gesamtkonzept	18
Abbildung 7: Systemaufbau Lastmanagement	20
Abbildung 8: Beispiel für eine erhöhte Spitzenlast durch eine unerwartete Verzögerung	22
Abbildung 9: Vereinfachte Systemarchitektur des Teilprojekts "ITS"	26
Abbildung 10: Rolle des Smart Traffic Center im kooperativen Systemverbund	27
Abbildung 11: Kooperativer Systemverbund von Verkehrsrechner, Smart Traffic Center und ITCS	27
Abbildung 12: Übernahme von Fahrt-Daten und Versenden bzw. Verteilen von ÖV-Befehlen und Rückmeldungen	28
Abbildung 13: Übernahme von LSA-Daten und Verteilung von Prognosedaten durch das STC	31
Abbildung 14: LSA-Kommunikationswege	35
Abbildung 15: Anbindung des ÖV-Fahrer-Assistenten an das STC	39
Abbildung 16: Schnittstellen im Teilprojekt ITS für das Idealsystem im DLR-Testgelände	47
Abbildung 17: Schnittstellen im Teilprojekt ITS für das Testfeld Braunschweig.....	48
Abbildung 18: Definition der CentralVehicleNotification	53
Abbildung 19: Definition der OCIT-C PredictedSPaT	54
Abbildung 20: Definition der OCIT-C CamR09	55
Abbildung 21: Das Testfeld Braunschweig	66
Abbildung 22: Meldepunkt-Konfiguration in der Zentrale	69
Abbildung 23: Kooperativer Systemverbund aus ITCS, Smart Traffic Center (Verkehrsmanagementebene), Verkehrsrechner (LSA-Steuerung) und LSA-Steuerungsverfahren	72
Abbildung 24: Tabellarische Darstellung der VDV-Routendaten für Braunschweig.....	73
Abbildung 25: Importierte VDV-Routen und Haltestellen in Braunschweig.....	73
Abbildung 26: Drei Wege, über die das Smart Traffic Center die Positionsmeldungen empfängt: Über die Smartphone-App, das ITCS oder eine RSU, welche an der LSA CAM-Meldungen von Bussen mit einer OBU (On Board Unit) empfängt	74
Abbildung 27: Visualisierung von Positionsmeldungen, Meldepunkten und Anmeldungen der zentralen ÖV-Priorisierung auf dem DLR-Testgelände	75
Abbildung 28: Anzeige einer ÖV-Fahrt der Linie 560 in Braunschweig im Testgebiet.....	76
Abbildung 29: Visualisierung eines Entscheidungsbaums für eine Signalgruppe im DLR-Testgebiet. Am linken Rand ist die Baumstruktur zu erkennen, rechts entsprechen dunkle Bereiche prognostizierten Grünphasen.	78
Abbildung 30: Definition von AP-Werten für Anforderungen im VIAP CROSSIG	79
Abbildung 31: Bearbeitung von Meldestrecken mit Zwangsabmeldung im VIAP CROSSIG	79
Abbildung 32: Screenshots aus der ÖV-App	80
Abbildung 33: Logmeldungen von im Server eingegangenen Positionsmeldungen der App (grün), Linien 450 und 560 in Braunschweig. Dazwischen sind einige Rückgaben mit Prognosedaten erkennbar (grau).....	81
Abbildung 34: Beispiele möglicher GUI-Anzeigen auf dem Bordrechner	82
Abbildung 35: Testaufbau DLR-Gelände	84
Abbildung 36: Prototypische GUI der ÖV-Priorisierung mit Fahrtenliste (links oben), ausgewählter Fahrt (unten) und gesendeten Meldungen (rechts oben)	85
Abbildung 37: LSA auf dem Gelände des DLR (Copyright IKT III Annette Hornischer)	86



Abbildung 38: SUMO-Simulation von Braunschweig mit Auswertung von Elektrobus-Kennwerten	88
Abbildung 39: DLR-Testgelände mit ÖPNV-Fahrtverlauf	89
Abbildung 40: Testkreuzung mit Lichtsignalanlage und Forschungsfahrzeug des DLR	90
Abbildung 41: MENDEL-Testfeld innerhalb der Großforschungsanlage Anwenderplattform Intelligente Mobilität (AIM) des DLR im Stadtgebiet von Braunschweig	90
Abbildung 42: Mögliche Varianten für den Feldversuch in Braunschweig	91
Abbildung 43: Übersicht der Gesamtsystemkopplung (Kopplung "ÖV- und IV-Zentrale")	93
Abbildung 44: Übersicht der Reichweitenmessung der Car2X-Kommunikation	94
Abbildung 45: Gemessene Latenzzeiten bei CAM-Nachrichten	95
Abbildung 46: Zeit-Weg-Diagramm mit idealisiertem Fahrtverlauf und Freigabezeitanpassung an LSA	95
Abbildung 47: Boxplot (mit Median, Quantilen und Extremwerten) der Reisezeit der Elektrobusse im Feldtestbereich	96
Abbildung 48: Zeit-Weg-Diagramm mit Geschwindigkeitsverlauf (Mittelwert und Streuung)	96
Abbildung 49: Detailliertes Zeit-Weg-Diagramm mit Einzelwerten (Hin- und Gegenrichtung)	97
Abbildung 50: Geschwindigkeitsvergleich der Busse im Feldtest	97



1. Aufgabenstellung

Spätestens seit den gehäuften Überschreitungen der NO_x-Grenzwerte in deutschen Großstädten wird nach Lösungen gesucht, um die Luftreinhaltung zu verbessern. In diesem Kontext werden neben anderen Maßnahmen verstärkt alternative Antriebe diskutiert und in zahlreichen Metropolen die vollständige Elektrifizierung kommunaler Flotten proklamiert. Dabei ist insbesondere die Elektrifizierung von Busflotten des öffentlichen Personennahverkehrs mit neuen Herausforderungen im Bereich des Betriebs und der Infrastruktur verbunden. So sind die begrenzten Reichweiten bereits bei der Umlaufplanung zu berücksichtigen. Geringe Reichweiten kann mit Zwischenladen begegnet werden, das jedoch je nach Strategie hohe Infrastrukturinvestitionen oder kritische Belastungen des Stromnetzes hervorruft.

Seit Anfang 2016 hat sich daher ein Konsortium von sechs Partnern aus Wirtschaft und Wissenschaft in dem vom BMWi geförderten Forschungsvorhaben „MENDEL – Minimale Belastung elektrischer Netze durch Ladevorgänge von Elektrobussen“ mit verschiedenen Fragen des effizienten Ladens und Betriebens von Elektrobussen beschäftigt und nachfolgend genannte Ziele verfolgt.

1.1. Projektziel

Das Forschungsprojekt MENDEL strebte eine Minimierung der Gesamtbetriebskosten elektrisch angetriebener Busflotten an. Dies umfasste (1) eine Kostenreduktion für den Aufbau und Betrieb von Ladeinfrastrukturen für Elektrobusse, indem die Belastung des Stromnetzes durch eine räumliche und zeitliche Entkopplung der Ladevorgänge minimiert wird und (2) eine Reduktion der Energieverbräuche der Fahrzeuge im Betrieb. Diese übergeordneten Ziele des Vorhabens MENDEL waren im Einzelnen:

Ziel 1: Minimierung der Investitionskosten

Die Einrichtung zusätzlicher Trafostationen zur Versorgung der Ladestellen soll durch die optimale Ausnutzung vorhandener Niederspannungsverteilnetze vermieden werden. Generell soll die Anzahl der Ladestationen so gering wie möglich gehalten werden. Auf diesem Wege soll auch die bereits vorhandene Infrastruktur möglichst effizient genutzt werden.

Ziel 2: Minimierung der Betriebskosten

Ladevorgänge sollen so geplant werden, dass der für den Arbeitspreis maßgebliche Spitzenenergieverbrauch durch eine räumliche und zeitliche Entzerrung der Ladevorgänge minimiert wird. Dadurch sinken auch die fixen Betriebskosten für die Ladeinfrastruktur, die sich im verbrauchsunabhängigen Leistungspreis niederschlagen. Die variablen Betriebskosten für den Betrieb der E-Flotte sollen zusätzlich durch die Minimierung des Energieverbrauchs der Busse gesenkt werden.

1.2. Konkrete Zielstellung dieses Teilvorhabens

Zur Erreichung dieser beiden übergeordneten Ziele wurden je Teilvorhaben bzw. Projektpartner verschiedene Teilziele verfolgt. Diese umfassen strategische Aspekte im Sinne einer optimalen Fahrzeugeinsatzplanung in Verbindung mit einer optimalen Planung der Infrastruktur, taktische Aspekte im Sinne eines optimalen Lastmanagements im Betrieb und operative Aspekte im Sinne einer optimalen Fahrstrategie während der Betriebsdurchführung in Verkehrsunternehmen. Mit dem Teilvorhaben „Kooperative Assistenz für elektrisch angetriebene ÖPNV Fahrzeugflotten“ wurden diese Ziele fokussiert:

Teilziel 1: Optimale Fahrzeugeinsatzplanung (taktische Ebene)

Bei der Planung der Umläufe und Dienste sollen die erforderlichen Ladevorgänge bereits derart integriert werden, dass der geplante Leistungsbedarf durch die Ladevorgänge über



alle Busse minimal ist. Um geringe Verspätungen zu kompensieren, sollen dabei Zeitpuffer in den Fahrplan eingebaut werden. Zum Ausgleich von Schwankungen des maximal noch verfügbaren Leistungsangebots im Niederspannungsverteilnetz sollen ebenfalls entsprechende Puffer eingebaut werden, so dass ggf. nicht immer mit der maximalen Leistung geladen werden muss.

Teilziel 2: Optimale Infrastrukturplanung (strategische Ebene)

Durch eine geschickte räumliche Anordnung der Ladeeinrichtungen wird das Ziel der Minimierung der Ladeleistung mit einer minimalen Anzahl von Ladestationen bereits in der Planungsphase unterstützt. Um die zeitlichen und die energetischen Puffer (s. o.: Teilziel 1) möglichst gering zu halten, müssen die Ladeeinrichtungen optimal platziert werden. Bei gegebenem Umlaufplan soll die Summe aller Ladeleistungen minimiert werden. Die Zeitfenster für mögliche Ladevorgänge ergeben sich, unter Berücksichtigung verkehrsbedingter Schwankungen, aus dem Umlaufplan. Der Leistungsbedarf ergibt sich für jeden Bus aus seiner initialen Batterieladung, dem Energieverbrauch bis zum Erreichen einer Ladestation, dem Energiebedarf bis zum Erreichen der nächsten Ladestation und der zur Verfügung stehenden Ladezeit.

Teilziel 3: Optimales Lastmanagement im Betrieb (operative Ebene)

Um auf Verspätungen, welche die im Fahrplan berücksichtigten Pufferzeiten überschreiten, sowie generell auf das schwankende maximale Leistungsangebot reagieren zu können, sollen adäquate Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) eingesetzt werden. Dafür zu entwickelnde intelligente Dienste sollen unter Kenntnis aktueller Ladezustände der Busse, deren prognostizierten Energiebedarfe und des maximalen Leistungsangebots an den Ladestellen mit dem übergeordneten Ziel der minimalen Gesamtladeleistung die Ladevorgänge regeln und ggf. operative Fahrvorgaben wie z. B. verlängerte Aufenthalte an den Ladestellen machen.

Teilziel 4: Optimale Fahrstrategie im Betrieb (operative Ebene)

Auf die Erreichung der angestrebten übergeordneten Projektziele wirkt sich generell ein möglichst geringer Energiebedarf der Busse begünstigend aus. Um insbesondere im Stadtverkehr häufige Halte gefolgt von energieintensiven Anfahrvorgängen an Lichtsignalanlagen zu vermeiden, soll durch den Einsatz von IKT eine Reduktion dieser Anfahrvorgänge der Busse mit Hilfe des Verkehrsmanagements erfolgen.



2. Voraussetzungen

2.1. Anknüpfung an andere Forschungsprojekte

Im Bereich der Infrastrukturplanung wurde im Rahmen des transnationalen Forschungsprojekts ERANET + Electromobility + CACTUS (IFAK-V, IML; vgl. CACTUS-Website 2019) ein hybrides Verfahren basierend auf linearer Optimierung und anschließender Simulation zur Planung der Ladeinfrastruktur entwickelt. In einem ersten Schritt wird ein lineares Batteriemodell angenommen und für den Energiebedarf werden Mittelwerte eingesetzt. In einem Optimierungsverfahren wird eine kostenminimale Infrastruktur berechnet, die dann als Startkonstellation für den zweiten Schritt einer detaillierten Simulation dient. In dieser Simulation werden reale Batteriekennlinien und Energiebedarfe berücksichtigt. Durch inkrementelle Änderung der Startkonstellation wird die Ladeinfrastruktur optimiert.

Das grundsätzliche Prinzip der in diesem Projekt entwickelten Verfahren soll auch in dem hier beantragten Projekt beibehalten werden. Die Anwendbarkeit der Methoden wurde auf Probleme mit praxisrelevanter Größe nachgewiesen. Zur Optimierung wurde die Methode der linearen Optimierung angewendet. Bei der Modellerstellung wurden ausschließlich lineare, deterministische Modelle zu Grunde gelegt und insbesondere die nichtlineare Batteriecharakteristik wird nicht berücksichtigt. Ebenso wird die Belastung des Netzes unter dem Aspekt der Leistungsspitzen nicht betrachtet. Lediglich der Energiebedarf wird für die einzelnen Ladestellen berechnet. Ebenso ist die Minimierung der Ladeleistung bisher noch nicht betrachtet worden. Dennoch bilden diese Vorarbeiten eine gute Basis für eine Weiterentwicklung im Rahmen von MENDEL.

Als geeignetes Umfeld für die Praxistests wurde Braunschweig ausgesucht, auch deshalb, weil es hier bestimmte Voraussetzungen gab:

Zum einen hat das DLR hier einen großen Standort des Instituts für Verkehrssystemtechnik mit der Möglichkeit auf dem Gelände und im dortigen Labor für Lichtsignalanlagen Projektkomponenten zu testen. Das DLR betreibt zudem die Großforschungsanlage „Anwendungsplattform Intelligente Mobilität“ (AIM), deren Bestandteil eine Referenzstrecke im Stadtgebiet Braunschweig ist (vgl. AIM-Website 2019). Diese Referenzstrecke des DLR-Instituts für Verkehrssystemtechnik bietet ein außergewöhnliches Testfeld für Car2X-Kommunikation im städtischen Umfeld zur Bewertung und Überprüfung von kooperativen Fahrerassistenzsystemen. Dies beinhaltet die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Straßeninfrastruktur, beispielsweise Lichtsignalanlagen. Die Strecke umfasst den gesamten Innenstadtring von Braunschweig in unterschiedlichen Ausbaustufen. Zur Vernetzung von Fahrzeugen und Infrastruktur sind die Kreuzungen mit modernster Kommunikationstechnik ausgestattet. Darüber können Informationen von den Lichtsignalanlagen, anderer Infrastruktur aber auch von Fahrzeugen ausgetauscht werden. Aus diesem Grund war die AIM-Referenzstrecke eine wichtige Voraussetzung für die Feldtests in MENDEL.

Zum anderen hat die Braunschweiger Verkehrs-GmbH (BSVG) mit dem Projekt „emil“ (Elektromobilität mittels induktiver Ladung) im Jahr 2015 vier Elektro-Gelenkbusse beschafft (vgl. emil-Website 2019). Seither sind diese Fahrzeuge im Regelbetrieb auf den Ringlinien 419/429 im Einsatz. Die Stromversorgung der Busse erfolgt nach dem Konzept des sog. „Opportunity Charging“ am Linienweg: Während des Fahrgastwechsels und der Wendezeiten werden die Batterien der Busse an ausgewählten Haltestellen über im Boden eingelassene Induktionsschleifen geladen. Das damit bereits während der Projektlaufzeit existierende Elektrobussystem in Braunschweig war eine weitere wichtige Voraussetzung, um die in MENDEL entwickelten IKT-Lösungen erfolgreich testen zu können.



2.2. Bisherige Arbeiten des Antragstellers

Das DLR ist das Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt, Energie, Verkehr und Sicherheit. Neben dem Betrieb einer umfassenden Forschungsinfrastruktur für die Entwicklung und prototypische Erprobung intelligenter Mobilitätsdienste verfügt das Institut für Verkehrssystemtechnik über Kompetenzen im Bereich der humanzentrierten Gestaltung von Assistenz- und Automationskonzepten, des städtischen Verkehrsmanagements sowie der Planung und Optimierung des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV). Zur Unterstützung der wissenschaftlichen Arbeit betreibt das Institut für Verkehrssystemtechnik Großforschungsanlagen vom Versuchsfahrzeug bis hin zum komplexen Simulationslabor. Auf dieser Grundlage konzipieren, entwickeln und evaluieren die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Instituts für Verkehrssystemtechnik nutzergerechte und anwendungsorientierte Lösungen und Systeme zur Situationserfassung, -bewertung und -beeinflussung, zur Sicherung und Disposition sowie für Assistenz und Automation. Eine Großanlage ist z.B. die Anwendungsplattform Intelligente Mobilität (AIM) eine Forschungsinfrastruktur zur Erprobung intelligenter Mobilitätsdienste im öffentlichen Straßenraum der Stadt Braunschweig.

Konkrete für das Forschungsvorhaben MENDEL relevante wissenschaftliche Vorarbeiten wurden in den nachfolgend exemplarisch aufgeführten Projekten erbracht:

- Die Projekte VITAL (Verkehrabhängig intelligente Steuerung von Lichtsignalanlagen) und VITAL.NET haben den Fokus zwei neuartige, vom DLR entwickelte Steuerungsverfahren für Lichtsignalanlagen im öffentlichen Verkehrsraum zu validieren. Die entwickelten Verfahren nutzen zur Steuerung bisher kaum verwendete Kenngrößen, wie beispielsweise die Verlustzeiten von Verkehrsteilnehmern, die aus neuartigen Verkehrsdatenquellen wie beispielsweise der Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation (V2I-Kommunikation) stammen können. Neben der reinen technischen Erprobung sind die Ermittlung des wirtschaftlichen Potentials sowie die Vermarktung der Verfahren wichtige Ziele des Projektes. Als Testfelder werden die Anwendungsplattform Intelligente Mobilität (AIM) in Braunschweig sowie weitere Versuchskreuzungen in Halle (a.d. Saale) und in Augsburg genutzt.
- Innovationskreuzung: Im Projekt Innovationskreuzung wurden zusammen mit einem Hersteller von Lichtsignalanlagen ein von diesem entwickelte Steuerungsverfahren in einem Feldtest erprobt und evaluiert. Dieses wird sowohl hardware- als auch softwaretechnisch auf Steuergeräten neuester Baureihe umgesetzt. Das DLR hat hierbei die Aufgabe das Steuerungsverfahren nach wissenschaftlichen Maßstäben hinsichtlich verkehrlicher Wirkungen zu bewerten. Als Testfeld wird eine Kreuzung der Anwendungsplattform Intelligente Mobilität (AIM) in Braunschweig genutzt.
- KOLINE: Das Projekt KOLINE (Kooperative Verkehrsassistenz für den Stadtverkehr) hatte zum Gegenstand den städtischen Verkehrsablauf an Kreuzungen durch eine Vermeidung von unnötigen Halten sowie Brems- und Beschleunigungsvorgängen gleichmäßiger zu machen und damit im Sinne des Umweltschutzes Emissionen einzusparen. Dies passierte auf Grundlage eines kooperativen Systems, welches aus einem Assistenzsystem Fahrzeug (MIV) und einer angepassten Lichtsignalanlagensteuerung besteht. Das Testfeld waren mehrere Kreuzungen in Braunschweig.



3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Da das Projekt die Minimale Belastung elektrischer Netze sowohl durch eine möglichst effiziente Stromversorgung, als auch durch eine optimale Fahrstrategie erreichen wollte, konnte es recht einfach in zwei Teilprojekten durchgeführt werden:

1. Teilprojekt „Smart Grid“,
2. Teilprojekt „ITS“.

Auf strategischer Ebene lag das Hauptaugenmerk auf dem Zusammenspiel zwischen vorhandener Energieversorgungsinfrastruktur und der Betriebsplanung des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV), so dass sich hier mit der Schaffung eines „Smart Grid“ diese Teilaufgabe entsprechend bezeichnen lässt. Die Umsetzung einer optimalen Fahrstrategie wird durch intelligente Verkehrssysteme (ITS) möglich. Beide Teilprojekte (Smart Grid und ITS) wurden parallel vorangetrieben.

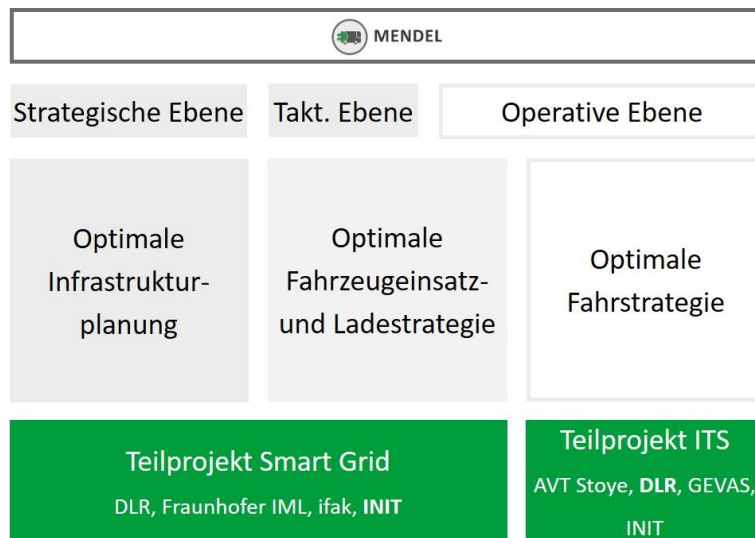


Abbildung 1: Projektstruktur

3.1. Zeitplan

Das Vorhaben MENDEL begann am 1. Januar 2016 und endete 42 Monate später am 30. Juni 2019. Mit Antragslegung wurde dem Projekt der in Abbildung 2 dargestellte Zeitplan zugrunde gelegt.

In einer ersten Projektphase wurden die Anforderungen an das zu erstellende Gesamtsystem, aber auch an die zu entwickelnden Teilsysteme identifiziert und analysiert. Darauf aufbauend wurde eine Systemarchitektur entwickelt, welche diesen Anforderungen genügt. Diese Systemarchitektur einschließlich der benötigten Schnittstellen wurde nach einer Implementierungsphase sukzessive in einem Gesamtsystem integriert. Die Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems wurde anschließend im simulativen Umfeld geprüft, um dann im Praxiseinsatz weiter erprobt zu werden. Abschließend wurden die Ergebnisse aus Feldtest und Simulation ausgewertet.

Zur Überprüfung der Machbarkeit und des Projektfortschritts wurden Meilensteine vorgesehen, welche einerseits den Projektfortschritt dokumentieren sollten, andererseits aber auch



Projektzwischenritte sein sollten, um die Machbarkeit und Erreichbarkeit der Projektziele zu überprüfen.

- Meilenstein 1: Abschluss des Projektmonats 12. Zu diesem Zeitpunkt sind die Anforderungsanalysen abgeschlossen und die Systeme in ihrer grundsätzlichen Funktionsweise einschließlich der entsprechenden Schnittstellen spezifiziert.
- Meilenstein 2: Abschluss des Projektmonats 24. Implementierung der einzelnen Teilsysteme. Zu diesem Zeitpunkt wurden die in den ersten 12 Monaten entworfenen Systemarchitekturen in den Implementierungen bei den einzelnen Projektpartnern umgesetzt und die Integration der Teillösungen zu einem Gesamtsystem steht bevor.
- Meilenstein 3: Abschluss des Projektmonats 36. Durchführung und Auswertung sowohl der Feldtests als auch der Simulationen. Zu diesem Zeitpunkt wurden die Einzelsysteme zu einem Gesamtsystem integriert und erfolgreich sowohl im Feld als auch in der Simulationsumgebung erfolgreich getestet.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36				
Teilprojekt Smart Grid																																								
Anforderungsanalyse	█	█	█	█																																				
Algorithmen- und Schnittstellenkonzeption					█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█			
Systemimplementierung						█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█			
Systemintegration													█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█			
Erprobung im Feld und Simulation																											█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█		
Bewertung der Ergebnisse																																						█	█	
Teilprojekt ITS																																								
Anforderungsanalyse	█	█	█	█	█																																			
System- und Schnittstellenspezifikation						█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█		
Systemimplementierung																																								
Systemintegration																																								
Erprobung im Feld																																								
Bewertung der Ergebnisse																																								

Abbildung 2: Zeitplan für das Gesamtprojekt MENEDEL

Alle Arbeitspakete wurden erfolgreich abgeschlossen und die Meilensteine erreicht. Aufgrund des verzögerten Abschlusses von Meilenstein 2 war jedoch eine Verlängerung der ursprünglich bis Dezember 2018 vorgesehenen Bearbeitungszeit um sechs Monate erforderlich, um zu einer für die Beteiligten akzeptablen Ergebnisqualität zu kommen.

3.2. Konzept

Bezogen auf die in MENEDEL zu erreichenden Teilziele stellt sich das Konzept für Technik und Forschung wie folgt dar:

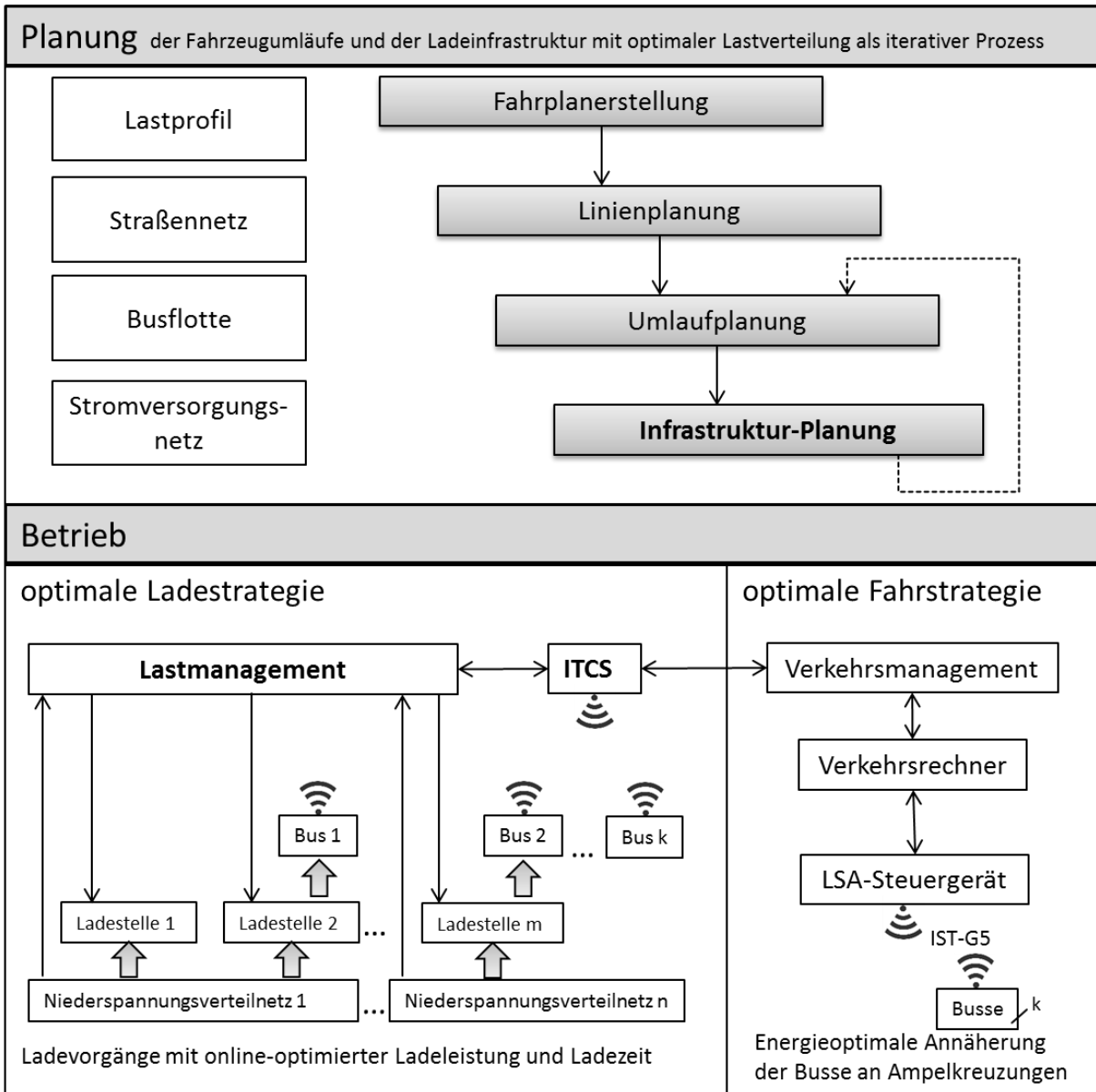


Abbildung 3: Konzept für das Gesamtprojekt MENDEL

Integrativer Ansatz:

Das Projekt MENDEL ist durch einen integrativen Ansatz gekennzeichnet, der die drei bislang separat betrachteten Domänen Straßenverkehrstechnik, Betrieb des ÖPNV und Energiewirtschaft zusammenfasst. Hierbei werden die aus einer ganzheitlichen Optimierung dieser bislang separat betrachteten Aspekte resultierenden Potenziale gehoben



4. Wissenschaftlicher und technischer Stand

4.1. Teilprojekt Smart Grid

Im Teilprojekt „Smart Grid“ ging es darum, auf strategischer, taktischer und operationaler Ebene die Anforderungen des Betriebs großer Elektrobussen mit den Bedürfnissen seitens der Verteilnetzbetreiber in Einklang zu bringen. Dazu wurden die Handlungsfelder Infrastrukturplanung, Umlaufplanung und Lastmanagement analysiert und in diesen Bereichen IKT-Lösungen entwickelt.

4.1.1. Lastmanagement

Bislang existieren kaum Konzepte, die auf eine Beeinflussung der räumlichen und zeitlichen Auslastung der Ladeinfrastruktur abzielen. Ein Abgleich von Verbraucher und Erzeugerseite im Betrieb erfolgt nicht. Die Anforderungen an Netzstabilität und Versorgungssicherheit, bzw. der Kosteneffizienz auf Verbraucherseite werden nur unzureichend berücksichtigt. In zahlreichen Forschungsprojekten zur Elektromobilität wird das Thema intelligentes Lademanagement von Elektrofahrzeugen untersucht. Dabei werden auch Flotten von Elektrofahrzeugen betrachtet (Projekt „InFlott – Integriertes Flottenladen“) und das gesteuerte Laden durch ein übergeordnetes Energiemanagement, das auch die Verfügbarkeit erneuerbarer Energie und infrastrukturelle Rahmenbedingungen berücksichtigt (Projekt „GL 3.0 – Gesteuertes Laden V 3.0“). Im Projekt „Tanken im Smart Grid – Netzentlastung durch intelligentes Laden“ wird untersucht inwieweit Elektromobilität zur Erhöhung der Netzstabilität beitragen kann. Einige Projekte adressieren auch das Thema Reichweitenprognose als Grundlage für ein optimiertes Lademanagement (Projekt iZEUS – Intelligent Zero Emission Urban System).

4.2. Teilprojekt ITS

Der ÖPNV verwendet verschiedene Beschleunigungsmaßnahmen, um die Fahrzeiten zu optimieren, die Fahrplantreue im Betrieb zu verbessern, den Gesamtverkehr optimal und umweltschonend zu gestalten sowie die Qualität und die Effizienz des ÖPNVs zu sichern. Ein wichtiges Element der Beschleunigungsmaßnahmen ist die Bevorrechtigung von Bussen und Bahnen an lichtsignalgeregelten Kreuzungen. Hierbei bestehen zwei grundsätzlich verschiedene Ansätze:

4.2.1. Dezentrale Implementierungsansätze

Getrieben durch die Standardisierung des Verbandes Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) hat sich hierfür ein unidirektionaler Datentransfer von den ÖPNV-Fahrzeugen zu einzelnen Lichtsignalanlagen entlang des Linienwegs der Fahrzeuge auf der Grundlage eines analogen Funksystems, bzw. teilweise des Digitalfunks etabliert. Diese Technik besitzt allerdings einige wesentliche Nachteile.

- 1) Die Lichtsignalanlage muss um die entsprechenden Funkempfänger erweitert werden. Das bedeutet eine Aufrüstung vor Ort und Kostenaufwand für jede Lichtsignalanlage, an der priorisiert werden soll.
- 2) Die Priorisierung findet ausschließlich auf der Ebene des Steuergeräts statt. Im Steuergerät bzw. im Steuerungsverfahren stehen allerdings nur die Daten der eigenen Lichtsignalanlage zur Verfügung. Es fehlt somit die Möglichkeit, Informationen aus einem übergeordneten Verkehrsmanagement oder anderen Teilsystemen zu berücksichtigen. Somit kann auch kein wirklich kooperativer Ansatz realisiert werden.



- 3) Die Logik der ÖV-Priorisierung muss vollständig über die Planung des Steuerungsverfahrens realisiert werden. Dafür sind jedoch komplexe und aufwändige Logiken notwendig, weil nicht nur der generelle Ablauf der Signalisierung berücksichtigt werden muss, sondern auch die Routen und Linien der sich anmeldenden ÖV-Fahrzeuge. Diese Logik muss für jede Lichtsignalanlage und für jedes entsprechende Signalprogramm ausgearbeitet werden, was einerseits teuer in der Einführung ist und andererseits auch die Pflege sowie Anpassungen kostspielig macht.
- 4) Die Empfangskapazität eines ITCS-Empfängers ist technisch begrenzt, was gerade in Bereichen mit hohem Funkaufkommen (z. B. Bus-Bahnhöfe) zu Telegrammverlusten führen kann. Ebenfalls können die Funktelegramme dadurch, dass diese vollkommen unkoordiniert von den verschiedenen Sendern gesendet werden, kollidieren und sich gegenseitig „zerstören“. Auch durch das übliche Mehrfachsenden kann ein Telegrammverlust technisch nicht vollständig ausgeschlossen werden. Durch den fehlenden Rückkanal vom Empfänger zum Sender ist eine Quittierung des Empfangs eines Telegramms technisch nicht möglich. In der Praxis muss mit dem Verlust von Telegrammen gelebt werden.

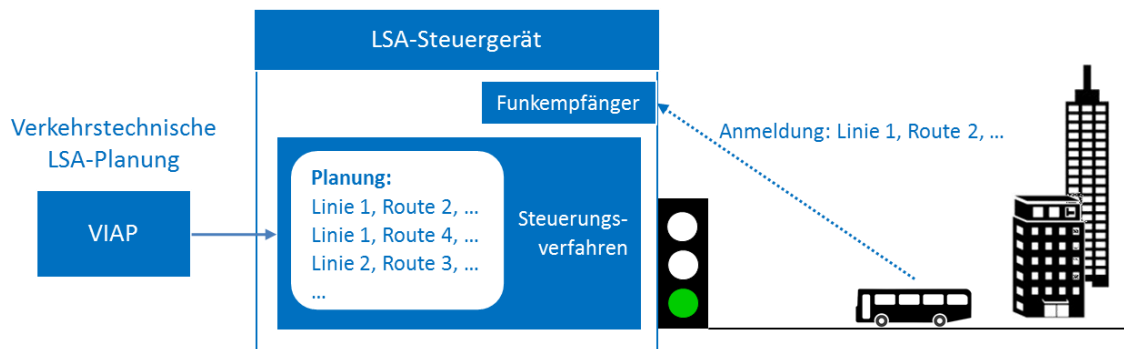


Abbildung 4: Dezentrale ÖV-Priorisierung mit R09/16-Telegrammen

4.2.2. Zentrale Implementierungsansätze

Mit dem Ansatz STREAM (Simple Tracking Realtime Application for Managing traffic lights and passenger information) von Siemens besteht ein zentraler basierter Ansatz der ÖPNV-Priorisierung. Jeder Bus führt eine so genannte On Board Unit (OBU) mit sich. Per GPS ermittelt die OBU die genaue Position des Fahrzeugs und meldet diese Position und das Passieren der virtuellen Meldepunkte an den zentralen Verkehrsrechner. Hier gibt es die Möglichkeit, ein „fiktives“ ÖV-Telegramm aus der Zentrale an das LSA-Steuergerät zu schicken und auf diese Weise die Anlagen auf „Grün“ zu schalten. Allerdings ist das System proprietär und somit kaum für einen kooperativen Systemverbund zugänglich. Außerdem verbleibt die planerische Umsetzung der Priorisierung nach wie vor als Aufgabe der verkehrstechnischen Planung der LSA-Steuerung. Es findet also keine Entzerrung der Aufgaben statt und es wird insbesondere nicht der Vorteil eines kooperativen, vernetzten Systems genutzt.

4.2.3. Fahrerassistenzsysteme

Ein weiterer Nachteil der aktuellen Umsetzung der ÖV-Priorisierung liegt im unidirektionalen Wirkprinzip, da nur in Richtung Lichtsignalanlage (vom ITCS-Sender des Busses zum ITCS-Empfänger der LSA) kommuniziert wird. Potenziale einer bidirektionalen Kommunikation zur Nutzung vorhandener Informationen der Lichtsignalanlage (insbesondere Informationen zur Kreuzungstopologie und zum zeitlichen Verhalten der Lichtsignalanlage) werden nicht genutzt und sind daher nicht durch das Fahrzeug für mögliche Assistenzfunktionen zum ressourcenschonenden Fahren verwendbar. Zur Kompensation des fehlenden Rückkanals zum Fahrer sind darüber hinaus zusätzliche infrastrukturseitige Einrichtungen (z. B. Lichtsignal-



geber für das Türschließsignal, bzw. zusätzliche Anmeldungssignale) erforderlich. Aktuelle Ansätze für eine taktische Fahrweise wie im Projekt SHARE signalisieren dem Busfahrer mit Hilfe von Smartphones und einer zentralenbasierten Logik die Zeitdauer bis zum nächsten Grünbeginn und reduzieren dadurch unnötige Halte. Für die Priorisierung in der Steuerung wird allerdings weiterhin auf analoge R09/16-Telegramme zurückgegriffen. Diese Ansätze nutzen nicht die in der Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation und den ad-hoc- bzw. Mobilfunk-Netzwerken liegende Potenziale für kooperative Assistenz. Ein zentrales Element für fahrzeugseitige Assistenzsysteme ist die Prognose der LSA Schaltzeitpunkte. Schaltzeitprognosen wurden bereits in verschiedenen Forschungsprojekten entwickelt, z. B. in TRAVOLUTION, KOLINE oder SIM-TD, jedoch berücksichtigen diese nicht das Verhalten von Fahrzeugen des öffentlichen Verkehrs.



5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Zur praxisnahen Ermittlung der Anforderungen an die entwickelten IKT-Lösungen, vor allem aber zur Durchführung der Feldtests im Stadtgebiet Braunschweig, waren drei assoziierte Partner am Projekt MENDEL beteiligt. Darüber hinaus waren Abstimmungen und Genehmigungen von der Stadtverwaltung Braunschweig für die Feldtestdurchführung im Stadtgebiet und die Nutzung der Stadteigenen Lichtsignalanlagen erforderlich.

BELLIS

Formal sind Lichtsignalanlagen im Besitz der öffentlichen Hand. Die Stadtverwaltung Braunschweig hat das LSA-Management (u.a. die Wartung und Pflege von LSA) privatisiert und in diesem Verfahren die BELLIS GmbH (Tochter von 50% SIEMENS und 50% BS Energy) zur Betreibergesellschaft für Lichtsignalanlagen in Braunschweig gemacht. D.h. für Anpassungsmaßnahmen an Lichtsignalanlagen in Braunschweig ist die BELLIS GmbH auch rechtlich das einzige Unternehmen, welches diese veranlassen bzw. vornehmen darf. Unter dieser Voraussetzung hat sie die Projektarbeit aus der Perspektive eines LSA-Betreibers beratend begleitet und in der Testphase (AP 3500) zwei eigene Lichtsignalanlagen der Firma SIEMENS zur Verfügung gestellt und entsprechend angepasst sowie an zwei weiteren Kreuzungen den temporären Austausch von SIEMENS-Steuergeräten durch Steuergeräte der AVT STOYE GmbH zugelassen und begleitet. Weiterhin befindet sich auch der zentrale Verkehrsrechner der Stadt Braunschweig - an dem die meisten Lichtsignalanlagen der Stadt angeschlossen sind - in der Verantwortung der BELLIS GmbH. Als assoziierter Partner hat sie aus diesem Grund die Herstellung der Zentralenverbindung zum Smart Traffic Center veranlasst und begleitet. Die Bestandssysteme der BELLIS GmbH im Bereich der Verkehrstechnik (Verkehrsrechner und LSA) sind Produkte eines Marktführers in diesem Bereich mit standardisierten Schnittstellen. Ähnliche Voraussetzungen trifft man in vielen deutschen Städten an. Somit stellt Braunschweig eine sehr gute Referenz dar, die die Übertragbarkeit der Forschungsergebnisse auf andere deutsche Städte zulässt.

BS|NETZ

Die Braunschweiger Netz GmbH ist Betreiber der Strom-, Gas- und Wassernetze in Braunschweig. Sie hat ebenfalls 2012 bis 2014 beim Projekt Emil (Elektromobilität mittels induktiver Ladung) mitgewirkt und war dort an der Planung, Errichtung und beim Anschluss der induktiven Ladestellen ans Stromnetz beteiligt. Im Projekt MENDEL hat BS|NETZ die Arbeiten des IFAK begleitet und stand als Ansprechpartner für spezifische Fragen zu Stromnetz, Preisen und Gebühren zur Verfügung. Mit Hilfe von BS|NETZ wurde zwischen den in der Ortsnetzstation vorhandenen Messgeräten und dem am IFAK entwickelten Dienst zur Ermittlung der verfügbaren Ladeleistung auf Basis aktueller Messdaten zum Netzzustand (AP 1342) über LTE und einen VPN-Tunnel ein Kommunikationskanal etabliert.

BSVG

Die Braunschweiger Verkehrs-GmbH erbringt mit insgesamt rund 150 Dieselnissen den ÖPNV im Gebiet der kreisfreien Stadt Braunschweig. Anfang 2014 hat sie im Rahmen des Projektes Emil (Elektromobilität mittels induktiver Ladung) Elektrobusse beschafft, die an drei Haltestellen induktiv geladen werden. Unter dieser Voraussetzung hat sie die Projektarbeit aus der Perspektive eines Elektrobus-Betreibers beratend begleitet und in der Testphase (AP 3500) zwei Diesel- und zwei Elektrobusse zur Verfügung gestellt. Diese Busse wurden mit je einem INIT-Bordrechner, einer Onboard-Unit (OBU) des DLR sowie Smartphones der GEVAS ausgestattet, um die im Teilprojekt ITS entwickelten IKT-Lösungen unter Realweltbedingungen in Braunschweig testen und bewerten zu können.

6. Ergebnisse

6.1. Teilprojekt Smart Grid

Im Teilprojekt „Smart Grid“ erarbeiteten die Projektpartner DLR, Fraunhofer IML, ifak und INIT Softwarelösungen zur intelligenten Planung (Strategische Ebene) und Steuerung (Operative Ebene) der Stromversorgung von Bussen (s. Abbildung 5).

Auf Strategischer Ebene wurde ein Programm entwickelt, das auf Basis von Infrastrukturdaten des Stromnetzbetreibers sowie Fahrplandaten der Verkehrsbetriebe die optimale Ladeinfrastruktur für ein Busliniennetz ermittelt. Eine weitere Software optimiert davon ausgehend wiederum die Fahrzeugumläufe und die zeitliche Verteilung der Ladevorgänge.

Auf Operativer Ebene wurde ein Lastmanagement entwickelt, das mit Ladeempfehlungen in Echtzeit die Belastung des Stromnetzes minimiert und gleichzeitig den zuverlässigen Betrieb der Elektrobusse sicherstellt. Das ITCS stellt dazu Ladestände (State of Charge, SoC) und Fahrzeugpositionen zur Verfügung. Im Gegenzug empfängt es in Echtzeit Ladeempfehlungen, die an die Fahrzeuge weitergegeben werden.

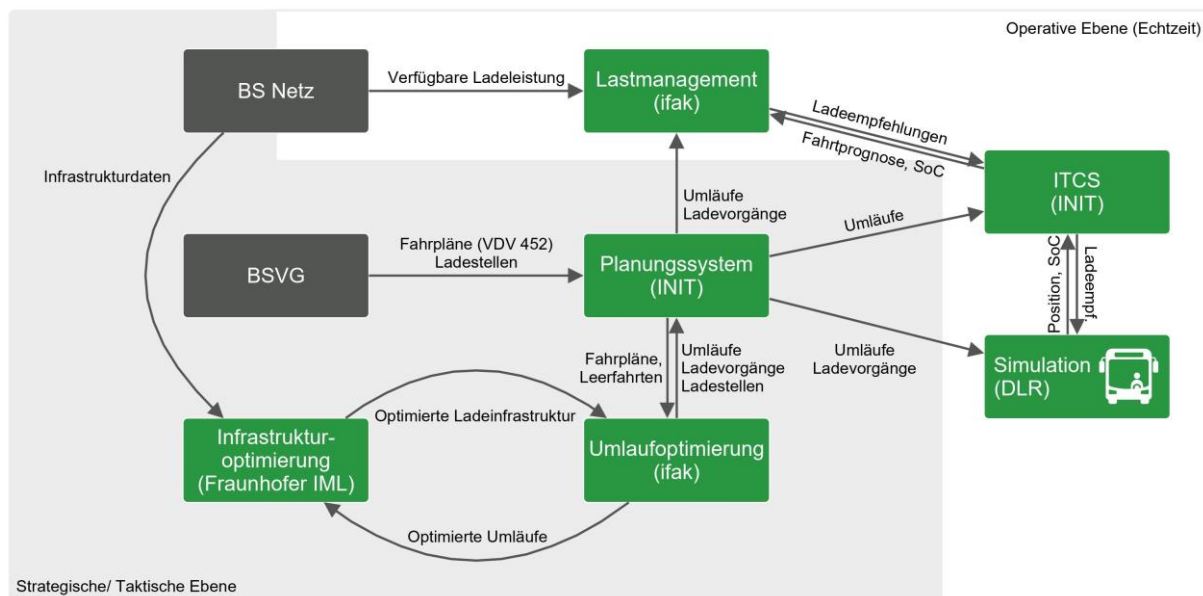


Abbildung 5: Vereinfachte Systemarchitektur des Teilprojekts "Smart Grid"

Nachfolgend werden die Ergebnisse der im Lichte der oben genannten Teilziele durchgeführten Arbeiten im Einzelnen vorgestellt.

6.1.1. Lastmanagement

6.1.1.1. Motivation und Einordnung

Beim Betrieb einer Busflotte, die eine beträchtliche Anzahl von Elektrobusen für den öffentlichen Verkehr umfasst, besteht die Notwendigkeit der Überwachung und Steuerung der tatsächlichen Ladevorgänge der einzelnen Elektrobusse, d. h. es muss ein Echtzeit-Lastmanagement aufgebaut werden. Das Lastmanagement ist auch dann erforderlich, wenn im Rahmen der Offline-Ladeplanung eine spezielle Planung der Ladevorgänge durchgeführt wurde. Das liegt daran, dass die geplanten Ladevorgänge im Tagesverlauf aufgrund von Verspätungen und möglichen Routenänderungen nicht immer wie geplant durchgeführt wer-



den können. Ohne ein operatives Management der tatsächlichen Ladevorgänge kann der Spitzenleistungsbedarf aufgrund von überlappenden Ladevorgänge den angestrebten Schwellenwert überschreiten. Die Begrenzung des Spitzenleistungsbedarfs ist wichtig, um die Gesamtkosten der Ladevorgänge zu minimieren. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Einordnung des Lastmanagements in das Gesamtkonzept von MENDEL.

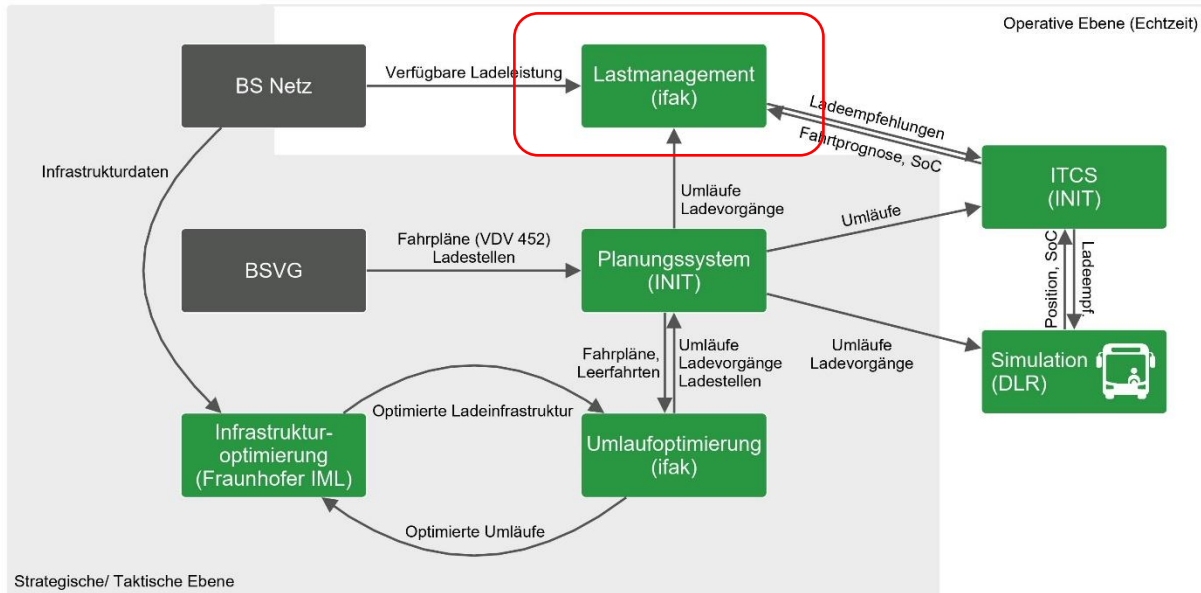


Abbildung 6: Einordnung in das MENDEL-Gesamtkonzept

Eine weitere Motivation für das Management der Ladevorgänge ist es, zu vermeiden, dass der Ladezustand der Batterien unter einen bestimmten Schwellenwert absinkt. Dies ist notwendig, um die Lebensdauer der Batterie zu maximieren und damit die Gesamtkosten zu optimieren. Im Extremfall kann es sogar vorkommen, dass ein Elektrobus seine geplante Fahrt nicht beenden kann und damit den Betriebsablauf stört. Dies muss selbstverständlich vermieden werden.

Der dritte und letzte Grund für das Management der Ladevorgänge ergibt sich aus der Tatsache, dass die bestehende Stromnetzinfrastuktur nicht für den hohen Leistungsbedarf der elektrischen Busladung (typischerweise rund 200 kW Wirkleistung) ausgelegt ist. Um die bestehende Stromnetzinfrastuktur effizient zu nutzen, wäre es notwendig, die zu jedem Zeitpunkt aktuell verfügbare Ladeleistung an den Ladestandorten zu berücksichtigen. So kann beispielsweise eine Ladestation mit einem Nennleistungsbedarf von 200 kW von einer bestehenden Ortsnetzstation (Mittelspannung zu Niederspannung mit einer Nennleistung von ca. 600 kW) versorgt werden, wenn die zuvor installierten Lasten in der Regel weniger als 400 kW Gesamtleistung benötigen. In seltenen Fällen kann der tatsächliche Leistungsbedarf dieser Lasten die 400 kW-Schwelle überschreiten und somit die verfügbare Leistung für die Busladung begrenzen. Wenn die dynamisch wechselnde Stromversorgung an bestimmten Ladepunkten an ein zentrales Lastmanagement übermittelt werden kann, können diese Informationen zur Optimierung des Busladevorgangs genutzt werden. In diesem Fall kann die bestehende Stromnetzinfrastuktur genutzt werden, anstatt an jeder Ladestation eine neue Ortsnetzstation bauen zu müssen, was mit entsprechend hohen Kosten einherginge.

6.1.1.2. Konzept und Systemarchitektur

Das System zum Lastmanagement von Ladevorgängen kann als Erweiterung eines bestehenden Intermodal Transport Control System (ITCS) betrachtet werden, das die Position der



Busse in Echtzeit mit geringer Latenzzeit verfolgt. Neben der aktuellen Position kennt das ITCS auch den Fahrplan und die Routen aller beteiligten Fahrzeuge und ist in der Lage, die Ankunftszeit an bestimmten Haltepunkten entlang der Strecke zu schätzen, um den Fahrgästen an den Haltepunkten die erwartete Ankunftszeit anzuzeigen. Es ist zu beachten, dass das Lastmanagementsystem den normalen Betrieb des ITCS und die Planung der Elektrobusse so wenig wie möglich stören sollte, um Verzögerungen zu vermeiden.

Der Betrieb des Lastmanagementsystems erfordert, dass neben der aktuellen Position der elektrischen Busse auch der aktuelle Ladezustand von den Bussen an das ITCS übermittelt und anschließend an das Lastmanagementsystem übermittelt wird. Zusätzliche Informationen wie das aktuelle Passagieraufkommen oder die Kilometerzahl können ebenfalls erfasst werden, um den aktuellen Energiebedarf besser abschätzen zu können.

Um die Integration des Lastmanagementsystems mit dem ITCS zu erleichtern, sollte die Kommunikation zwischen diesen beiden Systemen auf bestehenden Standards basieren, die im ITCS-Bereich etabliert sind. Im MENDEL-Projekt wurden zu diesem Zweck die Standards VDV 452 und VDV 453 verwendet, die in Deutschland für den Austausch von Plandaten sowie Echtzeit-Ist-Daten weit verbreitet sind.

Neben der Kommunikation zwischen Lastmanagementsystem und ITCS für Verkehrsdaten muss eine Verbindung zu einem System bestehen, das die Informationen über die verfügbare Ladeleistung an einzelnen Ladepunkten zu bestimmten Zeitpunkten liefert. Ein solches System wird nur benötigt, wenn Ladepunkte berücksichtigt werden müssen, die nicht immer die maximal verfügbare Stromversorgung garantieren können. Dieses System müsste von dem für die Stromnetzinfrastuktur verantwortlichen Verteilnetzbetreiber verwaltet werden. Zu diesem Zweck müssen die Ortsnetzstationen, welche die Busladepunkte speisen, mit Automatisierungstechnik einschließlich Leistungsmessung ausgestattet sein, um eine Zustandsabschätzung des jeweiligen Stromnetzes durchzuführen (vgl. Hübner et al. 2015). Der zunehmende Automatisierungsbedarf der Mittel- und Niederspannungsebene des Stromverteilnetzes ergibt sich nicht nur aus einer verstärkten Verbreitung der Elektromobilität, sondern auch aus einer zunehmenden Durchdringung der Netze mit dezentraler Energieeinspeisung, z. B. aus Photovoltaikanlagen, die zu dynamisch wechselnden Lastprofilen führen (vgl. ETG/ITG, VDE 2016).

Die Gesamtstruktur des Systems zusammen mit den relevanten Informationsflüssen ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Zu beachten ist hierbei, dass das System für das Lastmanagement bzw. Lademanagement eng mit dem ITCS gekoppelt ist und wahrscheinlich direkt in das zukünftige ITCS integriert werden wird.

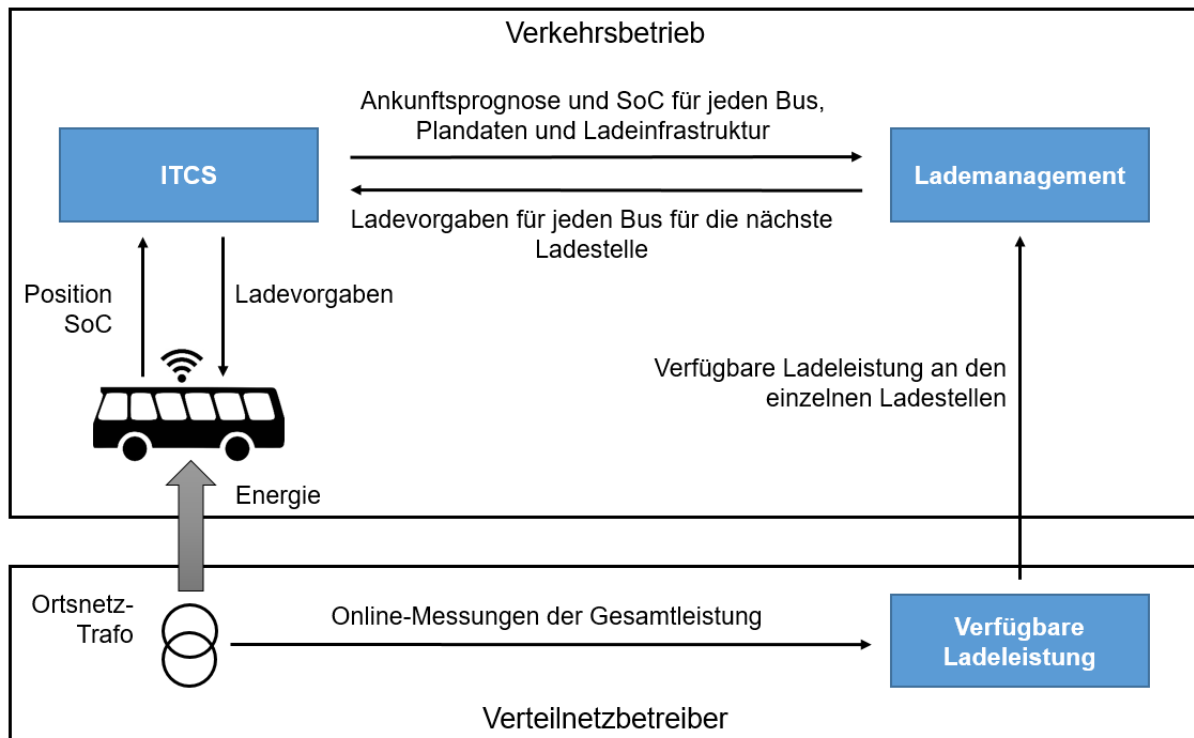


Abbildung 7: Systemaufbau Lastmanagement

6.1.1.3. Anforderungen an den Datenaustausch der Systemkomponenten

Fahrzeugeinsatzplanung

Die Eingangsdaten der Fahrzeugeinsatzplanung werden vom Braunschweiger Verkehrsbetrieb BSVG (Fahr- und Dienstpläne, Liniennetzdaten, Fahrzeugdaten) sowie von den Netzversorgern (Ladeinfrastruktur, Leistungspreis) erhalten.

Die Ausgangsdaten (d. h. Fahrzeugeinsatzpläne und Lade-/Entladevorgänge) werden an die Ladeinfrastrukturplanung, an die ITCS-Zentrale und an den Dienst Lastmanagement geliefert.

Ladeinfrastrukturplanung

Eingangsdaten sind einerseits Daten von BSVG (Fahr- und Dienstpläne, Liniennetzdaten, Fahrzeugdaten, zusätzlich dazu noch Daten zu Energietransfern, Energiebedarf und Energiespeichern der Fahrzeuge), sowie optional die Fahrzeugeinsatzpläne der Fahrzeugeinsatzplanung.

Die Ausgangsdaten Lage, Referenznummer, Ladeleistung/Leistungsfaktor von Ladestellen werden sowohl dem Dienst Verfügbare Ladeleistung als auch der Verkehrssimulation zur Verfügung gestellt.

Dienst Verfügbare Ladeleistung

Die Eingangsdaten werden aus den Ausgangsdaten der Ladeinfrastrukturplanung erhoben.

Dienst Lastmanagement



Die Eingangsdaten (Statusinformationen der Busse, verfügbare Ladeleistung der Ladestellen, Fahrzeugeinsatzpläne, Außentemperatur) werden vollständig durch die ITCS-Zentrale bezogen.

Die Ausgangsdaten (Name der nächsten Haltestellen, optional früheste/späteste, Abfahrtszeit, Ladedauer/Zielladezustand, Ladeleistung) werden vollständig an die ITCS-Zentrale zur Weiterleitung an die Fahrzeuge geliefert.

Verkehrssimulation

Die Eingangsdaten werden durch die Ladeinfrastrukturplanung (Lage, Referenznummer, Ladeleistung/Leistungsfaktor von Ladestellen) bezogen.

Die Ausgangsdaten der Simulationen werden für die Analyse des Projekts benutzt.

6.1.1.4. Ziele des Lastmanagements

Es gibt drei Hauptziele des Lastmanagementsystems, die gleichzeitig erreicht werden müssen:

1. Berücksichtigung der möglichen Einschränkungen der verfügbaren Ladeleistung an bestimmten Ladepunkten, die durch das System "Verfügbare Ladeleistung" des Verteilnetzbetreibers bekanntgegeben werden.
 - Für den Fall, dass eine Ladestation aufgrund von vorübergehenden Netzüberlastungen nicht die volle Nennleistung bereitstellen kann, muss die Ladeleistung reduziert werden oder es kann überhaupt keine Ladung erfolgen.
 - Diese Art von Ereignissen sollte nur sehr selten vorkommen, aber die daraus resultierenden Einschränkungen müssen strikt eingehalten werden, um eine Überlastung der Stromnetzinfrastuktur zu vermeiden. Das zweite Ziel betrifft den Energieverlust im Vergleich zur Fahrplanabrechnung.
2. Erkennen und Verhindern einer Unterschreitung des erforderlichen Ladezustands der Batterie, um den aktuellen Umlauf des Busses abschließen zu können.
 - Es sind nur dann Eingriffe erforderlich, wenn der Energiebedarf für den Abschluss des aktuellen Umlaufs eines Busses die Summe aus der Energie in der Batterie und der geplanten Ladeenergiemenge auf dem restlichen Umlauf übersteigt.
 - Wenn Maßnahmen erforderlich sind, müssen einige der verbleibenden Ladestopps verlängert werden, um den Ladezustand auf ein Niveau zu erhöhen, das den Abschluss des aktuellen Umlaufs ermöglicht.
3. Sicherstellen, dass die Summe aller gleichzeitigen Ladevorgänge der gesamten Busflotte einen bestimmten vorgegebenen Schwellenwert nicht überschreitet.



- Der Wert des Schwellenwerts kann aus der Planung der Ladevorgänge abgeleitet werden, d. h. während des Betriebstages darf die geplante maximale Leistungsanforderung nicht überschritten werden.
- Die maximale Leistung wird im Durchschnitt pro 15 Minuten-Intervall berechnet, d. h. für jede Viertelstunde wird die gesamte verbrauchte Energiemenge mit vier multipliziert, um die Leistung in kW für dieses 15-Minuten-Intervall zu erhalten.
- Künftig kann dieser Schwellenwert anstelle eines festen Wertes dynamisch zwischen dem Betreiber des öffentlichen Verkehrs und dem Verteilnetzbetreiber vereinbart werden, basierend auf der tatsächlichen Kapazität des Stromnetzes.

Ein Beispiel für einen ungeplanten Spitzenleistungsbedarf ist in Abbildung 8 dargestellt. Hier führte die unerwartete Verzögerung am Ende der Fahrt 2020 zu drei gleichzeitigen Ladevorgängen, die jeweils 200 kW Wirkleistung benötigen, was zu einem Gesamtbedarf von 600 kW führte. Ohne die Verzögerung wären an diesem Tag nur zwei gleichzeitige Ladevorgänge erfolgt.

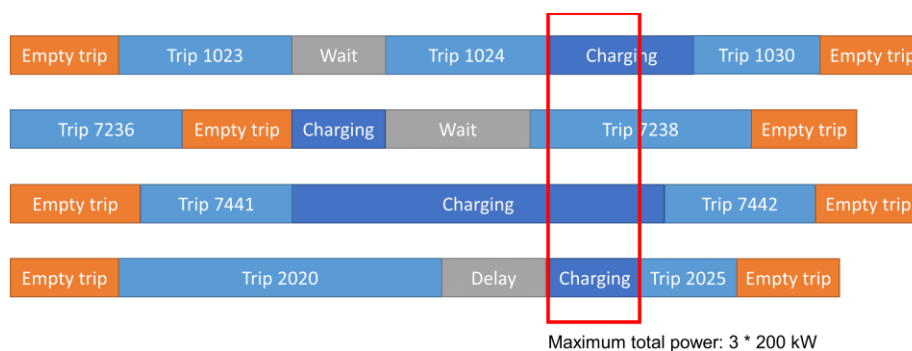


Abbildung 8: Beispiel für eine erhöhte Spitzenlast durch eine unerwartete Verzögerung

6.1.1.5. Bestimmung der verfügbaren Ladeleistung

Wie aus der Systemarchitektur in Abbildung 5 ersichtlich wird, benötigt das Lastmanagementsystem Echtzeitinformationen über die verfügbare Ladeleistung an den einzelnen Ladestellen, sofern Ladestellen berücksichtigt werden müssen, die nicht immer die maximal verfügbare Stromversorgung garantieren können. Diese Echtzeitinformationen müssen von einem System des zuständigen Verteilnetzbetreibers bereitgestellt werden. Dieses System wurde im MENDEL-Projekt konzipiert und wird in diesem Zusammenhang als „Verfügbare Ladeleistung“ bezeichnet.

Die grundlegende Annahme, die dieses System rechtfertigt, besteht darin, dass erhebliche Kosten im Bereich Strominfrastrukturausbau eingespart werden könnten, wenn es gelänge, die vorhandene Infrastruktur besser auszunutzen. Das wesentliche begrenzende Element in diesem Zusammenhang stellt der Ortsnetztransformator dar, welcher den Übergang von der Mittelspannungsebene hin zur Niederspannungsebene darstellt. Typischerweise kann davon ausgegangen werden, dass einzelne Ladepunkte für die Elektrobusse über ein separates Niederspannungskabel direkt mit der nächstgelegenen Ortsnetzstation verbunden werden. Die Frage ist nun, ob diese nächstgelegene Ortsnetzstation über hinreichend freie Kapazität verfügt, um den neuen Ladepunkt jederzeit mit genügend elektrischer Energie versorgen zu können, ohne eine Überlastung des Transformators zu verursachen. Die Beantwortung dieser Frage wird dadurch erschwert, dass Ortsnetzstationen heute in aller Regel nicht über eine durchgängige messtechnische Überwachung verfügen und somit der Verteilnetzbetreiber nicht genau wissen kann, zu welchen Zeiten welche Lasten bzw. Stromverbräuche anlie-



gen. Folglich muss mit großzügigen Sicherheitspuffern geplant werden, um Überlastungen in jedem Fall zu vermeiden.

Der im MENDEL-Projekt verfolgte Ansatz besteht nun darin, die betreffenden Ortsnetzstationen mit einer dauerhaften messtechnischen Überwachung auszustatten und eine permanente Online-Kommunikation aufzubauen. Die in Echtzeit aufgenommenen Messdaten bilden dann die Grundlage, um die aktuelle und für die nähere Zukunft zu erwartende Leistungskapazität der Ortsnetzstation ermitteln zu können und als Dienst für den Verkehrsbetrieb verfügbar zu machen. Für diesen Zweck muss die messtechnische Ausstattung der Ortsnetzstation die dreiphasige Messung von Spannung, Strom und Phasenwinkeln für jeden Niederspannungsstrang sowie für die Niederspannungssammelschiene umfassen. Daraus lassen sich alle relevanten elektrischen Größe, insbesondere Wirk-, Blind- und Scheinleistung, ermitteln, um dann die Leistungskapazität des Transformators zu bestimmen. Hierbei kann es sinnvoll sein, auch die Temperatur des Transformators und der Umgebung zu erfassen, um auch die Abhängigkeit der thermischen Belastung durch die von Oberschwingungen verursachte Verzerrungsblindleistung sowie Alterungseffekten berücksichtigen zu können. Die auf Grundlage der messtechnischen Überwachung gewonnenen Informationen über die für die Aufladung der elektrischen Busse zur Verfügung stehenden Leistungsreserven der Ortsnetzstation werden über eine geeignete informationstechnische Schnittstelle für den Verkehrsbetrieb zur Verfügung gestellt und vom Lastmanagementsystem genutzt, um die tatsächlich vorhandenen Leistungskapazitäten des Verteilungsnetzes in Echtzeit für das Lademanagement zu nutzen. Auf diesem Wege kann sichergestellt werden, dass die Anforderungen des ÖPNV mit den Begrenzungen der Energieversorgung wirtschaftlich in Einklang gebracht werden können.

6.1.1.6. Lastmanagement-Algorithmus

Zu jedem Zeitpunkt kennt das Lastmanagementsystem die Menge aller aktuell aktiven Umläufe von elektrischen Bussen durch Auswertung der entsprechenden Plandaten. In diesem Zusammenhang können wir einen Umlauf mit einem elektrischen Bus und einer zugehörigen Batterie mit einer bestimmten Energiekapazität und einem bestimmten Ladezustand gleichsetzen. Diese Batterie durchläuft den Umlauf während des Betriebstages und darf niemals unter einen vorkonfigurierten Ladezustand entladen werden, um eine angemessene Lebensdauer zu gewährleisten.

Um zu berechnen, ob der aktuelle Ladezustand einer Batterie ausreicht, um den Elektrobuss unter Einbeziehung der verbleibenden geplanten Ladevorgänge bis zum Ende des aktuellen Umlaufs fahren zu lassen, muss geschätzt werden, wie viel Energie dafür benötigt wird. Diese Schätzung benötigt die folgenden Eingabeinformationen:

- Verbleibende Strecke bis zum Ende des Umlaufs,
- Verbleibende Dauer bis zum Ende des Umlaufs,
- Belegungsgrad,
- Umgebungstemperatur,
- Fahrzeugeigenschaften (Gewicht, Energiebedarf für die Heizung, etc.).

Die Abschätzung des Energiebedarfs muss nicht explizit berechnet werden, wenn man die Plandaten für die Ladevorgänge verwendet. Denn die Planung führt bereits die Energiebedarfsberechnungen durch und liefert die relevanten Ergebnisse in Form des erwarteten Ladezustandes an jeder Ladestelle. Aus diesen Informationen kann der Energiebedarf zwischen den aufeinanderfolgenden Ladepunkten eines Umlaufs berechnet werden, mit der Möglichkeit der Kalibrierung in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur und der Belegung mit Fahrgästen.



Um den effizienten Betrieb des Lastmanagement-Algorithmus zu ermöglichen, müssen die Plandaten aller relevanten Umläufe, die in Form von VDV 452-Relationsdaten eingelesen werden, importiert und in eine für die nachfolgenden Berechnungen besser geeignete Form gebracht werden. Bei dieser Transformation wird die Konsistenz der Plandaten überprüft. Die relevanten Informationen eines Umlaufs können als eine geordnete Folge von Halten betrachtet werden. Für jeden Halt werden die folgenden Informationen gespeichert:

- Fahrt-ID
- Haltepunktkenung
- Geplante Ankunftszeit
- Geplante Abfahrtszeit
- Fahrtdauer bis zur nächsten Haltestelle
- Fahrstrecke bis zum nächsten Halt
- Geplante Ladezeit (falls an dieser Haltestelle eine Ladestation vorhanden ist)
- Geplante Ladeenergie
- Geplanter Ladezustand der Batterie (nur wenn es sich um einen Ladehalt handelt)

Der Lastmanagement-Algorithmus funktioniert durch einen kontinuierlichen Vergleich zwischen den oben beschriebenen Plandaten und dem Ist-Zustand der Elektrobusse, vor allem der geschätzten Ankunftszeit bei der nächsten Haltestelle und dem aktuellen Ladezustand der Batterie.

Im MENDEL-Projekt wurden die Echtzeitdaten über den aktuellen Zustand der elektrischen Busse vom ITCS über das Protokoll VDV 453 unter Verwendung der DFI- (Dynamic Passenger Information) sowie der AND- (Generic Messaging) Dienste empfangen. Das VDV 453-Protokoll basiert auf dem HTTP-Transport mit XML-Nutzlasten. Der VDV 453-AND wurde um ein Mendel-xsd-Schema erweitert, das die Elemente ChargingInfos und VehicleInfos enthält. ChargingInfos enthält Fahrzeug-ID, Ladestop-ID, empfohlene Ladedauer. VehicleInfos enthält Fahrzeug-ID, Fahrt-ID, Umlauf-ID, Linien-ID sowie Ladestand, Besetzungsgrad und MileageInfo.

Der Lastmanagement-Algorithmus kann durch die folgenden Aktivitäten beschrieben werden, die kontinuierlich auf der gesamten Menge der Umläufe ausgeführt werden:

- Überprüfung, ob eine der Ladestationen, die für das Laden innerhalb des nächsten Zeitrahmens (ca. 10 Minuten) vorgesehen sind, nicht oder nur mit einer reduzierten maximalen Leistung verfügbar ist (in Folge von lokaler Netzüberlastung)
 - Wenn eine Ladestation nicht für einen planmäßigen Ladevorgang zur Verfügung steht, informiert das System den Busfahrer über das ITCS, dass der Ladevorgang entfällt.
 - Andernfalls wird davon ausgegangen, dass die Ladepunkte zum Laden uneingeschränkt zur Verfügung stehen.
- Überprüfung, ob es einen Bus gibt, der eine zusätzliche oder verlängerte Ladung benötigt, um seinen Umlauf abzuschließen, ohne die Batterie unter den konfigurierten minimalen Ladezustand zu entladen.
 - Um diese Prüfung durchführen zu können, muss der aktuelle Ladezustand verfügbar sein. Aus dem Energiebedarf für den verbleibenden Teil des aktuellen Umlaufs und der



Zeit und dem Ort der verbleibenden geplanten Ladehalte (vorbehaltlich der Einschränkungen aus der ersten Überprüfung) wird der minimale Ladezustand berechnet.

- Wenn der geschätzte minimale Ladezustand eines Busses niedriger ist als ein definierter Schwellwert, muss eine zusätzliche Aufladung erfolgen, d. h. Ladevorgänge auf dem verbleibenden Teil des aktuellen Umlaufs müssen länger als geplant dauern, was zu Verzögerungen führen kann.
- Bei mehr als einem verbleibenden Ladehalt wird die erforderliche zusätzliche Energie (um ein Absinken des Ladezustandes unter das Minimum zu verhindern) auf alle verbleibenden Ladehalte verteilt, um die daraus resultierenden Verzögerungen im Vergleich zu den geplanten Halten zu minimieren.
- Überprüfung, ob innerhalb des nächsten Zeithorizontes die Gesamtsumme aller gleichzeitigen Ladevorgänge kleiner oder gleich einem vordefinierten Grenzwert ist.
 - Liegt die Summe unter dem Grenzwert, sind keine weiteren Anpassungen der geplanten Ladevorgänge erforderlich.
 - Andernfalls müssen eine oder mehrere Ladeoperationen weggelassen oder verkürzt werden. Bei der Auswahl dieser Ladeoperationen wird die Bedeutung eines Ladevorgangs für den entsprechenden Bus berücksichtigt, d. h. welche Auswirkungen er auf den niedrigsten Ladezustand des verbleibenden Teils des Umlaufs hätte.

Abbildung 8 zeigt ein Beispiel für den dritten Fall: Aufgrund einer Verzögerung während der Fahrt 2020 würden drei gleichzeitige Ladevorgänge stattfinden (statt zwei). Bei einem aktiven Lastmanagementsystem, würde diese Situation vermieden, indem entweder der verzögerte Bus (Zeile 4) oder der Bus der Zeile 1 angewiesen würde, seinen Ladevorgang zu unterlassen. Die Entscheidung hängt davon ab, welcher Bus sich den Ausfall des Ladevorgangs am ehesten leisten kann. Dazu wird der niedrigste Ladezustand (Lowest State of Charge – LSOC) geschätzt, der sich zu einem noch unbestimmten Zeitpunkt auf dem verbleibenden Teil des Umlaufs aus dem Wegfall des Ladevorgangs für beide betrachteten Busse ergeben würde. Es wird dann derjenige Ladevorgang für den Bus mit der höchsten LSOC gestrichen. In diesem Beispiel kann es durchaus sein, dass der Ladevorgang von Bus 4 entfällt, da die Länge des verbleibenden Umlaufs im Vergleich zu Bus 1 kürzer ist.

6.2. Teilprojekt ITS

Das Projekt MENDEL erarbeitete ein Architekturkonzept eines kooperativen Systemverbundes zwischen Verkehrsrechner (Steuerung der Lichtsignalanlagen), dem Verkehrsmanagement sowie der Leittechnik des öffentlichen Personennahverkehrs (ITCS, Intermodal Transport Control System; s. Abbildung 9). Das zentrale Bindeglied zwischen den intelligenten Systemen ist das Smart Traffic Center. Notwendige Erweiterungen in den Kommunikationsketten zwischen Fahrzeugen und Verkehrsinfrastruktur wurden soweit möglich auf Basis herstellerunabhängiger Standards geschaffen. Hierbei handelt es sich zum einen um offene Schnittstellen für die Straßenverkehrstechnik, welche von der ODG (OCIT Developer Group, OCIT steht hierbei für Open Communication Interface for Road Traffic Control Systems) erarbeitet wurden. Seitens des ÖPNV wurde auf einen Schnittstellenstandard des Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) zurückgegriffen, um die Kommunikation zwischen dem ITCS und der Straßenverkehrstechnik zu spezifizieren. Steuerungsverfahren und Kommunikationswegen im kooperativen Systemverbund wurden unter Berücksichtigung



einschlägiger Richtlinien für die Steuergeräte (VDE) und Verkehrsplanungen (RiLSA) erweitert. Weiterhin wurden hinsichtlich der sogenannten Car2x-Kommunikation die geltenden Standards für WLAN IEEE 802.11p beziehungsweise ITS-G5A gemäß ETSI (European Telecoms Standards Institute) verwendet.

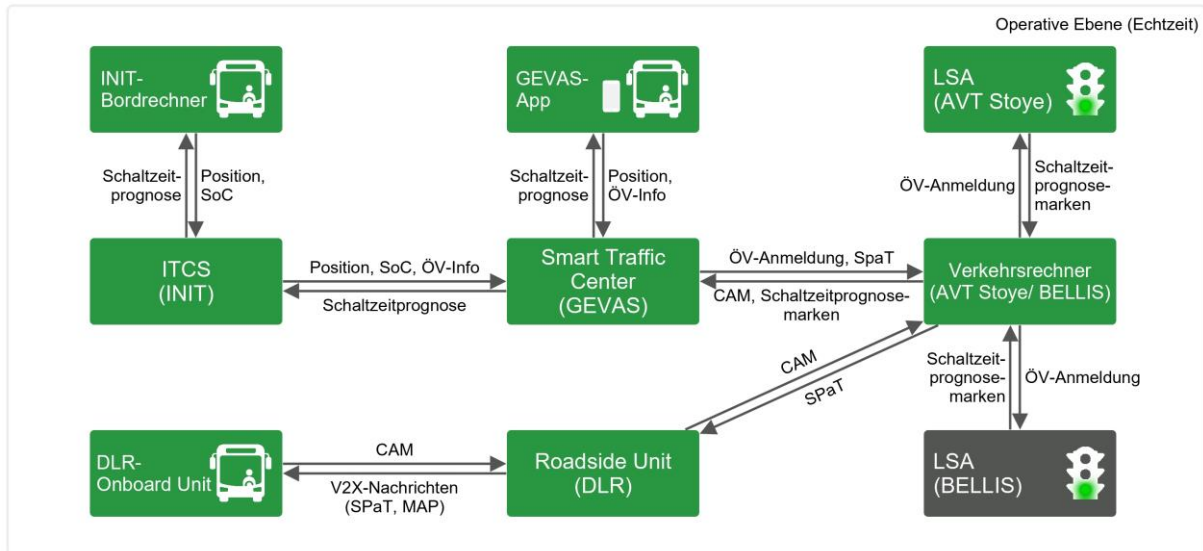


Abbildung 9: Vereinfachte Systemarchitektur des Teilprojekts "ITS"

6.2.1. Anforderungsanalyse ITS

Am Beginn des Teilprojekts ITS stand die Analyse der Anforderungen. Zu klären waren hierbei einerseits technische Anforderungen wie die benötigten Informationen für die ÖV-Priorisierung (inklusive Daten zur Verortung der Fahrzeuge) und die hierzu erforderlichen Schnittstellen. Andererseits ging es um inhaltliche, auch über das Projekt hinausreichende Anforderungen. Dazu gehören die Klärung der erwarteten Vorteile und Verbesserungen bei der Planung einer zentralen ÖV-Beschleunigung gegenüber dem Stand der Technik, die Erfordernisse für das entsprechende Planungstool, die Ausgestaltung der Online-Priorisierung, sowie zeitliche Rahmenbedingungen, Qualitätsanalyse und Übertragbarkeit der Lösungen.

6.2.1.1. Anforderungen an die ÖV-Priorisierung durch Smart Traffic Center

Das Smart Traffic Center (STC) soll auf der Verkehrsmanagementebene eine ÖV-Priorisierung im kooperativen Systemverbund mit dem ITCS realisieren (s. Abbildung 10). Dieser Verbund ermöglicht eine optimale ÖV-Beschleunigung unter Berücksichtigung der notwendigen Ladezeiten für die Busse an den Haltestellen. Darüber hinaus können durch die Anbindung an das ITCS auch weitere Faktoren, wie etwa der Ladezustand (SOC), die Anzahl der Fahrgäste oder die Verspätungslage bei der Entscheidung über die Priorisierung berücksichtigt werden.

Das Smart Traffic Center identifiziert mit Hilfe der vom ITCS oder des ÖV-Assistenz-Backends gemeldeten Positionsdaten und der zentral hinterlegten Routeninformationen die von einem Fahrzeugumlauf betroffenen Lichtsignalanlagen und Signalgruppen, erzeugt passende ÖV-Priorisierungsbefehle und verschickt diese über den Verkehrsrechner und die neu zu entwickelnden Kommunikationswege an die jeweiligen Lichtsignalanlagen.



Das LSA-Steuergerät empfängt die Befehle und gibt diese in geeigneter Form an das Steuerungsverfahren weiter. Das Steuerungsverfahren verarbeitet die ÖV-Befehle und priorisiert die entsprechenden ÖV-Verkehrsströme durch geeignete Signalisierung.

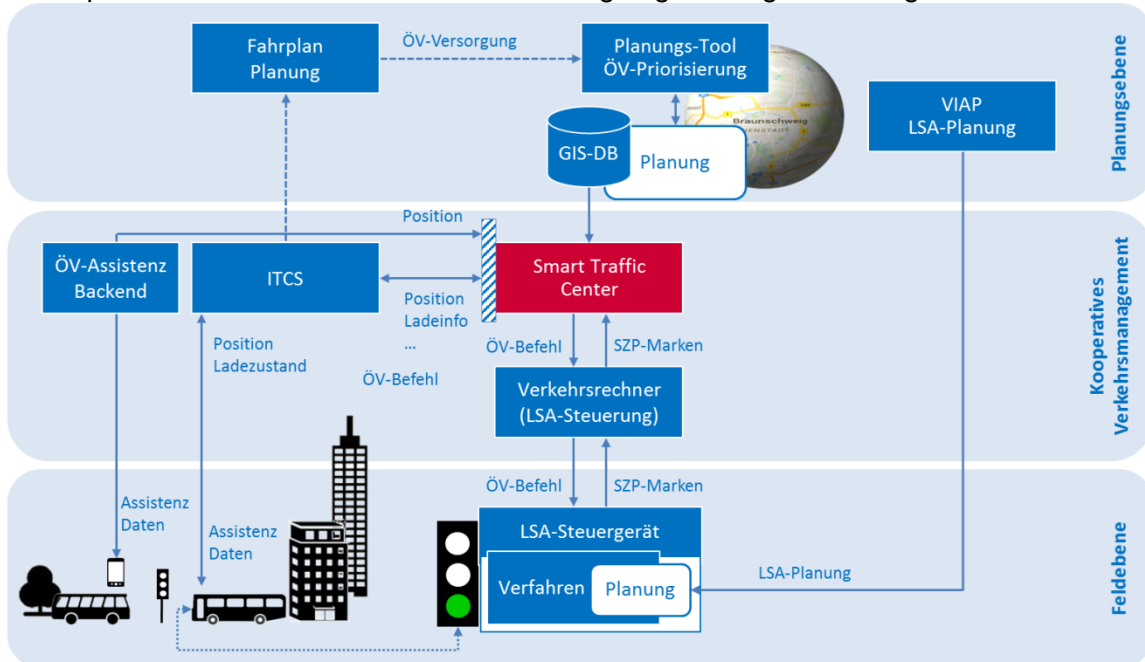


Abbildung 10: Rolle des Smart Traffic Center im kooperativen Systemverbund

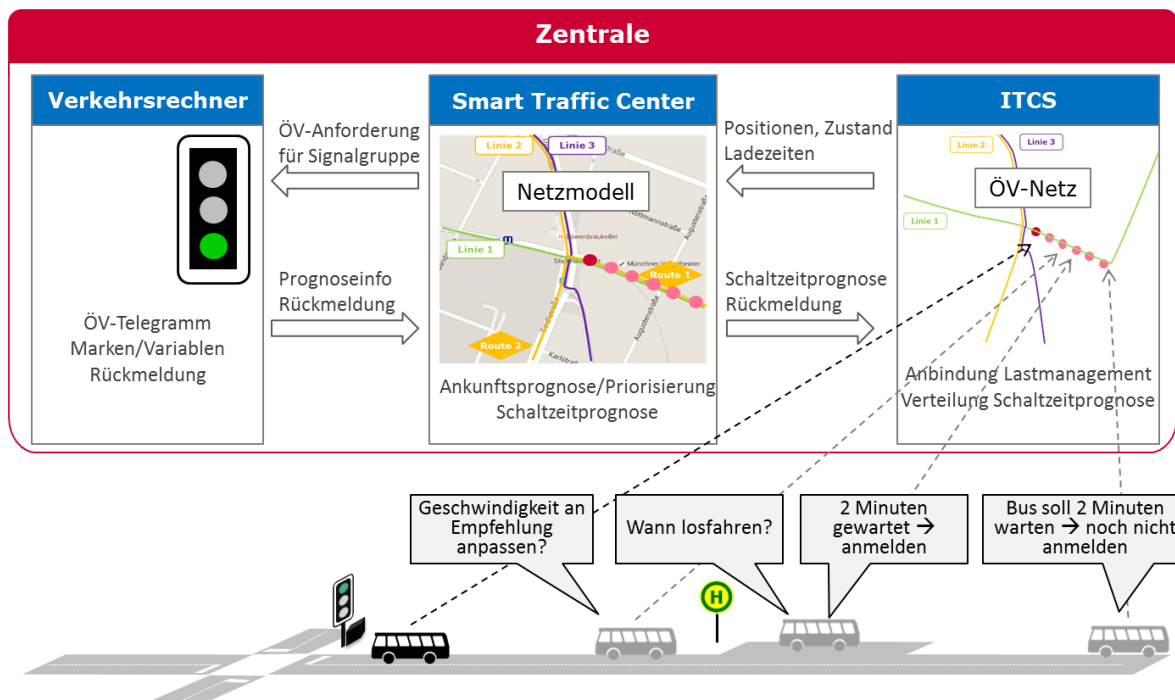


Abbildung 11: Kooperativer Systemverbund von Verkehrsrechner, Smart Traffic Center und ITCS

Die Kommunikationswege und ein wichtiger Anwendungsfall sind in Abbildung 11 exemplarisch dargestellt. Ein Bus nähert sich der Lichtsignalanlage. Vor der Haltlinie der Lichtsignalanlage liegt jedoch noch eine Haltestelle mit Ladestation. Bei der üblichen Form der ÖV-Beschleunigung wird der Bus bereits vor der Einfahrt in die Haltestelle angemeldet. Die Aufenthaltsdauer an der Haltestelle wird hierbei geschätzt und die Grünphase für einen entspre-



chend verzögerten Zeitpunkt angefordert. Diese Grünphase wird üblicherweise so lange beibehalten, bis der Bus die Haltlinie passiert hat.

Durch das Laden des Elektrobusses an der Haltestelle können hier jedoch deutlich längere Aufenthalte entstehen, so dass die Grünphase an der Haltlinie viel zu lang beibehalten wird, um dann nach einer Maximaldauer erfolglos abubrechen. Dadurch würde ein enorm negativer Effekt auf die Verkehrsabfertigung an der Lichtsignalanlage entstehen. Deshalb gibt es eine Anbindung des ITCS an das Lastmanagement, sodass die Aufenthaltsdauer an der Haltestelle vorab dem ITCS bekannt ist. Diese Information wird an das Smart Traffic Center weitergegeben.

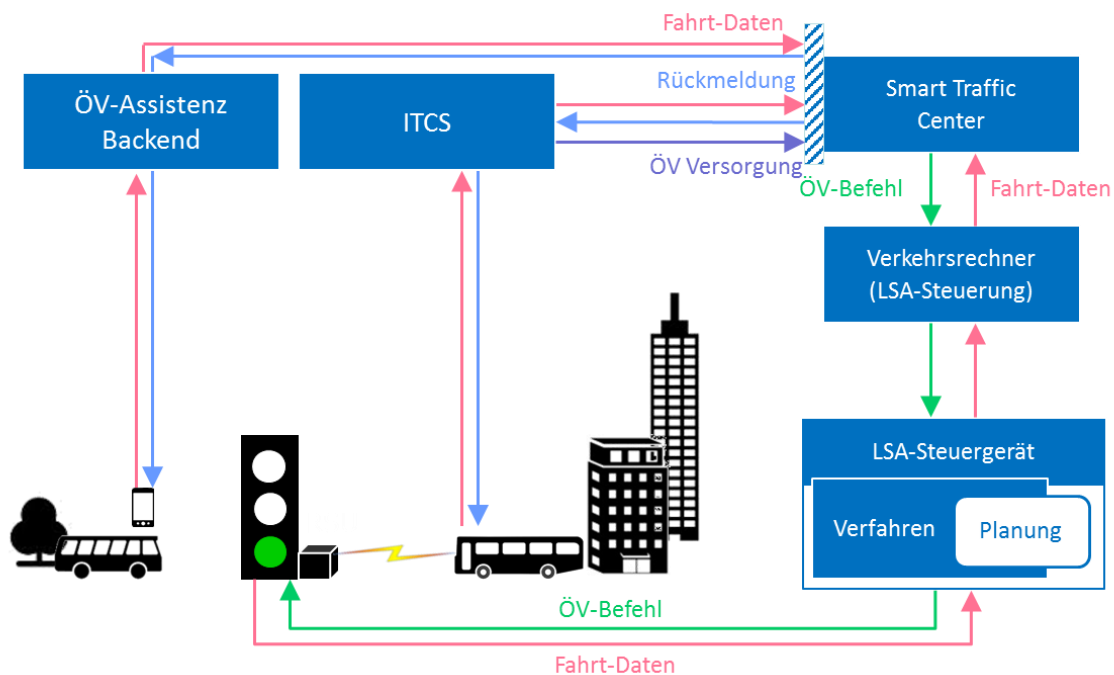


Abbildung 12: Übernahme von Fahrtdaten und Versenden bzw. Verteilen von ÖV-Befehlen und Rückmeldungen

Umgekehrt stellt das STC eine Rückmeldung über die Anmeldung an der Lichtsignalanlage zur Verfügung, die über das ITCS auf den Bordrechner des Busses gesendet wird und dort dem Fahrer angezeigt werden kann.

Allgemeine Anforderungen

Die Planung der LSA-Steuerung für eine ÖV-Beschleunigung ist bereits ohne die Berücksichtigung zusätzlicher Ladezeiten von Elektrobussen und weiterer Merkmale sehr komplex und dadurch fehleranfällig und aufwändig in der Wartung. Durch die Aufteilung der Planung in einen zentralen und einen lokalen Teil soll die Komplexität auf lokaler Ebene reduziert werden.

Eine Änderung der Planung, welche nur den zentralen Teil betrifft, soll einfach und aufwandsarm durchführbar und aktivierbar sein. Insbesondere soll das Aktivieren der Änderung ohne Ausfall der LSA möglich sein.

Die Abhängigkeit der lokalen LSA-Planung von ÖV-Linien und Routen soll eliminiert werden, so dass Änderungen von ÖV-Linien oder Routen nicht die Notwendigkeit einer Änderung der lokalen Planung mit sich bringen. Die Zuordnung von Fahrwegen für ÖV-Linien und Routen



zu Signalgruppen soll zentral an einer einzigen Stelle gepflegt werden – keine Mehrfachversorgung.

Die ÖV-Beschleunigung soll die Schaltzeitprognose – als ein wesentliches Element des kooperativen Verkehrsmanagements – unterstützen.

Der zentrale Planungsarbeitsplatz muss folgende Möglichkeiten bieten:

1. Netzbasierte Versorgung für ÖV-Linien und Routen. Die ÖV-Informationen sollen automatisiert oder teilautomatisiert vom ITCS übernommen werden.
2. Festlegung von Prioritäten für die ÖV-Beschleunigung in Abhängigkeit von Fahrzeugtyp, Ladezustand, Verspätungslage, Besetzungsgrad, Linie oder Route
3. Festlegung expliziter Reihungen von Linien/Routen, beispielsweise für die Anschlusssicherung

Der ÖV-Befehl soll alle 1-2 Sekunden von der Zentrale neu generiert und an die lokale Steuerung weitergegeben werden. Es ist eine eindeutige ID pro ÖV-Befehl zu verwenden, um eine nachträgliche Auswertung des Zusammenspiels zwischen Zentrale und lokaler Steuerung zu ermöglichen.

Das Smart Traffic Center (STC) muss basierend auf den realen Fahrverläufen der ÖV-Fahrzeuge eine Ankunftsprognose für die ÖV-Fahrzeuge generieren und über den ÖV-Befehl versenden.

Um eine Übertragbarkeit der Lösung sicherzustellen, muss das STC flexibel in der Datenverarbeitung sein. Die Basisdaten der Optimierung (Ladezustand, Verspätungslage, ...) sind als optionale Daten zu verarbeiten, d.h. das Modul muss auch lauffähig sein, wenn nur Teile der Daten vorhanden sind.

Eingangsdaten

Versorgungsübernahme von ITCS und Planungssystem

Das STC braucht für sein Netzmodell Informationen über die Linien und Routen des ÖV aus ITCS und Planungssystem:

1. ÖV-Linien und Routen mit der Zuordnung zu Haltestellen
2. GIS-Informationen zu Linien, Routen und Haltestellen, damit eine weitgehend automatisierte Zuordnung zum Verkehrsnetz des STC möglich wird
3. Evtl. aktuelle Umleitungsrouten des ÖV

Die Aktualisierung der Daten sollte etwa einmal täglich erfolgen, bei den Umleitungsrouten gegebenenfalls auch ereignisorientiert.

Fahrtdatenübernahme vom ITCS

Das STC benötigt Informationen über die einzelnen Busse. Für jedes Fahrzeug müssen spätestens 2 Minuten vor Annäherung an die Lichtsignalanlage folgende Informationen bereitgestellt werden:

1. Linie, Route, Kurs, ID des Fahrzeugs
2. WGS-Position des Fahrzeugs
3. Nächste Haltestelle des Fahrzeugs
4. Geplante Haltedauer an der nächsten Haltestelle



5. Ladezustand des Busses
6. Bestehen eines Haltewunsches
7. Verspätungslage des Fahrzeugs
8. Belegung des Fahrzeugs (soweit bekannt)

Die Daten müssen mit einem Zeitintervall von 1-2 Sekunden aktualisiert werden. Die Latenzzeiten müssen so gering wie möglich sein und dürfen 2-3 Sekunden nicht überschreiten.

Fahrtdatenübernahme vom ÖV-Assistenz Backend

Das ÖV-Assistenz Backend implementiert das Backend für den ÖV-Fahrer-Assistenten, welcher eine aufwandsarme ÖV-Beschleunigung im ländlichen Raum ermöglichen soll. Hier stehen nicht die vollständigen ÖV-Informationen eines ITCS zur Verfügung, deshalb sind die Anforderungen hier reduziert.

Für jedes Fahrzeug müssen spätestens 2 Minuten vor Annäherung an die Lichtsignalanlage folgende Informationen bereitgestellt werden:

1. Linie, Route, ID des Fahrzeugs
2. WGS-Position des Fahrzeugs

Die Daten müssen mit einem Zeitintervall von 1-2 Sekunden aktualisiert werden. Die Latenzzeiten müssen so gering wie möglich sein und dürfen 2-3 Sekunden nicht überschreiten.

Fahrtdatenübernahme von RSU über Verkehrsrechner

Als optionaler Weg zur ÖV-Anmeldung soll der Weg über eine RSU ermöglicht werden. Die Busse melden sich hierbei an, sobald sie den Bereich der V2X-Kommunikation erreicht haben. Folgende Informationen müssen bereitgestellt werden:

1. Linie, Route, Kurs, ID des Fahrzeugs
2. WGS-Position des Fahrzeugs
3. Ladezustand des Busses
4. Geplante Haltedauer an der nächsten Haltestelle
5. Bestehen eines Haltewunsches
6. Verspätungslage des Fahrzeugs
7. Belegung des Fahrzeugs (soweit bekannt)

Die Daten müssen mit einem Zeitintervall von 1-2 Sekunden aktualisiert werden. Die Latenzzeiten müssen so gering wie möglich sein und dürfen 2-3 Sekunden nicht überschreiten.

Übernahme der Rückmeldungen vom Verkehrsrechner

Das STC benötigt vom Verkehrsrechner eine Rückmeldung auf die ÖV-Anforderung. Diese Rückmeldung muss zeitnah erfolgen und muss es ermöglichen, die zugehörige Anforderung zu identifizieren. Die Rückmeldung soll eine Anmeldung bestätigen oder dementieren.

Ausgangsdaten

Im Rahmen der ÖV-Priorisierung produziert das Smart-Traffic-Center die folgenden Daten:

1. ÖV-Befehl mit den Parametern:
 - a. Ankunftszeit
 - b. Zu priorisierende Signalgruppe
 - c. Priorität
 - d. Ggf. eine gewünschte Reihenfolge für die Abfertigung



2. Rückmeldung über die Anmeldung an der Lichtsignalanlage

Der ÖV-Befehl soll kontinuierlich (Aktualisierung alle 1-2 Sekunden) an den Verkehrsrechner weitergegeben werden.

6.2.1.2. Anforderungen an die Hybride Schaltzeitprognose durch das Smart Traffic Center

Die Hybride Schaltzeitprognose ist ein Modul des Smart-Traffic-Center, welches die Aufgabe hat, die Grün- und Rotphasen der Lichtsignalanlagen zu prognostizieren. Hierzu fusioniert das Prognosemodul statistische Verfahren mit Online-Informationen, welche von der LSA über den Verkehrsrechner zur Verfügung gestellt werden.

Der hybride Ansatz soll die Vorteile der beiden Verfahren zusammenführen. Während das Steuerungsverfahren in gewissen Situationen und insbesondere in der Situation einer ÖV-Anmeldung sichere Aussagen über den weiteren Steuerungsverlauf treffen kann, gibt es auch Phasen im Steuerungsablauf, in denen der weitere Verlauf durch den aktuellen Verkehr bestimmt wird und somit das Steuerungsverfahren selbst kaum sinnvolle Prognosen abgeben kann. In diesen Situationen sind statistische Verfahren günstiger, weil sie die typischen Verkehrssituationen erfassen und statistisch gelernt haben. Das Steuerungsverfahren der LSA stellt hierbei seine Informationen in Form sogenannter Schaltzeitprognose-Marken (SZP-Marken) zur Verfügung.

Die Eingangsdaten der Schaltzeitprognose werden durch den Verkehrsrechner zur Verfügung gestellt. Datenabnehmer sind das ITCS, das ÖV-Assistenz Backend und, über den Weg des Verkehrsrechners, auch die RSU (s. Abbildung 13).

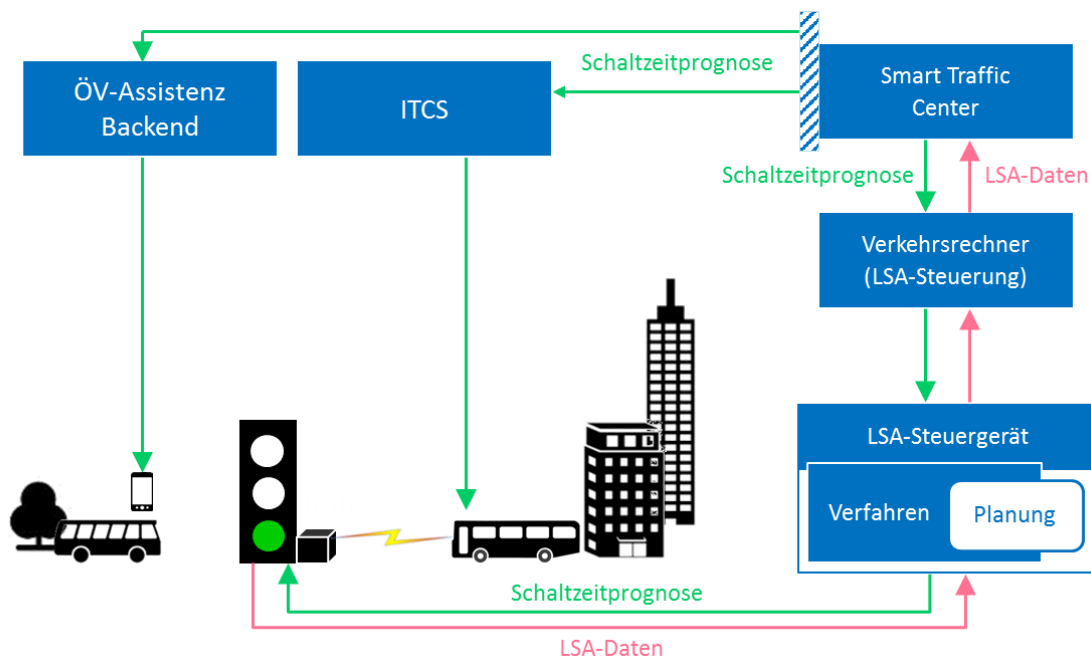


Abbildung 13: Übernahme von LSA-Daten und Verteilung von Prognosedaten durch das STC

Allgemeine Anforderungen

Neben der Prognose müssen Informationen über die Zuverlässigkeit der Prognose gebildet und zur Verfügung gestellt werden.



Die Prognosen werden für einen Zeitraum von wenigstens 1 Minute erstellt. Ein Ereignis, welches die LSA-Steuerung beeinflusst – z. B. die Anmeldung eines ÖV-Fahrzeugs oder auch das Drücken eines Fußgängertasters – soll zu einer Aktualisierung der Prognose führen.

Das Prognosemodul muss auch Schaltzeitprognosen für reine ÖV-Signalgruppen erstellen. Aus der Versorgung des Systems muss klar sein, welche ÖV-Linien und Routen durch welche Signalgruppen gesteuert werden.

Eingangsdaten

Die Schaltzeitprognose benötigt vom Verkehrsrechner die folgenden LSA-Daten

1. IstVektor (Betriebszustand und Sammelstörungskennung der LSA gemäß OCIT-O)
2. Signalgruppenzustände
3. Detektorflanken
4. ÖV-Anmeldungen
5. Wellensekunde / TX
6. SZP-Marken

Die LSA-Daten müssen zeitnah, also mit einer Latenz von maximal 5 Sekunden, versendet werden.

Ausgangsdaten

Im Ergebnis stellt das Prognosemodul des STC eine Schaltzeitprognose zur Verfügung.

6.2.1.3. Anforderungen an die ITCS-Zentrale im kooperativen Systemverbund

Die ITCS-Zentrale stellt das Bindeglied zwischen den ÖV-Fahrzeugen und dem Smart Traffic Center dar. Hierfür versorgt sie das Smart Traffic Center mit den Fahrplandaten und den aktuellen Standorten der Fahrzeuge und bekommt im Gegenzug für die Fahrzeuge eine entsprechende Schaltzeitprognose, die an die Fahrzeuge weitergegeben wird (s. Abbildung 13). In der ITCS-Zentrale selbst ist ein tagesaktueller Fahrplan einschließlich aller durch Störungen bedingten Änderungen hinterlegt.

Eingangsdaten

Nachdem das Smart Traffic Center basierend auf den aktuellen Zustand und den aktuellen Fahrplan seine Schaltzeitprognosen erstellt hat, müssen diese Informationen wieder an die ITCS-Zentrale zurückgegeben werden. Die Zuordnung der maßgebenden Signalgruppe zu einem Fahrzeug ist Aufgabe des STC. Das ITCS benötigt daher vom STC:

- Prognostizierter Schaltzeitpunkt je Fahrzeug

Da die kompletten aktuell gültigen Fahrplandaten sowohl in der ITCS-Zentrale als auch im Fahrzeug vorliegen, werden aus Sicht der Verkehrssteuerung gegenüber dem gegenwärtigen Zustand keine weiteren Informationen benötigt. Allerdings müssen die Meldungsintervalle für Positionsinformationen deutlich verringert werden und statt Analogfunk oder digitalem Bündelfunk via öffentlichem Mobilfunk übermittelt werden.

Ausgangsdaten



Um dem Fahrer Informationen zur energieeffizienten Fahrweise zu geben, müssen die prognostizierten Schaltzeitpunkte der Lichtsignalanlagen an die Fahrzeuge weitergegeben werden.

6.2.1.4. Anforderungen an die Steuerungsverfahren im kooperativen Systemverbund

Das Steuerungsverfahren arbeitet lokal auf dem Steuergerät und verarbeitet die lokal und vom Smart Traffic Center (STC) bereitgestellten Verkehrsinformationen. Es steuert den lokalen Knotenpunkt mit plausiblen und möglichst optimalen Signalzeitenplänen.

Die Signalzeitenpläne werden mit dem bestehenden Verkehrsingenieurarbeitsplatz (VIAP) CROSSIG entworfen und optimiert. Typische Verkehrssituationen dienen hierbei als Ausgangspunkt um möglichst optimale verkehrsabhängige Steuerungen entwerfen zu können. Die verkehrsabhängigen Logiken sind mit der RiLSA-konformen Logiksprache TRELAN zu entwickeln und unter Berücksichtigung der Anforderungen an die hybride Schaltzeitprognose sowie der zentralenbasierten ÖV-Assistenz zu optimieren.

Die geplanten Steuerungen müssen online und im laufenden Betrieb über die definierte Kommunikationsschnittstelle (STC \leftrightarrow Steuergerät) austauschbar sein. Die ÖV-Beeinflussung soll dabei nicht gestört werden.

Anforderungen an das Steuerungsverfahren

Das Steuerungsverfahren muss in der Lage sein, neben den herkömmlich gelieferten lokalen Informationen (Detektor, Taster und ÖV-Meldungen) die aus dem STC gestellten Informationen wie ÖV-Befehle, Rahmensignalpläne, Befehle von Einsatzfahrzeugen und Verkehrslageinformationen zu verarbeiten.

Optional müssen auch Informationen, die über eine RSU kommen, verarbeitet werden können. Hier sind insbesondere die in der CAM (Cooperative Awareness Message) enthaltenen ÖV-Befehle sowie die Bevorrechtigungswünsche der Einsatzfahrzeuge zu berücksichtigen. Umgekehrt muss das Steuerungsverfahren vorhandene Informationen wie Fußgängeranforderungen, Detektoranforderungen, ÖV-Befehle, Phasenübergänge, Signalgruppenzustände, SZP-Marken (bevorstehende Entscheidungspunkte in der Logik) sowie den aktuellen VA-Rahmensignalplan an das STC sekundlich bzw. bei Zustandswechsel liefern. Auch muss das Verfahren eine Rückmeldung hinsichtlich der Verarbeitung des empfangenen Befehls an das STC übermitteln.

Umschaltvorgänge zwischen zwei Signalprogrammen oder Versorgungswechsel müssen den Synchronisierungsaufwand von koordinierten Anlagen auf ein Minimum reduzieren und dürfen weder die LSA noch einen bereits empfangenen ÖV-Befehl konterkarieren.

Anforderungen an den Verkehrsingenieurarbeitsplatz

Der Verkehrsingenieurarbeitsplatz (VIAP) muss die o. g. Anforderungen an das Steuerungsverfahren planerisch bereitstellen. Dazu muss der Verkehrsingenieurarbeitsplatz dem Verkehrsplaner neben den bereits bestehenden Methoden und Oberflächen für den MIV (motorisierter Individualverkehr) und NMIV (nichtmotorisierter Individualverkehr) auch Oberflächen für den ÖV-gebundenen Verkehr bieten.

1. Übernahme der netzbasierten Versorgung für ÖV-Linien und Routen aus dem STC
2. Übernahme der Prioritäten für die ÖV-Beschleunigung in Abhängigkeit von Fahrzeugtyp, Ladezustand, Verspätungslage, Besetzungsgrad, Linie oder Route



3. Übernahme der festgelegten Reihungen von Linien/Routen, beispielsweise für die Anschlussicherung

Der VIAP muss die Möglichkeit bieten, ÖV-Befehle entwerfen zu können und diese dem STC zur automatisierten Verarbeitung zur Verfügung zu stellen.

Darüber hinaus muss der VIAP in der Lage sein, die für die ÖV-Beeinflussung relevanten Informationen in einem STC-tauglichen Format zu exportieren.

Die RiLSA-konforme Logiksprache TRELAN und der dazugehörige TRELAN-Editor sind dahingehend zu erweitern, dass der Verkehrsplaner wichtige Logikentscheidungen durch die SZP-Marken transparent machen kann. Die neuen Sprachelemente in der TRELAN-Logik entscheiden darüber, welche Abschnitte der Logik wie aus dem Steuerungsverfahren heraus in die hybride Schaltzeitprognose transportiert werden.

Ferner sind Sprachelemente in der Logiksprache TRELAN zu entwickeln, die die zentralen-seitig gelieferten ÖV-Befehle aufnehmen und verarbeiten können. Dabei sollte, wenn möglich, die Flexibilität gewährleistet werden, dass lokal definierte ÖV-Befehle durch zentralen-seitig online bereitgestellte ÖV-Befehle substituiert werden können.

Ein in dem STC eingesetzter VIAP muss in der Lage sein, eine Neuversorgung eines Bestandsknotens durchführen zu können, ohne die bereits abgesetzten ÖV-Befehle zu konterkarieren oder den Betrieb der LSA zu stören.

6.2.1.5. Anforderungen an die LSA-Kommunikationswege im kooperativen Systemverbund

Die LSA-Kommunikationswege sind unterteilt in drei wesentliche Bereiche. Abbildung 14 zeigt diese Kommunikationswege in einer Übersicht:

1. Kommunikation zwischen Fahrzeug und Verkehrsinfrastruktur
2. Kommunikation zwischen LSA-Steuergerät und Verkehrsrechner
3. Kommunikation zwischen Verkehrsrechner und Smart Traffic Center

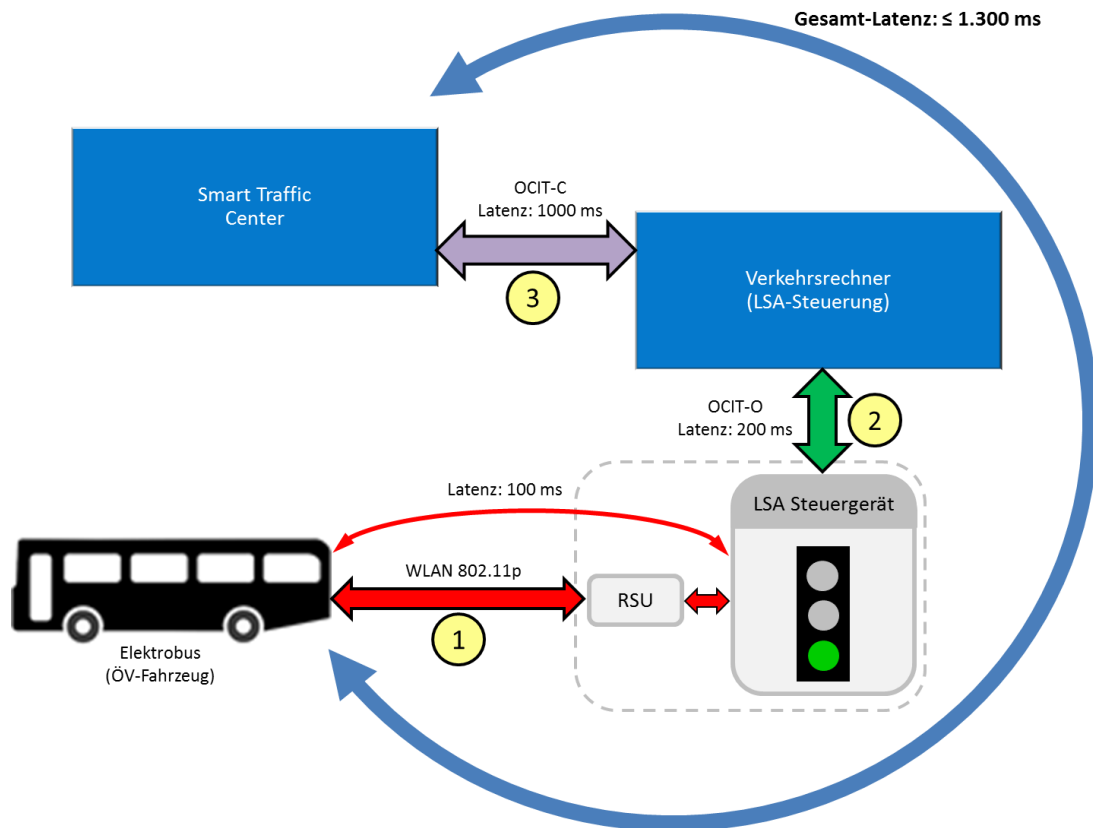


Abbildung 14: LSA-Kommunikationswege

Ein extrem wichtiger Punkt bei der betrachteten Systemarchitektur sind die Latenzzeiten. Grundsätzlich sind bei der ÖV-Beeinflussung schnelle Reaktionszeiten eine zwingende Voraussetzung. Bei der klassischen ÖV-Beeinflussung mit Funk-Baken, ist dies relativ einfach zu erfüllen, da diese immer nur lokal wirkt. Das heißt, ein ÖV-Fahrzeug meldet sich direkt an einer LSA an und die Logik des Steuergerätes entscheidet über die Beeinflussung. Hier sind kleine Latenzzeiten bei der Datenübermittlung systembedingt sehr einfach zu gewährleisten. Im Projekt MENDEL sollen die ÖV-Beeinflussung jedoch zentralenbasiert erfolgen. Die Anmeldung erfolgt also nicht lokal, direkt am Steuergerät, sondern die Anmeldung erfolgt über die RSU und wird vom Steuergerät weiter an den Verkehrsrechner geleitet. Der Verkehrsrechner wiederum leitet die ÖV-Anmeldung an das Smart Traffic Center weiter, welches die ÖV-Anmeldung letztendlich auch bearbeitet. Das Ergebnis dieser Bearbeitung kann eine Priorisierungsvorgabe für dieses ÖV-Fahrzeug für eine bestimmte LSA sein. Diese Priorisierungsvorgabe muss nun wieder vom Smart Traffic Center über den Verkehrsrechner zur LSA transportiert werden und dort der verkehrsabhängigen Logik zugeführt werden, damit diese die Vorgabe umsetzen kann.

Für die zentralenbasierte ÖV-Beeinflussung im Projekt MENDEL wird eine Latenzzeit von 1,3 s für jede Kommunikationsrichtung über alle beteiligten Instanzen angestrebt, d.h. vom ÖV-Fahrzeug bis zum Smart Traffic Center sowie für die umgekehrte Richtung. Für „Hin- und Rückweg“ ergibt sich somit in Summe eine einzuhaltende Latenzzeit von 2,6 s. Zuzüglich der Bearbeitungszeit der ÖV-Anmeldung im Smart Traffic Center sollen idealerweise 3,0 s nicht überschritten werden. Für die Bearbeitungszeit im Smart Traffic Center ergibt sich somit die Forderung, dass diese 400 ms nicht übersteigen soll.

In Abbildung 14 sind RSU und LSA andeutungsweise als eine Einheit dargestellt. LSAs sind funktionsbedingt überwiegend an Knotenpunkten (Kreuzungen) installiert. Für RSUs gilt dasselbe, nur, dass diese bislang nicht flächendeckend installiert sind. Für die Zukunft ist es



daher naheliegend, die RSU als Bestandteil der LSA auszuführen, ähnlich wie es heutzutage auch die klassischen RBL-Empfänger sind. Die LSA kann zukünftig durch die Integration der RSU zur *Kooperativen LSA* werden. Es werden sich viele Synergien ergeben, von einer intelligenteren Verkehrssteuerung bis hin zur gemeinsam nutzbaren Schnittstelle zum Verkehrsrechner.

Denkbar ist auch eine Anmeldung an einer zur LSA benachbarten RSU, die die Anmeldung dann über ein Datennetz an die eigentlich zuständige RSU an der LSA weiterleitet. Im Testfeld Braunschweig ist dies über (Standard-)WLAN möglich. Auch ein *hopping* (direktes Weiterleiten / erneutes Senden per V2X) der V2X-Nachrichten von einer RSU zur nächsten ist denkbar und für bestimmte V2X-Nachrichten bereits standardisiert.

Anforderungen an die direkte Kommunikation zwischen Fahrzeug und Verkehrsinfrastruktur

Die Fahrzeuge kommunizieren ausschließlich mit der Road Side Unit als Teil der Verkehrsinfrastruktur. Als Fahrzeuge werden im Rahmen von MENDEL Elektro-Busse (ÖV-Fahrzeuge) betrachtet. Die Kommunikation zwischen ÖV-Fahrzeug und RSU erfolgt gemäß den Standards IEEE¹ 802.11p und ETSI² ITS G5. Diese beiden Normen definieren einen modifizierten WLAN-Standard speziell für den Datenaustausch zwischen Fahrzeugen untereinander sowie zwischen Fahrzeugen und der Verkehrsinfrastruktur (V2X Kommunikation). Zu diesem Zwecke sind in den ÖV-Fahrzeuge kompatible On-Board Units (OBU) einzusetzen. Zwischen RSU und OBU werden folgende Daten ausgetauscht, die durch CEN³ bzw. ETSI als Standardisierungsentwurf spezifiziert sind:

- SPaT (Signal Phase and Timing): Nachricht zur Übermittlung des aktuellen LSA-Status je Signalgruppe und der verbleibenden Restlaufzeiten.
- CAM: Nachricht, die über die Präsenz der eigenen Station informiert, deren Koordinaten und Bewegungsinformationen enthält und hier für die Anmeldung von ÖV-Fahrzeugen genutzt wird.
- MAP: Enthält Topologieinformationen der aktuellen Kreuzung und ermöglicht so die Zuordnung von Signalgruppen zu Fahrspuren, auch ohne weitere Sensorik im Fahrzeug.

Die RSU wird in MENDEL als Subsystem der Lichtsignalanlage ausgeführt, das bedeutet, die RSU kann systemtechnisch als Bestandteil der LSA betrachtet werden. Um die Integration der RSU, welche vom DLR bereitgestellt wird, zu realisieren, werden folgende Anforderungen an die LSA gestellt:

- Die LSA muss eine geeignete Datenschnittstelle zur RSU bereitstellen. Physikalisch ist die Datenschnittstelle eine Netzwerkschnittstelle gemäß dem Ethernet-Standard (100-BaseT nach IEEE 802.3). Das Protokoll basiert auf TCP/IP oder UDP/IP. In der LSA muss das Application Programming Interface (API), welche durch die RSU vorgegeben wird, umgesetzt werden.
- Die Daten, welche von der RSU über V2X empfangen werden, sollen spätestens nach 100ms von der LSA ausgelesen worden sein.
- In umgekehrter Richtung müssen die Daten, welche von der LSA zur RSU übertragen werden, spätestens nach 100ms über V2X weiter verteilt worden sein.
- Für die Signalisierungsdaten und die Daten der Prädiktion, welche die LSA an die RSU liefert, gelten weitere Anforderungen:

¹ Institute of Electrical and Electronics Engineers

² European Telecommunications Standards Institute

³ Comité Européen de Normalisation



- Der aktuelle Zustand aller Fahrzeug-Signalgruppen muss fortlaufend, zumindest bei Änderung, vom LSA-Steuergerät zur RSU übertragen werden.
- Die prognostizierte Restzeit des aktuellen Zustands jeder Signalgruppe muss vom LSA-Steuergerät zur RSU übertragen werden.
- Eine Änderung der prognostizierten Restzeit (z. B. durch ÖV-Eingriff) ist möglichst schnell an die RSU zu übertragen.
- Alle prognostizierten Zeiten sind mit einer Prognosewahrscheinlichkeit zu versehen.

Die Verteilung der Daten durch die RSU an die Fahrzeuge erfolgt gemäß den Standards IEEE 802.11p und ETSI ITS G5. Dafür ist ein speziell für diesen Zweck entwickelter kommerzieller Chipsatz inklusive einem speziellen Protokoll-Stack in der RSU verbaut. Die Kommunikation auf der „V2X-Schnittstelle“ wird daher als standardisierte und unveränderliche Komponente eingesetzt und nicht weiter betrachtet.

Ein besonderes Augenmerk ist auf die Anmeldung von ÖV-Fahrzeugen an den LSAs zu legen. ÖV-Fahrzeuge sollen eine Anmeldung mit Hilfe eines CAM-Telegrammes absetzen. Das CAM-Telegramm wird von der RSU empfangen und an das LSA-Steuergerät weitergeleitet. Die Auswertung der ÖV-Anmeldung erfolgt jedoch nicht lokal im LSA-Steuergerät wie bei der klassischen ÖV-Beeinflussung, sondern bei MENDEL erfolgt die Auswertung zentralbasiert im Smart Traffic Center. Dazu wird die ÖV-Anmeldung geeignet von der LSA über den Verkehrsrechner an das Smart Traffic Center weitergeleitet. Folgende Anforderungen gelten für die ÖV-Anmeldung:

- Das ÖV-Fahrzeug muss sich an der nächsten relevanten LSA anmelden. Die Anmeldung an der LSA muss zum frühesten möglichen Zeitpunkt erfolgen, idealerweise sobald das Fahrzeug in die Reichweite der RSU kommt.
- Das ÖV-Fahrzeug muss sich nach Passieren der Haltlinie an der letzten LSA abmelden.
- Das ÖV-Fahrzeug muss der RSU seinen aktuellen Batterie-Ladezustand mitteilen. Hier gilt es zu klären, in wie weit das CAM-Telegramm dafür benutzt werden kann.

Anforderungen an die Kommunikation zwischen Lichtsignalanlagen und dem Verkehrsrechner

Der Verkehrsrechner kommuniziert in Richtung der Feldebene ausschließlich mit dem Lichtsignalsteuergerät. Es ist keine direkte Kommunikation mit der RSU vorgesehen. RSU und LSA bilden eine Einheit, die über den Verkehrsrechner angesprochen wird. Demzufolge ist die „klassische“ Schnittstelle zwischen LSA und Verkehrsrechner dahingehend zu erweitern, dass auch die Daten der V2X Kommunikation (SPaT, CAM, MAP) darüber ausgetauscht werden können.

Um eine einfache Übertragbarkeit der Projektergebnisse auf andere Gebiete sicherzustellen, soll als Basis für die Schnittstelle zwischen Verkehrsrechner und Lichtsignalanlage eine offene und standardisierte Schnittstelle eingesetzt werden. Im europäischen Raum und insbesondere in Deutschland bietet sich hier vorzugsweise die Schnittstelle OCIT[®]-Outstations (OCIT-O) der OCIT Developer Group (ODG) an. OCIT-O ist aktuell die einzige offene und moderne Standardschnittstelle in diesem Bereich, die das Potential hat, die Anforderungen dieses Projektes zu erfüllen. Zudem arbeitet die ODG aktuell an einer neuen Schnittstellenversion OCIT-O V3.0, die die Daten der V2X-Kommunikation miteinschließt.

Die Schaltzeitprognose im Smart Traffic Center benötigt online hochaktuelle Zustandsinformationen des Steuerverfahrens, welches im Lichtsignalsteuergerät arbeitet. Diese Zustandsinformationen werden über sog. Marken zunächst an den Verkehrsrechner übertragen,



der dann die Weiterleitung an das Smart Traffic Center übernimmt. Diese Marken sind insbesondere bei ÖV-Beeinflussungen sehr wichtig, um ausreichende Güte der Schaltzeitprognose zu ermöglichen. Für die Marken muss auf Basis von OCIT-O eine geeignete Transportmöglichkeit gefunden werden.

Um die Anforderung an die Latenzzeit des Gesamtsystems einhalten zu können, wird für die Schnittstelle zwischen LSA und Verkehrsrechner eine Latenzzeit von 200ms vorgegeben. Der einzusetzende Standard OCIT-O schreibt selbst keine einzuhaltenden Latenzzeiten vor, was auch beim Einsatz eines TCP/IP-basierten Protokolls seriös wäre, jedoch haben Untersuchungen im Vorfeld gezeigt, dass Latenzzeit von 200ms im Mittel möglich ist, wenn die Möglichkeiten des OCIT-Standards optimal ausgenutzt werden.

Nachfolgend sind die Anforderungen an die Kommunikation zwischen LSA und Verkehrsrechner noch einmal aufgeführt:

- Die Schnittstelle soll auf dem etablierten Standard OCIT-O V2.0 basieren.
- Die Schnittstelle muss für den Transport der Daten SPaT, CAM und MAP erweitert werden.
- Eine Erweiterung für eine zentralenbasierte ÖV-Anforderung bzw. Priorisierungsvorgabe ist notwendig.
- Die Marken des Steuerungsverfahrens müssen zeitnah zum Verkehrsrechner übermittelt werden.
- Eine Latenzzeit von unter 200ms im Mittel für jede Kommunikationsrichtung ist einzuhalten.

Anforderungen an die Kommunikation zwischen dem Verkehrsrechner und dem Smart Traffic Center

Analog zu der Schnittstelle zwischen LSA und Verkehrsrechner soll auch für die Kommunikation zwischen Verkehrsrechner und Smart Traffic Center eine offene und standardisierte Schnittstelle eingesetzt werden, um eine einfache Übertragbarkeit der Projektergebnisse auf andere Gebiete sicherzustellen. Von den in Deutschland etablierten Standards in dem Bereich „Instations“ wird aktuell nur die Schnittstelle OCIT-C (OCIT Center to Center) weiterentwickelt. OCIT-O für den Outstations-Bereich und OCIT-C für den Instations-Bereich, sind von den Datenarten her aufeinander abgestimmt und bieten daher die gewünschte und notwendige Kompatibilität. Wegen der o. g. Gründe wird für MENEDEL diese Schnittstelle für die Kommunikation zwischen Verkehrsrechner und Smart Traffic Center als Basis eingesetzt. Die notwendigen Erweiterungen für MENEDEL werden im Rahmen von MENEDEL projektspezifisch, jedoch standardkonform, umgesetzt. Alternativ werden – soweit sinnvoll möglich – die passenden Weiterentwicklungen des Standards während der Projektlaufzeit übernommen. Die OCIT-C Spezifikation deckt aktuell alle üblichen Datenarten im Bereich der Straßenverkehrstechnik und des Verkehrsmanagements ab. Die wichtigsten Erweiterungen für MENEDEL werden sein, dass analog zu OCIT-O auch hier die Daten der V2X Kommunikation (SPaT, CAM, MAP) abgebildet werden können. Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass für die Schnittstelle zwischen Verkehrsrechner und Smart Traffic Center nahezu identische Anforderungen bestehen wie für die Schnittstelle zwischen LSA und Verkehrsrechner.

OCIT-C ist dahingehend zu erweitern, dass hierüber die zentralenbasierte Priorisierungsvorgabe vom Smart Traffic Center an den Verkehrsrechner übermittelt werden kann.

Die bereits oben erwähnten Marken des Steuerungsverfahrens müssen vom Verkehrsrechner an das Smart Traffic Center weitergeleitet werden. Für diese Marken muss auf Basis von OCIT-C eine geeignete Transportmöglichkeit gefunden werden.



Um die Anforderung an die Latenzzeit des Gesamtsystems einhalten zu können, muss auch Schnittstelle zwischen Verkehrsrechner und Smart Traffic Center eine bestimmte Latenzzeit einhalten. Leider sind die Schnittstellen im Bereich Instations im Gegensatz zu Schnittstellen der Feldebene (Outstations) üblicherweise nicht für kleine Latenzzeiten entwickelt, so auch OCIT-C. Die ambitionierten Latenzzeiten für MENDEL von 200ms sind daher zunächst einmal nicht ohne weiteres einzuhalten. Es wird daher Gegenstand einer Untersuchung sein, ob es im Rahmen des Standards seriös möglich ist, diese Latenzzeit-Forderung einzuhalten. Sollte das nicht möglich sein, könnte eine mögliche Lösung so aussehen, dass zwar das Datenmodell von OCIT-C genutzt wird, jedoch das Protokoll durch ein performanteres ausgetauscht wird.

Nachfolgend sind die Anforderungen an die Kommunikation zwischen Verkehrsrechner und Smart Traffic Center noch einmal aufgeführt:

- Schnittstelle soll auf dem etablierten Standard OCIT-C basieren.
- Die Schnittstelle muss für den Transport der Daten SPaT, CAM und MAP erweitert werden.
- Eine Erweiterung für eine zentralenbasierte ÖV-Anforderung bzw. Priorisierungsvorgabe ist notwendig.
- Die Marken des Steuerverfahrens müssen zeitnah zum Smart Traffic Center übermittelt werden.
- Eine Latenzzeit von unter 200ms im Mittel für jede Kommunikationsrichtung ist einzuhalten.

6.2.1.6. Anforderungen an die ÖV-Fahrer-Assistenten App

Die ÖV-Fahrer Assistenten App soll eine aufwandsarme ÖV-Beschleunigung im ländlichen Bereich ermöglichen und gleichzeitig dem Fahrer die Assistenzfunktionen des kooperativen Verkehrsmanagements bieten. Im ländlichen Bereich existiert im Allgemeinen kein ICTS, jedoch werden zunehmend LSA über Mobilfunk an Zentralen angeschlossen und können somit zentral gesteuert werden. Die MENDEL-Technologie bietet somit eine neue Möglichkeit, die Busse in dieser Situation zu priorisieren und gleichzeitig die Assistenzfunktionen anzubieten, um damit den Energieverbrauch zu reduzieren.

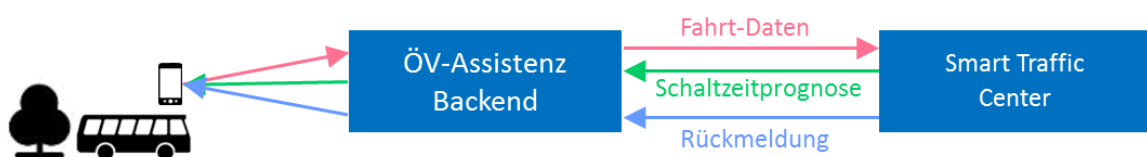


Abbildung 15: Anbindung des ÖV-Fahrer-Assistenten an das STC

Die ÖV-Fahrer-Assistenz besteht einerseits aus einer App, welche im Bus mitgeführt wird und andererseits aus einem Backend, welches die App mit den benötigten Informationen versorgt (s. Abbildung 15).

Allgemeine Anforderungen

Der ÖV-Assistent soll dem Fahrer einen Fahrtverlauf mit weniger Verzögerungs- und Beschleunigungsmanövern und insbesondere Halten ermöglichen. Dies dient der Verbrauchsreduktion und führt gleichzeitig zu einem besseren Fahrkomfort.



Die Assistenzfunktion soll auch ermöglicht werden, wenn der Bus an einer LSA nicht priorisiert wird, denn der Assistent bietet durch seinen Grüne-Welle- und Verzögerungs-Assistenten auch ohne Priorisierung die Möglichkeit der Verbrauchsreduktion.

Wenn möglich soll der Assistent dem Fahrer eine Rückmeldung über den Erfolg der Anmeldung zeigen. Dies ist insbesondere in Situationen wichtig, in denen gewisse ÖV-Signale nur auf Anforderung geschaltet werden.

Die zu entwickelnde Lösung soll ohne Umrüstung der Infrastruktur vor Ort möglich sein. Dies betrifft insbesondere die Ausrüstung der Busse sowie der LSA-seitigen Infrastruktur mit RBL-Sendern bzw. Empfängern.

Eingangsdaten

Der ÖV-Assistent benötigt als Eingangsdatum die folgenden Informationen

1. Die Rückmeldung über die Anmeldung an einer LSA
2. Die Schaltzeitprognose für die nächste Lichtsignalanlage

Ausgangsdaten

Der ÖV-Assistent stellt für einen Bus folgende Informationen zur Verfügung

1. Linie, Route und eine ID für das Fahrzeug
2. WGS-Position des Fahrzeugs

6.2.1.7. Anforderungen an die ITCS-Komponente im Fahrzeug

Die ITCS-Komponente im Fahrzeug umfasst in diesem Kontext sowohl das HMI (Human Machine Interface) des ITCS für den Fahrer, als auch die zentrale Schnittstelle zwischen dem Fahrzeug und der ITCS-Zentrale.

Eingangsdaten

Die ITCS-Komponente benötigt im Fahrzeug die prognostizierten Schaltzeitpunkte an den Lichtsignalanlagen, die auf dem vorgesehenen Linienfahrweg liegen. Diese könnten, wenn es einen entsprechenden Kommunikationskanal gibt, auch direkt vom Smart Traffic Center kommen. Da der Kommunikationskanal zwischen ITCS-Zentrale und ITCS-Komponente auf dem Fahrzeug schon existiert, wird dieser jedoch beibehalten. Nur, wenn die dabei entstehenden Latenzzeiten dieser Lösung entgegenstehen, werden alternative Kommunikationswege in Betracht gezogen.

Der aktuelle Ladezustand muss vom CAN-Bus des Elektrobusses ausgelesen werden, um ihn in der ÖV-Priorisierung berücksichtigen zu können.

Ausgangsdaten

Die ITCS-Zentrale benötigt für die zentrale Verkehrssteuerung an sich gegenüber dem Status quo keine weiteren Informationen vom Fahrzeug. Aus der Anforderung, den Ladezustand eines Elektrobusses als weiteres Kriterium in die ÖV-Priorisierung einzubeziehen, muss dieser jedoch übermittelt werden. Zudem gibt es erheblich höhere Anforderungen an die Meldungshäufigkeit und die Lokalisierungsgenauigkeit.

Aus den prognostizierten Schaltzeitpunkten an den LSA sind auf der ITCS-Komponente im Fahrzeug Fahrempfehlungen an den Fahrer zu generieren.

6.2.2. System- und Schnittstellenspezifikation ITS

Nach Abschluss der Anforderungsanalyse wurde die Spezifikation von System und Schnittstellen erarbeitet. Dabei ging es um die Bereiche zentrale ÖV-Priorisierung durch das Smart



Traffic Center, hybride Schaltzeitprognose, LSA-Steuerungsverfahren und -Kommunikationswege im kooperativen Systemverbund sowie die Einbindung des ÖV-Fahrer-Assistenten.

Für das Projekt werden verschiedene Dienste und Komponenten erweitert oder neu geschaffen, deren Kommunikation untereinander spezifiziert wird. Bei der Ausarbeitung dieser Schnittstellendefinitionen wurde Wert daraufgelegt, Kompatibilität zu anderen Standards auf dem Sektor der Verkehrstechnik und des öffentlichen Verkehrs herzustellen. Zu nennen sind hier beispielsweise die OCIT-Standards der ODG oder die VDV-Standards des Verbands deutscher Verkehrsunternehmen.

6.2.2.1. Komponenten

Komponente ITCS	
<i>Aufgaben</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Empfang von Standortmeldungen, Besetzungsgrad, Kilometerstand und Ladezustände von Fahrzeugen • Ermitteln von Fahrplanänderungen und Fahrtprognosedaten • Übermittlung dieser Daten an das Lastmanagement • Empfang von Ladevorgangsempfehlungen durch das Lastmanagement und Weiterleiten der Empfehlung an Fahrzeuge • Anfrage und Erhalt von Schaltzeitprognosen für Lichtsignalanlagen durch das Smart Traffic Center (STC) • Weiterleiten der Schaltzeitprognose an Fahrzeuge
<i>Verwendet in den Schnittstellen</i>	<ul style="list-style-type: none"> • 1.4 • 1.5 • 1.6 • 1.7 • 1.8 • 2.1 • 2.2
<i>Entwicklungsziel</i>	Weiterentwicklung
<i>Verantwortlich</i>	INIT GmbH

Komponente On Board Unit INIT	
<i>Aufgaben</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Senden von Standortmeldungen, Besetzungsgrad, Kilometerstand und Ladezustände an das ITCS • Empfang von Ladevorgangsempfehlungen/ Fahrverhaltensempfehlungen durch das ITCS • Darstellung der Ladevorgangsempfehlungen für den Fahrer
<i>Verwendet in den Schnittstellen</i>	<ul style="list-style-type: none"> • 1.8 • 2.1
<i>Entwicklungsziel</i>	Weiterentwicklung
<i>Verantwortlich</i>	INIT GmbH



Komponente Smart Traffic Center (STC)	
<i>Aufgaben</i>	<ul style="list-style-type: none">• Bereitstellung von Schaltzeitprognosen• Bereitstellung der ÖV-Rückmeldung• Verwaltung der ÖV-Priorisierungsregeln• Online Erfassung und Map-Matching der ÖV-Fahrzeuge• An- und Abmeldung von ÖV-Fahrzeugen an Lichtsignalanlagen
<i>Verwendet in den Schnittstellen</i>	<ul style="list-style-type: none">• 2.2• 2.3• 2.4• 2.5 / 2.5'• 2.6• 2.18
<i>Entwicklungsziel</i>	Weiterentwicklung
<i>Verantwortlich</i>	GEVAS software GmbH

Komponente Verkehrsrechner MENDEL	
<i>Aufgaben</i>	<ul style="list-style-type: none">• Steuert die angeschlossenen Lichtsignalanlagen (LSA)• Sammelt Betriebs- und Störmeldungen der LSAs• Stellt Onlinedaten der LSAs zu Analysezwecken bereit• Stellt dem STC Daten der LSAs zur Verfügung• Gibt Daten/Befehle des STC in geeigneter Weise an die LSAs weiter
<i>Verwendet in den Schnittstellen</i>	<ul style="list-style-type: none">• 2.4• 2.5• 2.14• 2.15• 2.16
<i>Entwicklungsziel</i>	Weiterentwicklung
<i>Verantwortlich</i>	AVT STOYE GmbH

Komponente LSA-Steuergerät (kooperatives Steuergerät auf dem DLR-Testgelände)	
<i>Aufgaben</i>	<ul style="list-style-type: none">• Steuert den Verkehr am Knoten durch Signalisierung• Detektiert den Verkehr am Knoten• Hat eine IRS integriert• Beinhaltet das weiterentwickelte „kooperative“ Steuerverfahren TRENDS
<i>Verwendet in den Schnittstellen</i>	<ul style="list-style-type: none">• 2.7• 2.8• 2.10



	<ul style="list-style-type: none"> • 2.11 • 2.12 • 2.13 • 2.14 • 2.15 • 2.16
<i>Entwicklungsziel</i>	Weiterentwicklung
<i>Verantwortlich</i>	AVT STOYE GmbH

Komponente LSA-Steuergerät (Stadtgebiet Braunschweig)	
<i>Aufgaben</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Steuert den Verkehr am Knoten durch Signalisierung • Detektiert den Verkehr am Knoten • Beinhaltet das weiterentwickelte „kooperative“ Steuerverfahren TRENDS
<i>Verwendet in den Schnittstellen</i>	<ul style="list-style-type: none"> • 2.13 (nur SZP-Marken) • 2.15 • 2.17
<i>Entwicklungsziel</i>	Primär Anpassung an bestehenden Verkehrsrechner der Stadt Braunschweig
<i>Verantwortlich</i>	AVT STOYE GmbH

Komponente IRS mit OCIT-O Anbindung (Stadtgebiet Braunschweig)	
<i>Aufgaben</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Stellt eine „Stand Alone-IRS“ mit standardisierter Zentralschnittstelle dar • Dient als Gateway für die Car2x-Daten (CAM, Spat und MAP) • Es werden die Daten auf Protokoll- und Datenmodellebene zwischen OCIT-O und ETSI G5.
<i>Verwendet in den Schnittstellen</i>	<ul style="list-style-type: none"> • 2.7 • 2.8 • 2.10 • 2.11 • 2.14 • 2.16
<i>Entwicklungsziel</i>	Neuentwicklung
<i>Verantwortlich</i>	AVT STOYE GmbH

Komponente IRS-Konnektor (Stadtgebiet Braunschweig)	
<i>Aufgaben</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Ermöglicht die Anbindung einer OCIT-kompatiblen IRS an ein OCIT-C-System (hier STC)



<i>Verwendet in den Schnittstellen</i>	<ul style="list-style-type: none">• 2.4• 2.14• 2.16
<i>Entwicklungsziel</i>	Neuentwicklung
<i>Verantwortlich</i>	AVT STOYE GmbH

Komponente LSA-Steuerungsverfahren (CROSSIG/TRELAN/TRENDS)

<i>Aufgaben</i>	<ul style="list-style-type: none">• Planung der zentralen ÖV-Anmeldung• Umsetzung der zentralen ÖV-Anmeldung• Rückmeldung auf zentrale ÖV-Anmeldung• Generierung der SZP-Marken
<i>Verwendet in den Schnittstellen</i>	<ul style="list-style-type: none">• 2.12• 2.13
<i>Entwicklungsziel</i>	Weiterentwicklung
<i>Verantwortlich</i>	GEVAS software GmbH

Komponente ÖV Fahrer-Assistent-App

<i>Aufgaben</i>	<ul style="list-style-type: none">• Bereitstellung der Fahrtinformationen für Landbusse• UI für Fahrer des ÖV-Fahrzeugs
<i>Verwendet in den Schnittstellen</i>	<ul style="list-style-type: none">• 2.3
<i>Entwicklungsziel</i>	Weiterentwicklung
<i>Verantwortlich</i>	GEVAS software GmbH

Komponente Intelligent Roadside Station (IRS)

<i>Aufgaben</i>	<ul style="list-style-type: none">• Sende- und Empfangseinheit für C2X-Nachrichten• Übermittlung der empfangenen Nachrichten an das Ampelsteuergerät
<i>Verwendet in den Schnittstellen</i>	<ul style="list-style-type: none">• 2.7• 2.8• 2.10• 2.11
<i>Entwicklungsziel</i>	Weiterentwicklung
<i>Verantwortlich</i>	DLR



Komponente On-Board-Unit DLR	
<i>Aufgaben</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Sende- und Empfangseinheit für C2X-Nachrichten • Empfang von Fahrplandaten von Co-Pilot-PC
<i>Verwendet in den Schnittstellen</i>	<ul style="list-style-type: none"> • 2.7 • 2.8 • 2.9
<i>Entwicklungsziel</i>	Weiterentwicklung
<i>Verantwortlich</i>	DLR

6.2.2.2. Notation für Schnittstellen

Für die Spezifikation wird, soweit möglich, eine einheitliche Notation verwendet. Allerdings werden im Projekt verschiedene bestehende Schnittstellen erweitert, deren Datenformate und Spezifikationsformate aus Gründen der Konsistenz übernommen werden müssen. Dies wird entsprechend ausgewiesen. Wenn nicht explizit anders ausgewiesen, so wird das in diesem Kapitel erläuterte Format verwendet.

XML

In diesem Dokument werden XML-Strukturen in einer Tabellennotation dargestellt. Jedes wichtige Strukturelement findet sich in einer eigenen Tabelle. Weitere Tabellen werden für alle wesentlichen Kinderelemente, aus denen die komplexen Strukturen aufgebaut sind, angegeben. In den Tabellen wird ein konsistenter Satz an Regeln zur Beschreibung der XML-Elemente und der daran geknüpften Bedingungen verwendet.

Elementname	Elementnamen werden in Groß-Klein-Schreibweise (Upper Camel Case) kursiv in der ersten Spalte wiedergegeben, z. B. <i>VehicleId</i> . Handelt es sich um ein verpflichtendes Element, so wird es fett gedruckt. Optionale Elemente werden nicht fett gedruckt. Der Name der Struktur selbst ist links oben in der Tabelle angegeben. Elemente, die geerbt (XML: "derived by extension") oder anonym verwendet werden, tragen im Namensfeld drei Doppelpunkte ":::" zur Kennzeichnung.
Multiplizität & Choice (Min:Max)	Die Bedingungen, ob ein Element verpflichtend oder optional ist oder ob es einfach oder mehrfach innerhalb des übergeordneten Elements auftreten kann, werden in der zweiten Spalte Multiplizität angegeben. Dabei werden die üblichen UML-Konventionen „min:max“ angewendet, so steht z. B. „0:1“ für ein optionales, einfaches Element, „1:1“ zeigt ein verpflichtendes, einfaches Element an, „0:*“ steht für ein optionales, mehrfaches Element usw. Verpflichtende Elemente werden fett gedruckt. In manchen Fällen muss ein Element aus seiner Menge ausgewählt werden (XML-Choice). Dies wird durch ein vorangestelltes Minuszeichen symbolisiert, z. B. „-1:1“. In diesem Fall steht vor dem Elementnamen noch ein Kleinbuchstabe, der die Auflistung der Wahlmöglichkeiten anzeigt. Bei optionalen Auswahlmöglichkeiten (Choices) steht im Min-Wert eine Null: „-0:1“.
Datentyp	Die Datentypen werden in der dritten Spalte kursiv angegeben, z. B. <i>OccupancyInfo</i> . Falls der Namensraum (namespace) vom Mendel-Namensraum abweicht, wird er mitangegeben, z. B. „ <i>xs:dateTime</i> “.
	<ul style="list-style-type: none"> • Ein komplexer Datentyp, der selbst Strukturen als Kindelemente



	<p>enthält, wird in der Spalte Datentyp mit „+Structure“ gekennzeichnet.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wo Elemente als Referenzen (Fremdschlüssel) auf andere Objekte verwendet werden, wird als Datentyp der Typ des referenzierten Objekts mit vorangestelltem Pfeil verwendet. Zum Beispiel „→MileageInfo“ als Typ einer Referenz auf ein Objekt vom Typ „MileageInfoType“. • Um Platz zu sparen, werden bei der Angabe der Datentypen Abkürzungen verwendet, z. B. wird auf die Endungen “Structure” und “Type” durchgehend verzichtet. Statt beispielsweise „OccupancyInfoType“ wird also immer „OccupancyInfo“ als Datentyp angegeben.
Erläuterung	<p>Alle Elemente erhalten in der letzten Spalte eine Erläuterung ihres Verwendungszwecks. An vielen Stellen wird auf weitere Passagen im Text hingewiesen, so z. B. bei komplexen Kindelementen an die Stelle, in denen ihre Tabellenbeschreibung zu finden ist. Falls die Erläuterung zu umfangreich ist und die Tabellenform sprengen würde, finden sich diese Anmerkungen im Text unterhalb der Tabelle.</p>

JSON

In diesem Dokument werden JSON-Schnittstellen in Tabellenform beschrieben, wobei eine Tabelle aus den Spalten Elementname, Multiplizität, Datentyp und Erläuterung besteht.

Elementname	Der Elementname wird in Binnenmajuskel (Camel-Case) in der ersten Spalte aufgeführt. Handelt es sich um ein verpflichtendes Element, so wird es fett gedruckt . Optionale Elemente werden nicht fett gedruckt.
Multiplizität	Die Bedingungen, ob ein Element verpflichtend oder optional ist oder ob es einfach oder mehrfach innerhalb des übergeordneten Elements auftreten kann, werden in der zweiten Spalte Multiplizität angegeben. Dabei werden die üblichen UML-Konventionen „min:max“ angewendet, so steht „0:1“ für ein optionales, einfaches Element, „1:1“ zeigt ein verpflichtendes, einfaches Element an. Verpflichtende Elemente werden fett gedruckt .
Datentyp	Die Datentypen werden in der dritten Spalte kursiv angegeben.
Erläuterung	Alle Elemente erhalten in der letzten Spalte eine Erläuterung ihres Verwendungszwecks.

6.2.2.3. Schnittstellen

Die Schnittstellen im TP ITS sind in Abbildung 16 und Abbildung 17 dargestellt und nummeriert. Abbildung 16 zeigt die Idealsituation, welche im Testgelände des DLR realisiert wird. Abbildung 17 hingegen zeigt die Situation wie sie im Testfeld der Stadt Braunschweig umgesetzt wird. Hier muss auf die bestehenden Komponenten des Verkehrsrechners aufgesetzt werden. Es müssen deshalb auch proprietäre Lösungen gefunden werden. Grau hinterlegt sind die Schnittstellen, welche identisch zum Idealsystem im DLR-Testgelände sind.

Für die weitere Beschreibung wird den Nummern in den Abbildungen ein „2.“ vorangestellt, welche für das Teilprojekt 2 (ITS) steht. Beschrieben werden nur die Schnittstellen zwischen verschiedenen Partnern. Bei bereits bestehenden Standards werden nur die Erweiterungen beschrieben.

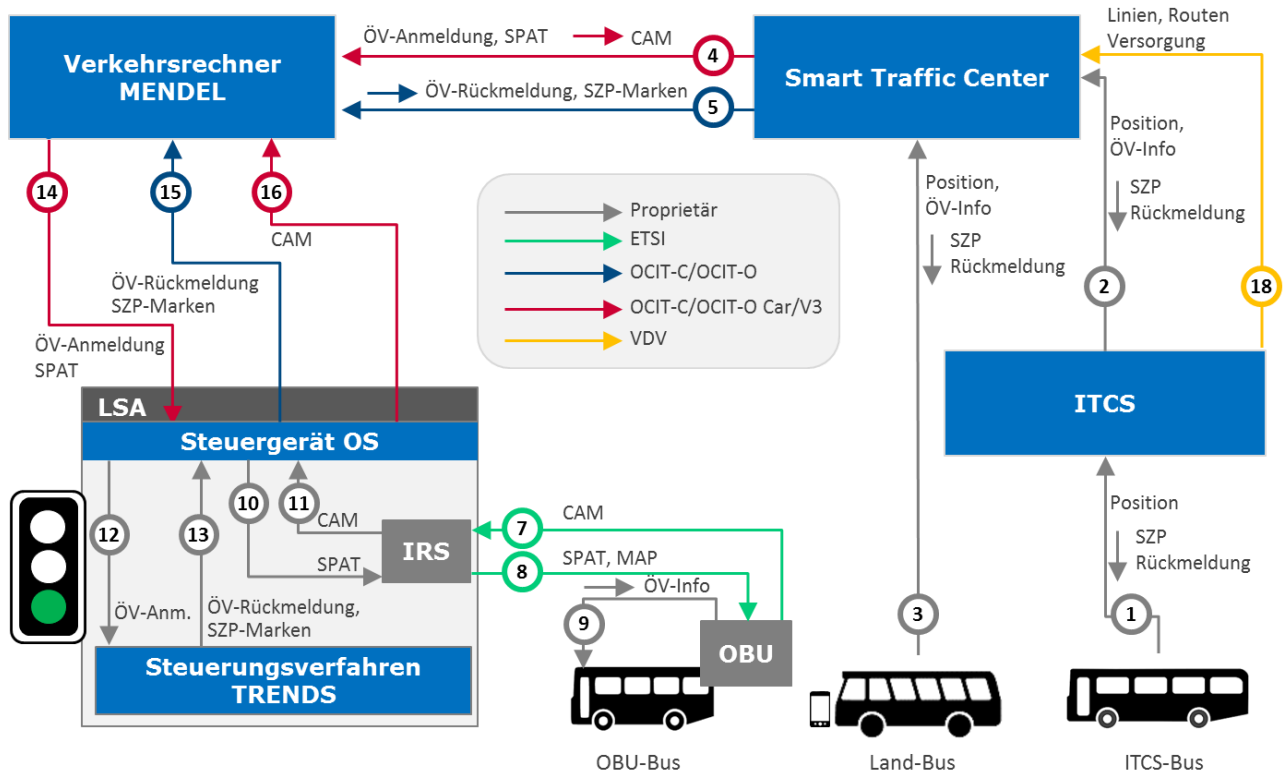


Abbildung 16: Schnittstellen im Teilprojekt ITS für das Idealsystem im DLR-Testgelände

Diejenigen Schnittstellen, welche auch im Idealsystem eingesetzt werden, sind grau hinterlegt. Die Pfeile in der Abbildung beschreiben die Richtung des Kommunikationsaufbaus. Kleine Pfeile in Gegenrichtung zeigen, dass die Antwort auf die Anfrage Information zurückliefert.

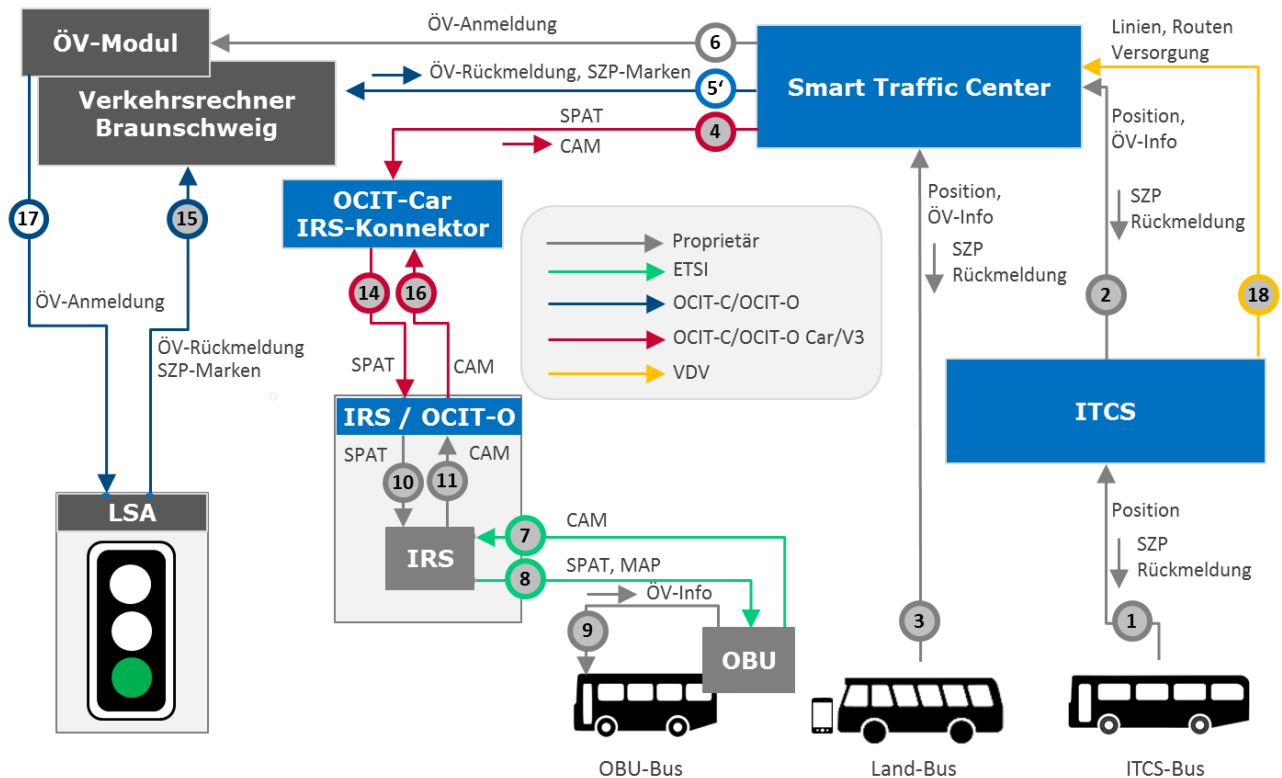


Abbildung 17: Schnittstellen im Teilprojekt ITS für das Testfeld Braunschweig

a) Schnittstelle 2.1 (BUS/ITCS)

Die Schnittstelle dient der Kommunikation zwischen ÖV-Fahrzeug und ITCS. Sie muss für das Projekt erweitert werden, ist aber eine rein interne Schnittstelle und wird hier nicht weiter beschrieben.

b) Schnittstelle 2.2 (ITCS/STC)

Anwendungsbereich im Projekt MENEDEL

Die Schnittstelle wird dazu genutzt, Informationen bezüglich Fahrzeugen und Lichtsignalanlagen zwischen ITCS und Smart Traffic Center auszutauschen, um das ITCS über für die Fahrzeuge relevante Lichtsignalphasen zu informieren. Die Anfrage wird vom ITCS ausgelöst. Die Anfrage überträgt einerseits Informationen über die Positionen eines ÖV-Fahrzeugs in das STC und enthält in der Antwort gleichzeitig die SZP sowie die ÖV-Rückmeldung. Die Positionsdaten und die ÖV-Informationen in der Anfrage dienen dem STC dazu

- das Fahrzeug auf dem Linien-, Routen- und Wegenetz im STC zu verorten
- den weiteren Fahrweg zu erkennen
- die Priorisierungsregeln für die ÖV-Beschleunigung auszuwerten (Verspätungslage, Ladedauer, ...)
- zu wissen, wann es das ÖV-Fahrzeug für die ÖV-Beschleunigung anmelden soll – sofort, zu einem späteren Zeitpunkt oder gar nicht

Die Antwort auf die Anfrage enthält Informationen über

- die zu erwartenden Schaltzeiten der LSA
- eine Rückmeldung über die Anmeldung des ÖV-Fahrzeugs
- eine Festlegung, wann spätestens die nächste Positionsmeldung zu versenden ist, damit im kritischen Bereich der Kreuzung und insbesondere bei der Abmeldung die Anfragefrequenz sicher hoch genug ist



Problematisch sind beispielsweise Situationen, wo ein ÖV-Fahrzeug beim Eintreffen an der Haltestelle zunächst auf den Anschluss für ein anderes Fahrzeug warten muss. In diesem Fall kann das ITCS die Aufenthaltsdauer an der Haltestelle nicht vorhersagen. Die ÖV Anmeldung an der LSA muss deshalb unterbunden werden.

Kommunikationsart

Die Umsetzung der Kommunikation geschieht mit Hilfe von HTTP/1.1 als Transportprotokoll und JSON (Javascript Object Notation) für die Nachrichteninhalte.

Eine HTTP-Anfrage wird vom Server unmittelbar unter Nutzung des schon geöffneten IP-Ports beantwortet. Falls mehrere Anfragen in schneller Folge abgesendet werden, kann der HTTP-Mechanismus „Keep-Alive“ zum Einsatz kommen, bei dem der bereits geöffnete Port eine Zeit lang leben bleibt und wiederbenutzt werden kann, um häufiges Öffnen und Schließen des Ports zu vermeiden.

Kommunikationshandling

Im System fungiert das ITCS für diese Schnittstelle als Client, der für jeden der relevanten Fahrzeuge in bestimmten zeitlichen Abständen eine Schaltzeitprognose vom Server (dem Smart Traffic Center) anfragt. Der Server antwortet mit der Schaltzeitprognose für die für das Fahrzeug relevante Lichtsignalgruppe und schlägt eine Zeit vor, zu der die nächste Anfrage des Clients erfolgen soll.

Kommunikationsinhalt

Schaltzeitprognose-Anfrage

Elementname	Multiplizität	Datentyp	Erläuterung
{}		JSON-Object	Wurzel-Element
<i>timeRecorded</i>	1:1	date	Gültigkeitszeitstempel - Zeitpunkt in UTC auf den sich die übertragenen Daten beziehen im Format „YYYY-MM-DD HH:MM:SS“.
<i>line</i>	1:1	integer	Kennung der ÖV-Linie
<i>route</i>	1:1	integer	Kennung der ÖV-Route
<i>journeyId</i>	1:1	string	Eindeutige ID für die Fahrt
<i>operatingDay</i>	1:1	string	Bezeichner des Betriebstages, dem die Fahrt zugeordnet ist, im Format YYYYMMDD (Jahr, Monat, Tag im Monat)
<i>vehicleId</i>	1:1	string	Eindeutige ID für das Fahrzeug
<i>longitude</i>	1:1	double	Längengrad des Fahrzeugs zum Gültigkeitszeitstempel in WGS84
<i>latitude</i>	1:1	double	Breitengrad des Fahrzeugs zum Gültigkeitszeitstempel in WGS84
<i>speed</i>	1:1	double	Geschwindigkeit des Fahrzeugs zum Gültigkeitszeitstempel in km/h
<i>nextStopId</i>	1:1	string	Nächste Haltestellenkennung
<i>nextStopDuration</i>	1:1	Integer >= 0 oder -1	Geplante Haltedauer an der nächsten Haltestelle in Sekunden. Ist die Haltedauer nicht bekannt, z.B. aufgrund von Anschlusssicherung, dann muss als Sonderwert -1 übergeben werden.
<i>delay</i>	0:1	Integer >= 0	Falls bekannt kann hier die Verspätungslage in Sekunden angegeben werden. Die Verspätungslage kann für die Priorisierungsregeln im STC verwendet werden.
<i>batteryStateOfCharge</i>	0:1	0<= Integer <=100	Ladezustand bei Elektrobussen in %



<i>occupation</i>	0:1	Integer > 0	Belegung (absolute Anzahl der Personen). Die Belegung kann für die Priorisierungsregeln im STC verwendet werden.
<i>priority</i>	0:1	Integer 1..5	Werte von 1-5 für die Priorität mit der das ITCS das Fahrzeug beschleunigt haben will. 5 ist die höchste Priorität. Die Berücksichtigung dieser Priorität durch das STC ist optional. Default: 3
<i>logOn</i>	0:1	boolean	Soll das Fahrzeug angemeldet werden? Das Attribut kann angewendet werden, um eine Anmeldung zu unterdrücken, wenn etwa ein Aufenthalt unbestimmter Dauer an einer Haltestelle zu erwarten ist. Default: true
<i>timeSent</i>	0:1	date	Absendezeitpunkt des Datenpakets in UTC im Format „YYYY-MM-DD HH:MM:SS“. Das Datum ist für das Logging relevant.

Schaltzeitprognose-Antwort

Wurzelement

Elementname	Multiplizität	Datentyp	Erläuterung
{}		JSON-Object	Wurzel-Element
<i>trafficCyclePrediction</i>	0:1	TrafficCyclePrognosis	Vgl. 0
<i>nextQueryTime</i>	1:1	integer	Empfohlene maximale Zeitdauer bis zur nächsten Prognoseanfrage in Millisekunden, ausgehend vom Prognosestart. Die Einhaltung der Empfehlung ist für den Anwendungsfall der ÖV-Beschleunigung wichtig. -1 falls keine neue Anfrage gesendet werden soll, 0 falls die Anfrage so schnell wie möglich gesendet werden soll.

trafficCyclePrediction

Elementname	Multiplizität	Datentyp	Erläuterung
<i>trafficCyclePrediction</i>		JSON-Object	Wurzel-Element
<i>prediction</i>	1:1	string	Prognosetext im Format SEKUNDE_RELATIV_ZUM_GÜLTIGKEITSBEGINN:PROGNOSE_WERT; SEKUNDE_RELATIV_ZUM_GÜLTIGKEITSBEGINN:PROGNOSE_WERT ...
<i>duration</i>	1:1	Integer > 0	Umlaufzeit - Zeithorizont des Prognosetextes in Sekunden
<i>startTime</i>	1:1	date	Anfangszeitpunkt als UTC im Format „YYYY-MM-DD HH:MM:SS“.
<i>length</i>	1:1	Integer > 0	Gültigkeitsdauer der Prognose in Sekunden. Es gilt length >= duration. Ist length > duration so ist der Gesamtverlauf der Prognose zyklisch, d.h. nach Ablauf von „duration“ beginnt die Prognose wieder von vorne.
<i>distance</i>	1:1	double	Entfernung zur Haltelinie der nächsten LSA in Metern
<i>priorisationStatus</i>	1:1	integer -1..2	Status der Anmeldung -1: Unbekannt 0: Nicht angemeldet 1: Angemeldet und wird priorisiert / Statuscode 2: Angemeldet, kann aktuell noch nicht priorisiert werden
<i>sgUid</i>	0:1	string	Signalgruppennummer der die Prognose zugeordnet ist. Dient vorrangig für Logging.

Beispiel

Schaltzeitprognose-Anfrage



```
{
  "timeRecorded": "2016-12-02 12:30:05",
  "line": 25,
  "route": 456,
  "vehicleId": "VARIO4857763",
  "longitude": 11.56,
  "latitude": 48.14,
  "speed": 23.45,
  "nextStopId": 345,
  "nextStopDuration": 30,
  "delay": 34,
  "occupation": 76,
  "priority": 3,
  "logOn": true,
  "timeSent": "2016-12-02 12:30:09"
}
```

Schaltzeitprognose-Antwort

```
{
  "trafficCyclePrediction":
  {
    "prediction": "0:0.045;1:0;49:0.002;50:0.876;55:0.998;56:0.171",
    "duration": 60,
    "startTime": "2016-12-02 12:30:00",
    "length": 300,
    "distance": 12.9,
    "priorisationStatus": 1,
    "sgUid": "112233"
  },
  "nextQueryTime": 1000
}
```

c) Schnittstelle 2.3: Land-Bus/STC

Diese Schnittstelle dient der Kommunikation zwischen dem Land-Bus und dem Smart Traffic Center. Die Schnittstelle ist ähnlich zur Schnittstelle zwischen ITCS und STC, enthält jedoch deutlich weniger Informationen. Im Wesentlichen überträgt der Bus Informationen über Geoposition, Linie und Route zum STC und erhält im Gegenzug Schaltzeitprognosen und ÖV-Rückmeldungen. Außerdem wird der Bus an der LSA angemeldet. Da es sich um eine interne Schnittstelle handelt, wird sie hier nicht weiter beschrieben.

d) Schnittstelle 2.4: STC/ MENEDEL Verkehrsrechner - OCIT-C Erweiterungen

Diese Schnittstelle zwischen dem Smart Traffic Center und dem MENEDEL Verkehrsrechner dient

1. Der Übertragung aktueller SPAT-Informationen zum Verkehrsrechner. Der Adressat dieser SPAT Informationen sind die über das Lichtsignalsteuergerät am Verkehrsrechner angeschlossenen Intelligent Roadside Stations (IRS).
2. Dem Einholen von CAM-Meldungen, welche über eine IRS gemeldet und über das Lichtsignalsteuergerät vorverarbeitet werden. Diese CAM-Meldungen enthalten die Daten von ÖV-Fahrzeugen, welche an der LSA angemeldet werden sollen.



3. Der Übertragung von zentralen ÖV-Anmeldungen/-Abmeldungen zum Verkehrsrechner, damit dieser sie an die Lichtsignalanlagen weitergeben kann.

Alle drei Punkte sind Erweiterungen gegenüber dem OCIT-C Standard. Der MENDEL Verkehrsrechner implementiert hierbei einen OCIT-C Server und das STC einen OCIT-C Client.

Im Idealsystem DLR Testgelände werden die SPAT und CAM Daten direkt mit dem MENDEL Verkehrsrechner ausgetauscht. Bei der Übertragung in das Bestandssystem der Stadt Braunschweig fehlt diese Möglichkeit. Stattdessen wird hierfür von AVT STOYE ein eigener Konnektor erstellt („OCIT-Car IRS-Konnektor“). Dieser Konnektor bietet für die Zentralenseite einen OCIT-C Server an, damit das STC einerseits die CAM-Meldungen empfangen und andererseits die SPAT-Daten versenden kann. Der „OCIT-Car IRS-Konnektor“ ergänzt auf diese Weise eine Funktionalität, welche in dem Bestandrechner der Stadt Braunschweig nicht verfügbar ist.

Zentrale ÖV-Anmeldung/ÖV-Abmeldung

Das STC verfolgt die Positionen der ÖV-Fahrzeuge und meldet sie bei Annäherung an einer Lichtsignalanlage an. Diese Anmeldung wird kontinuierlich aktualisiert, solange bis das Fahrzeug die Haltlinie überschritten hat und abgemeldet wird. Die Telegramme werden voraussichtlich ca. 1 x pro Sekunde pro Fahrzeug versendet.

Die Übertragung der ÖV-Anmeldungen wird über die OCIT-C konforme Erweiterung „CentralVehicleNotification“ (s. Abbildung 18) vorgenommen, die speziell für das STC entworfen wurde.

- Die Übertragung der ÖV-Anmeldungen findet per „put“-Aufruf statt.
- Die LSA/IRS wird im Feld „putList/putds/identifier/ident“ übertragen.
- Der Identifier ist laut Spezifikation in „OCIT-C_Daten“, Kapitel „2.3.1 Objektidentifizierung“ aufgebaut (J<SystemNr>_<SubsystemNr>_<UnitNr >).
- Es kann entweder eine Anmeldung oder eine Abmeldung übertragen werden.

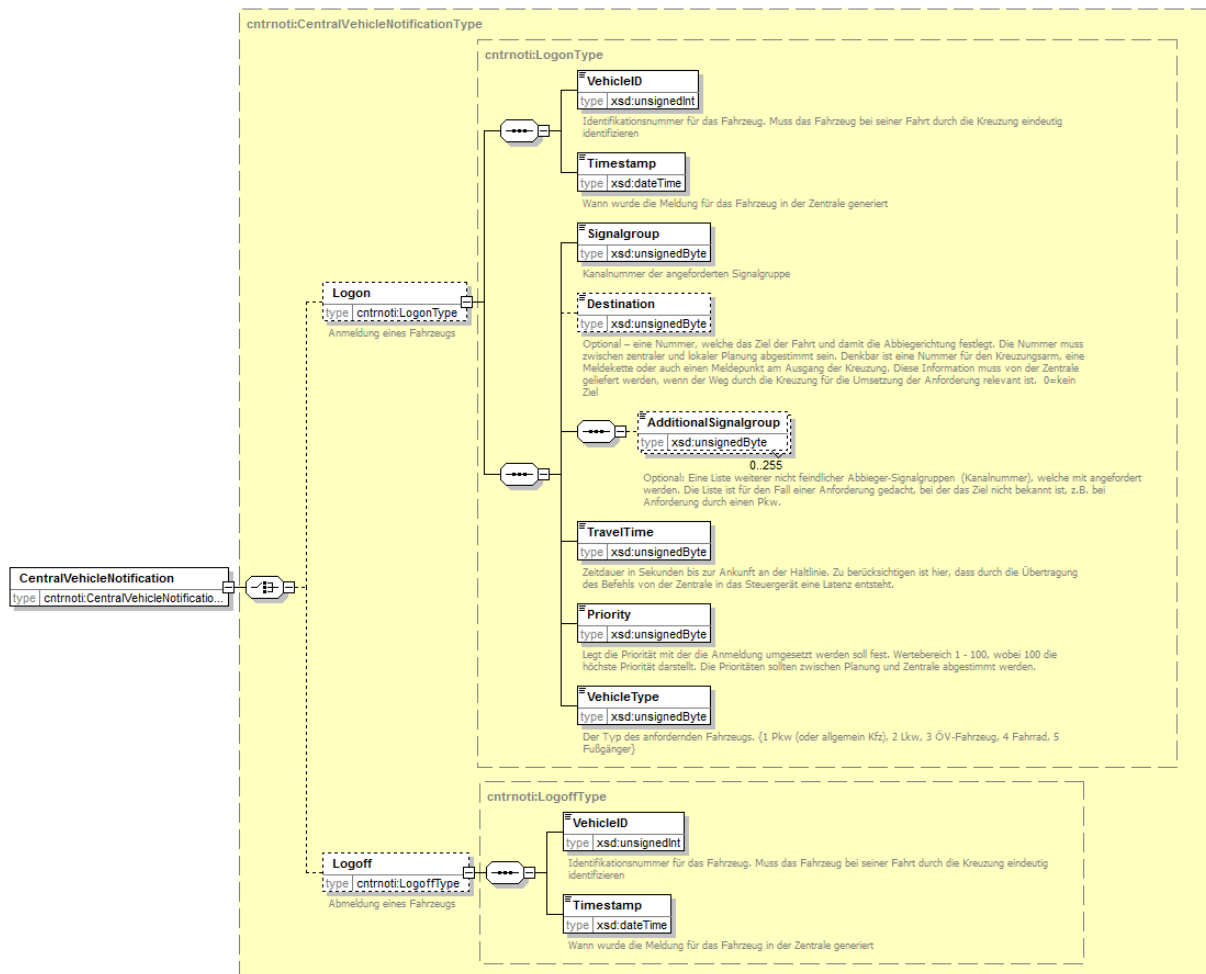


Abbildung 18: Definition der CentralVehicleNotification



SPaT

Der Objekttyp für die Übertragung der SPaT-Daten ist aktuell in OCIT-C noch nicht endgültig definiert, weshalb im Projekt MENEDEL ein vorläufiger Entwurf des Objekttyps benutzt wird (s. Abbildung 19).

- Die Übertragung der SPaT-Daten findet per „put“-Aufruf statt.
- Die LSA/IRS wird im Feld „putList/putds/identfier/ident“ übertragen.
- Der Identifier ist laut Spezifikation in „OCIT-C_Daten“, Kapitel „2.3.1 Objektidentifizierung“ aufgebaut (J<SystemNr>_<SubsystemNr>_<UnitNr >).

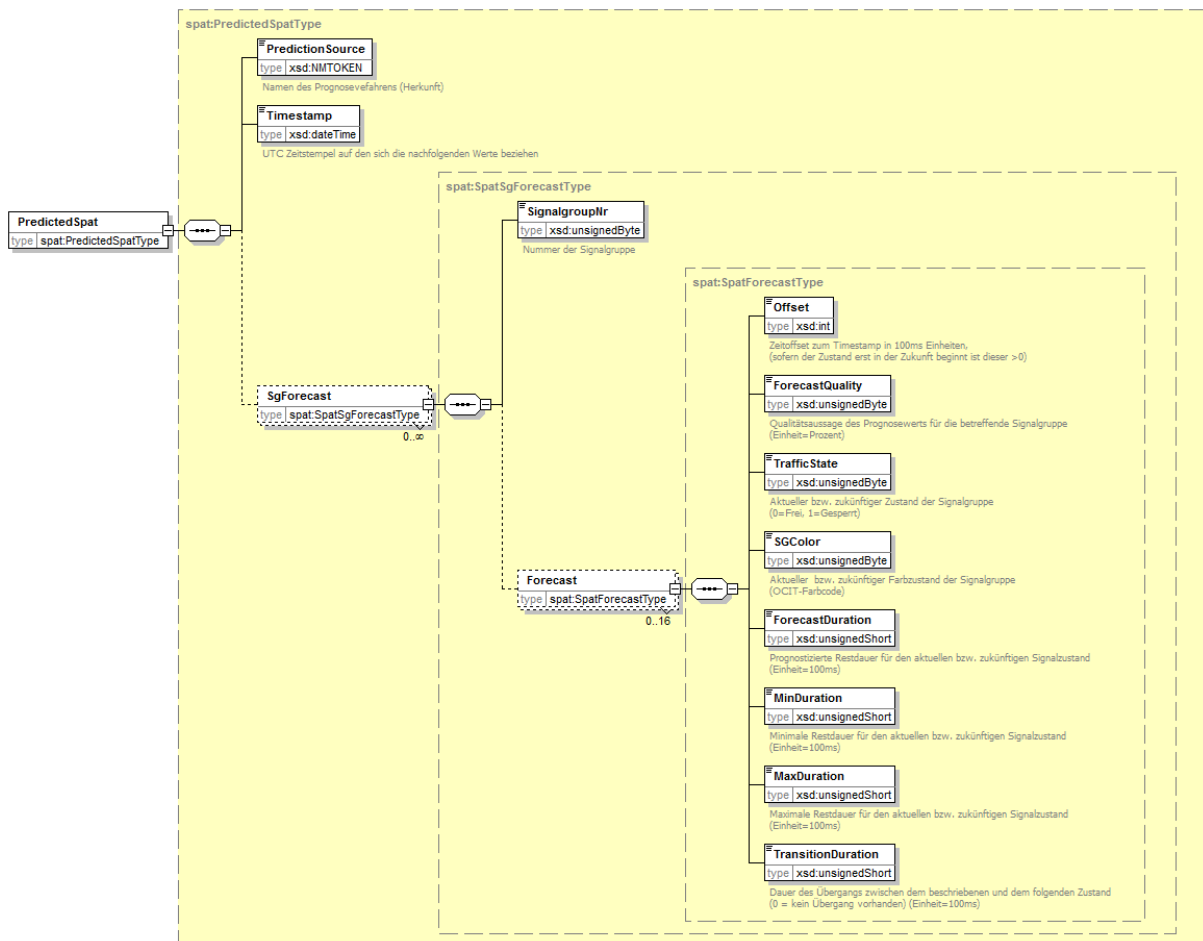


Abbildung 19: Definition der OCIT-C PredictedSPaT



CAM

Der Objekttyp für die Übertragung der CAM-Daten ist aktuell in OCIT-C noch nicht endgültig definiert, weshalb im Projekt MENDEL ein vorläufiger Entwurf des Objekttyps benutzt wird (s. Abbildung 20).

- Die Übertragung der CAM-Daten findet per „get“-Aufruf statt.
- Die LSA/IRS wird im Feld „dataList/ds/identifizier/ident“ übertragen.
- Der Identifier ist laut Spezifikation in „OCIT-C_Daten“, Kapitel „2.3.1 Objektidentifizierung“ aufgebaut (J<SystemNr>_<SubsystemNr>_<UnitNr >).
- Der Zeitstempel wird im Feld „dataList/ds/tstore“ übertragen

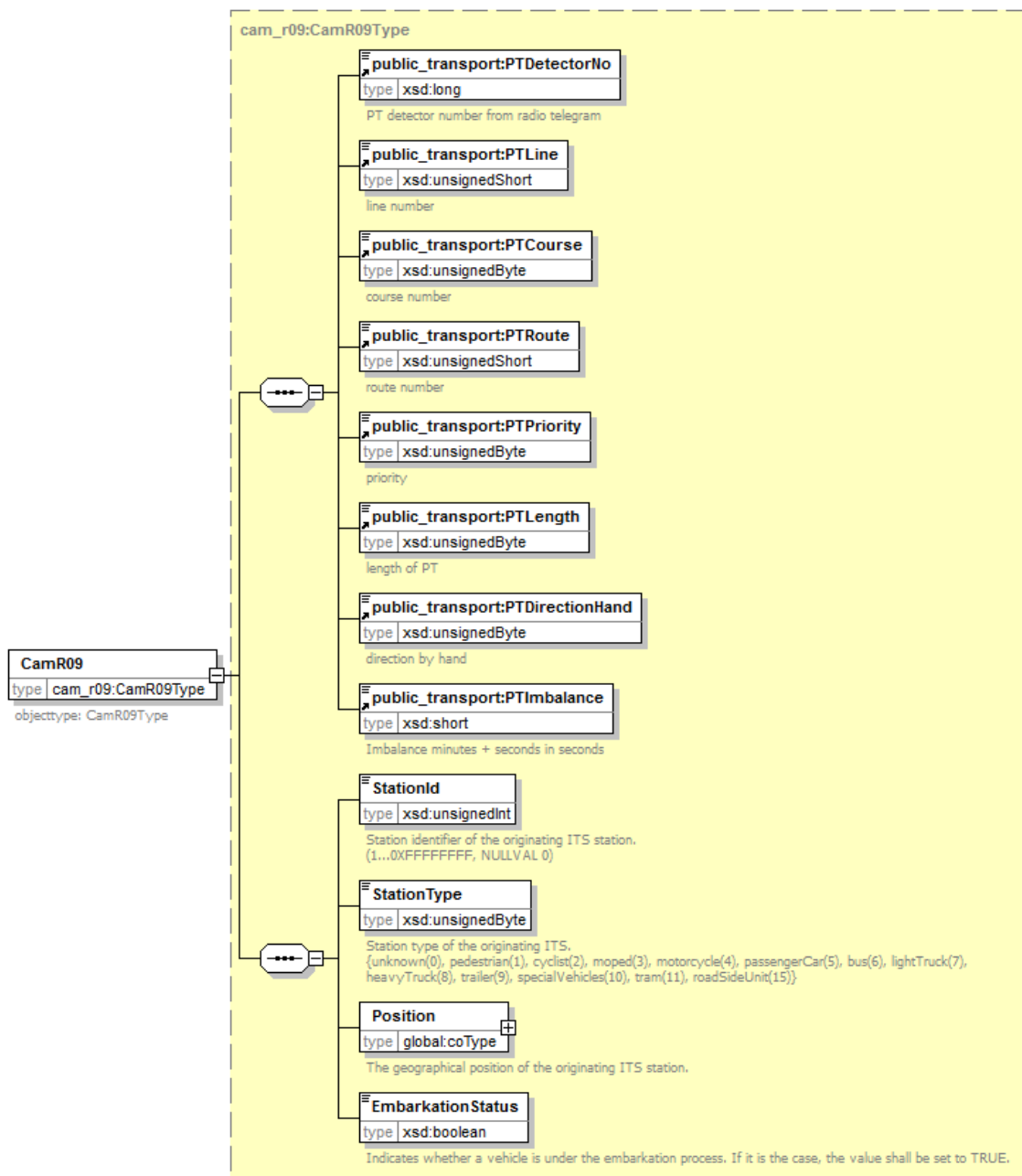


Abbildung 20: Definition der OCIT-C CamR09



e) Schnittstelle 2.5: STC/ MENDEL Verkehrsrechner – OCIT-C Standard

Der MENDEL Verkehrsrechner bietet eine Standard OCIT-C Schnittstelle. Im Rahmen des Standards werden folgende Daten ausgetauscht

- Rückmeldungen auf die zentrale ÖV-Anmeldung (ÖV-Rückmeldungen) in Form von OCIT AP-Werten
- Schaltzeitprognose-Marken (Variablen aus dem Steuerungsverfahren) in Form von OCIT AP-Werten
- Die üblichen LSA-Daten (Programm, TX, Signalbild, Detektordaten, ÖV-Anmeldungen).

Dieselbe Schnittstelle wird sowohl für die Anbindung des MENDEL Verkehrsrechners als auch für die Anbindung des Verkehrsrechners der Stadt Braunschweig verwendet (Schnittstelle 5').

Der Identifier ist laut Spezifikation in „OCIT-C_Daten“, Kapitel „2.3.1 Objektidentifizierung“ zu nutzen.

Die ApWerte werden in OCIT-C mit der Struktur „NamedValueRawType“ übertragen. Die zu übertragenden ApWerte sind in Kapitel m) beschrieben.

Ein gesondertes Pflichtenheft spezifiziert die OCIT-C-Schnittstellen zwischen den Firmen GEVAS und Siemens im Projekt MENDEL. OCIT-C-Clients der Firma GEVAS greifen über OCIT-C auf OCIT-C-Server der Firma Siemens zu.

f) Schnittstelle 2.6: Zentrale ÖV-Anmeldung Braunschweig

Die zentrale ÖV-Anmeldung im Testfeld der Stadt Braunschweig wird über eine proprietäre Lösung der Fa. Siemens am Verkehrsrechner Scala realisiert „OEPNVEEventForwarding“. Hierzu wird von GEVAS software ein zentraler ÖV-Service auf Basis einer TCP Socket Verbindung erstellt. Die UTC Subsysteme des Scala (IG's – Intelligent Gateways) verbinden sich ihrerseits mit diesem ÖV-Service und empfangen von diesem ÖV-Daten. Diese werden dann über ein herstellerspezifisches Telegramm weitergeleitet, welches von R09.16 abgeleitet wurde.

Die zentrale ÖV-Anmeldung kann über den proprietären Weg im Testfeld Braunschweig nicht gemäß ihrer eigentlichen Definition weitergeleitet, sondern muss auf das R09.16 ähnliche Telegramm abgebildet werden.

g) Schnittstellen 2.7 und 2.8: Intelligent Roadside Station (IRS)/OBU Bus

Anwendungsbereich

Die Schnittstelle wird dazu genutzt, Informationen zwischen der Intelligent Roadside Station (IRS) und dem ÖV-Fahrzeug auszutauschen.

Kommunikationsart

Die Umsetzung der Kommunikation geschieht über WLAN (IEEE 802.11p). Als Vermittlungsschicht wird das IP-Protokoll eingesetzt. Der Transport der Nachrichten erfolgt mittels UDP Protokoll.

Die Nachrichteninhalte sind



- Cooperative Awareness Message (CAM)
- Single Phase and Timing (SPaT)
- Topologie Nachrichten (MAP)
- Spezielle Nachrichten für Elektromobilität und Ladeplatzmanagement

Kommunikationshandling

CAM - Nachrichten werden von dem ÖV-Fahrzeug durchgehend ausgesendet. Sobald die IRS in der Reichweite des Senders ist, werden die CAM Nachrichten empfangen. Die Nachrichten werden intern weiterverarbeitet.

Sobald neue SPaT - Nachrichten vorhanden sind, werden diese gesendet. MAP – Nachrichten werden zusammen mit SPaT - Nachrichten versendet.

Kommunikationsinhalt

Cooperative Awareness Message (CAM)

CAM Nachrichten werden, nach dem Standard ETSI EN 302 637-2 V1.3.1 (2014-09) verwendet.

Single Phase and Timing (SPaT)

SPaT -Nachrichten sind zum Zeitpunkt der Erstellung des vorliegenden Dokumentes noch nicht fest standardisiert. Deshalb wird hier die aktuell verfügbare Version genutzt. SPaT – Nachrichten werden, sofern vorhanden, einmal pro Sekunde gesendet.

Aktuell vorliegende Version: Revision 1088 des ETSI SUBVERSION-SERVERs (letzte Änderung: 12.01.2015)

Topologienachricht (MAP)

MAP-Nachrichten sind zum Zeitpunkt der Erstellung des vorliegenden Dokumentes noch nicht fest standardisiert. Deshalb wird hier die aktuell verfügbare Version genutzt. MAP – Nachrichten werden zusammen mit SPaT - Nachrichten einmal pro Sekunde gesendet.

Aktuell vorliegende Version: Revision 1088 des ETSI SUBVERSION-SERVERs (letzte Änderung: 12.01.2015)

Nachrichten für Elektromobilität und Ladeplatzmanagement

Im Rahmen des Projektes Mendel werden neue Nachrichtentypen für die Elektromobilität und das Ladeplatzmanagement erprobt. Diese Nachrichten unterliegen noch keinem Standard.

Diese Nachrichten enthalten Informationen über:

- Ladezustand
- Füllstand des Akkus
- Lage der Ladestation/Ladepads
- Belegung der Ladestationen/Ladepads

h) Schnittstelle 2.9: On-Board-Unit DLR / Co-Pilot-PC INIT

Anwendungsbereich



Die Schnittstelle wird dazu genutzt, Informationen zwischen der On Board Unit (OBU) des DLRs und dem Co-Pilot-PC der INIT auszutauschen.

Kommunikationsart

Die Kommunikation geschieht per Ethernet. Als Vermittlungsprotokoll dient hierbei das IP Protokoll. Als Transportprotokoll wird UDP verwendet. Die Nachrichteninhalte werden im XML-Format verschickt.

Die Nachrichteninhalte sind nach VDV 301 - CostumerInformationService.GetAllData spezifiziert.

Kommunikationshandling

Die XML Nachricht wird vom Co-Pilot-PC der INIT an die OBU der DLR nach Anforderung übertragen. Die Anforderung geschieht mittels GET-Befehl.

Kommunikationsinhalt

Der Inhalt ist deckungsgleich mit dem in VDV 301 spezifizierten Inhalt der Operation CostumerInformationService.GetAllData (vgl. VDV 301 Kapitel 9.2.2)

i) Schnittstellen 2.10 und 2.11: Intelligent Roadside Station (IRS)/LSA-Steuergerät (Steuergerät OS)

Anwendungsbereich

Die Schnittstelle wird dazu genutzt, Informationen zwischen Intelligent Roadside Station (IRS) und dem LSA-Steuergerät auszutauschen.

Kommunikationsart

Die Kommunikation geschieht per Ethernet. Als Vermittlungsprotokoll dient hierbei das IP Protokoll. Als Transportprotokoll wird UDP verwendet und die Nachrichten werden im XML-Format verschickt.

Die Nachrichteninhalte sind Cooperative Awareness Message (CAM), Single Phase and Timing (SPaT) und Topologie Nachrichten (MAP).

Kommunikationshandling

Sobald eine neue CAM - Nachricht in der RSU verfügbar ist, wird diese ohne weitere Anforderung an das LSA-Steuergerät übertragen. Gleiches geschieht mit MAP- und SPaT - Nachrichten auf der Seite des LSA-Steuergerätes.

Kommunikationsinhalt

Cooporative Awareness Message (CAM)

CAM Nachrichten werden, nach dem Standard ETSI EN 302 637-2 V1.3.1 (2014-09) verwendet.

Single Phase and Timing (SPaT)

SPaT Nachrichten sind zum Zeitpunkt der Erstellung des vorliegenden Dokumentes noch nicht fest standardisiert. Deshalb wird hier die aktuell verfügbare Version genutzt. Aktuell vorliegende Version: Revision 1088 des ETSI SUBVERSION-SERVERs (letzte Änderung: 12.01.2015)

Topologie Nachricht (MAP)



MAP Nachrichten sind zum Zeitpunkt der Erstellung des vorliegenden Dokumentes noch nicht fest standardisiert. Deshalb wird hier die aktuell verfügbare Version genutzt (Revision 1088 des ETSI SUBVERSION-SERVERs (letzte Änderung: 12.01.2015)).

j) Schnittstellen 2.12: ÖV-Anmeldung/ÖV-Abmeldung Steuergerät – Steuerungsverfahren

Anwendungsbereich

Die Schnittstelle wird dazu genutzt, um die zentralenseitige ÖV-Anmeldung/Abmeldung vom Steuergerät zum Steuerungsverfahren zu transportieren.

Kommunikationsart

Die Kommunikation des Betriebssystems des Steuergeräts mit dem Steuerungsverfahren wird über ein Daten-Struktur (Stg-Interface) und der Funktion trends(void*, Short) geführt.

Kommunikationshandling

ÖV-Anmeldungen/Abmeldungen werden über die OCIT-O-Schnittstelle am Steuergerät in Empfang genommen. Die Inhalte werden in die gegebene Struktur geladen und dem Steuerungsverfahren über den Methodenaufwurf übergeben.

Kommunikationsinhalt

Der Inhalt der ÖV-Anmeldung stellt sich wie folgt dar:

Wert	TRENDS Type	Erläuterung
VehicleID	Long	Muss ein Fahrzeug bei der Fahrt durch die Kreuzung eindeutig identifizieren
Timestamp	Long	Wann wurde der Anmeldebefehl in der Zentrale generiert
Signalgroup	Short	Kanalnummer der angeforderten Signalgruppe
Destination	Short	Optional – eine Nummer, welche das Ziel der Fahrt und damit die Abbiegerichtung festlegt. Die Nummer muss zwischen zentraler und lokaler Planung abgestimmt sein. Denkbar ist eine Nummer für den Kreuzungsarm, eine Meldekette oder auch einen Meldepunkt am Ausgang der Kreuzung. Diese Information muss von der Zentrale geliefert werden, wenn der Weg durch die Kreuzung für die Umsetzung der Anforderung relevant ist. 0=kein Ziel
Additional Signalgroup	Short[]	Optional: Eine Liste weiterer nicht feindlicher Abbieger-Signalgruppen (Kanalnummer), welche mit angefordert werden. Die Liste ist für den Fall einer Anforderung gedacht, bei der das Ziel nicht bekannt ist, z.B. bei Anforderung durch einen Pkw.
TravelTime	Short	Zeitdauer in Sekunden bis zur Ankunft an der Haltlinie. Zu berücksichtigen ist hier, dass durch die Übertragung des Befehls von der Zentrale in das Steuergerät eine Latenz entsteht.
Priority	Short	Legt die Priorität mit der die Anmeldung berücksichtigt werden soll fest. Wertebereich 1 - 100, wobei 100 die höchste Priorität darstellt. Die Prioritäten sollten zwischen Planung und Zentrale abgestimmt werden.
VehicleType	Short	Der Typ des anfordernden Fahrzeugs. 1 Pkw (oder allgemeiner Kfz) 2 Lkw 3 ÖV-Fahrzeug 4 Fahrrad 5 Fußgänger



Die ÖV-Abmeldung enthält nur die beiden ersten Felder der Tabelle.

k) Schnittstellen 2.13: SZP-Marken & ÖV-Rückmeldung des Steuerungsverfahrens

Anwendungsbereich

Die Schnittstelle wird dazu genutzt, um die SZP-Marken sowie die Rückmeldung auf die zentrale ÖV-Anmeldung vom Steuerungsverfahren zum Steuergerät zu transportieren.

Kommunikationsart

Die Kommunikation des Steuerungsverfahrens mit dem Betriebssystem des Steuergerätes wird über ein Daten-Struktur (Stg-Interface) und der Funktion trends(void*, Short) geführt.

Kommunikationshandling

Das Steuerungsverfahren übergibt dem Steuergerät über das Steuergeräte Interface einen oder mehrere Rückgabewerte. Diese werden vom Steuergerät als OCIT-O Objekt an die Zentrale weitergeleitet.

Kommunikationsinhalt

Der Inhalt der ÖV-Rückmeldung stellt sich wie folgt dar:

Wert	TRENDS Type	Erläuterung
VehicleID	Long	Muss eine Fahrt durch die Kreuzung eindeutig identifizieren
RetCode	Short	Statuscode, ob die Informationen korrekt ans Steuergerät übergeben wurden. 1: Angemeldet und wird priorisiert 2: Angemeldet, kann aktuell noch nicht priorisiert werden

Der Inhalt der SZP-Marken stellt sich wie folgt dar:

Wert	TRENDS Type	Erläuterung
VariableID	Integer	Siehe Beschreibung in Kapitel m)

l) Schnittstelle 2.14: LSA / Verkehrsrechner – OCIT-O (SPaT + ÖV-Anmeldung)

Diese Schnittstelle wird nur für den Verkehrsrechner MENDEL (DLR-Testgelände) sowie in Kombination mit dem „OCIT-Car IRS-Konnektor“ verwendet.

Das LSA-Steuergerät ist mit dem Verkehrsrechner über eine Erweiterung der Schnittstelle OCIT-O V2.0 verbunden. Die Erweiterung wird so ausgeführt, dass die Schnittstelle rückwärtskompatibel zu OCIT-O V2.0 ist. Die Spezifikation für OCIT-O V2.0 ist unter „<http://www.ocit.org/downloadOCIT-O.htm>“ einsehbar (für XML ist eine Registrierung als Lizenznehmer erforderlich).

OCIT-O (SPaT)

Für das Projekt MENDEL müssen die SPaT-Daten des STC über den Verkehrsrechner bzw. über den OCIT-Car IRS-Konnektor zur LSA übertragen werden. D.h., die Schnittstelle OCIT-O V2.0 muss für die SPaT-Daten OCIT-konform erweitert werden. Die SPaT -Nachricht selbst ist durch ETSI vorgegeben.

Die Übertragung der Spat-Daten wird in OCIT-O über das Objekt „Spat“ (1:415) vorgenommen. Dieses Objekt bietet eine Methode an, über die die prognostizierten Daten an das Gerät übermittelt werden können:

Objekt „Spat“, Methode „SetSpatInfo“ (1:415.101)
Eingabeparameter



Objekt „Spat“, Methode „SetSpatInfo“ (1:415.101)		
Timestamp: ULONG		UTC Zeitstempel auf den sich die nachfolgenden Werte beziehen.
Count: UBYTE		Anzahl der folgenden Datensätze
SGID: UBYTE		Nummer der Signalgruppe
Offset: USHORT		Zeitoffset zum Timestamp in 100ms Einheiten, sofern der Zustand erst in der Zukunft beginnt ist dieser > 0
ForecastQuality: UBYTE		Qualitätsaussage des Prognosewerts für die betreffende Signalgruppe (Einheit=Prozent)
ActTrafficState: UBYTE		Aktueller bzw. zukünftiger Zustand der Signalgruppe (FREI, GESPERRT)
ActSGColor: UBYTE		Aktueller bzw. zukünftiger Farbzustand der Signalgruppe (OCIT-Farbcode)
ForecastDuration: USHORT		Prognostizierte Restdauer für den aktuellen bzw. zukünftigen Signalzustand (Einheit=100ms)
MinDuration: USHORT		Minimale Restdauer für den aktuellen bzw. zukünftigen Signalzustand (Einheit=100ms)
MaxDuration: USHORT		Maximale Restdauer für den aktuellen bzw. zukünftigen Signalzustand (Einheit=100ms)
TransitionDuration: USHORT		Dauer des Übergangs zwischen dem beschriebenen und dem folgenden Zustand (0 = kein Übergang vorhanden) (Einheit=100ms)
Ausgabeparameter		
RetCode		OK Funktion wurde korrekt durchgeführt und an die RSU weitergereicht. IGNORED Prognosedaten wurden entgegen genommen aber nicht weitergereicht bzw. ignoriert da intern bessere Prognosedaten vorliegen. PARAM_INVALID wenn die Signalgruppe nicht existent

OCIT-O (ÖV-Anmeldung/ÖV-Abmeldung)

Für das Projekt MENDEL müssen die ÖV-Anmeldungen des STC über den Verkehrsrechner bzw. über den OCIT-Car IRS-Konnektor zur LSA übertragen werden. Das heißt, die Schnittstelle OCIT-O V2.0 muss für die ÖV-Anmeldung OCIT-konform erweitert werden.

Die Übertragung der ÖV-Anmeldungen wird über eine OCIT-O konforme Erweiterung vorgenommen. Diese Erweiterung wurde speziell für das STC entworfen wird über das Objekt „CentralVehicleNotification“ verwaltet.

ÖV-Anmeldung

Die zentrale ÖV-Anmeldung dient dazu das ÖV-Fahrzeug an der LSA anzumelden. Dazu wird ca. im sekudentakt die voraussichtliche Fahrdauer bis zur Haltlinie und die benötigte Signalgruppe an das Steuerungsverfahren weitergegeben.

Objekt „CentralVehicleNotification“, Methode „SetLogon“ (41:720.101)		
Eingabeparameter		
VehicleID	ULONG	Muss ein Fahrzeug bei der Fahrt durch die Kreuzung eindeutig identifizieren
Timestamp	ZEIT-STEMPEL_UTC	Wann wurde der Anforderungsbefehl in der Zentrale generiert
Signalgroup	UBYTE	Kanalnummer der angeforderten Signalgruppe



Destination	UBYTE	Optional – eine Nummer, welche das Ziel der Fahrt und damit die Abbiegerichtung festlegt. Die Nummer muss zwischen zentraler und lokaler Planung abgestimmt sein. Denkbar ist eine Nummer für den Kreuzungsarm, eine Meldekette oder auch einen Meldepunkt am Ausgang der Kreuzung. Diese Information muss von der Zentrale geliefert werden, wenn der Weg durch die Kreuzung für die Umsetzung der Anforderung relevant ist. 0=kein Ziel
Count	UBYTE	Anzahl der folgenden Datensätze
Additional Signalgroup	UBYTE	Optional: Eine Liste weiterer nicht feindlicher Abbieger-Signalgruppen (Kanalnummer), welche mit angefordert werden. Die Liste ist für den Fall einer Anforderung gedacht, bei der das Ziel nicht bekannt ist, z.B. bei Anforderung durch einen Pkw.
TravelTime	UBYTE	Zeitdauer in Sekunden bis zur Ankunft an der Haltlinie. Zu berücksichtigen ist hier, dass durch die Übertragung des Befehls von der Zentrale in das Steuergerät eine Latenz entsteht.
Priority	UBYTE	Legt die Priorität mit der die Anforderung umgesetzt werden soll fest. Wertebereich 1 - 100, wobei 100 die höchste Priorität darstellt. Die Prioritäten sollten zwischen Planung und Zentrale abgestimmt werden.
VehicleType	UBYTE	Der Typ des anfordernden Fahrzeugs. 1 Pkw (oder allgemeiner Kfz) 2 Lkw 3 ÖV-Fahrzeug 4 Fahrrad 5 Fußgänger
Ausgabeparameter		
RetCode	OK Funktion wurde korrekt durchgeführt	

ÖV-Abmeldung

Wenn das ÖV-Fahrzeug die Haltlinie überschritten hat wird eine Abmeldung gesendet:

Objekt „CentralVehicleNotification“, Methode „SetLogoff“ (41:720.102)		
Eingabeparameter		
VehicleID	ULONG	ID des Fahrzeugs, welches vorher zentral angemeldet wurde
Timestamp	ZEIT-STEMPEL_UTC	Wann wurde die Abmeldung in der Zentrale generiert
Ausgabeparameter		
RetCode	OK Funktion wurde korrekt durchgeführt	

m) Schnittstelle 2.15: LSA / Verkehrsrechner – OCIT-O (AP-Werte)

Diese Schnittstelle wird für das Idealsystem (DLR-Testgelände) und für das Testfeld Braunschweig verwendet. Das LSA-Steuergerät ist mit dem Verkehrsrechner über die standardisierte Schnittstelle OCIT-O V2.0 bzw. über eine zu OCIT-O V2.0 rückwärtskompatible Version (DLR-Testgelände) verbunden. Die Spezifikation ist unter „<http://www.ocit.org/downloadOCIT-O.htm>“ einsehbar (für XML ist eine Registrierung als Lizenznehmer erforderlich).



Übertragen werden zum einen die Schaltzeitprognose-Marken (SZP-Marken), welche dazu dienen die zentralenseitige Schaltzeitprognose zu unterstützen. Zum zweiten wird eine Rückmeldung zu einer erfolgten ÖV-Anmeldung übertragen. Beides wird in Form von OCIT AP-Werten übertragen.

Steuergeräte mit Steuerverfahren TRENDS/TRELAN (AVT STOYE):

SZP-Marke: Aktiver Phasenübergang

Datentyp OCIT-O	APWertRKLong
Name OCIT-O	63.97.1 – 63.97.128
Wert	PÜ inaktiv: 0 PÜ aktiv: alle anderen Werte

Die entsprechenden AP-Werte beschreiben die aktiven Phasenübergänge. Für jeden existierenden Phasenübergang gibt es einen AP-Wert, der angibt, ob der PÜ aktiv ist oder nicht. Es werden mehrere AP-Werte benötigt, weil unter Umständen mehrere Phasenübergänge gleichzeitig aktiv sein können. Der Wert wird jeweils bei Beginn und Ende des Phasenübergangs gesetzt.

SZP-Marke: ÖV-Anforderung

Datentyp OCIT-O	APWertRKLong
Name OCIT-O	63.118.1 - 63.118.64
Wert	keine Anforderung: 0 Anforderung: Nummer der angeforderten Signalgruppe oder -1

Die SZP-Marken für die ÖV-Anforderung sollen gesetzt werden wenn eine ÖV-Beschleunigung tatsächlich aktiv wird. Für jede ÖV-Meldekette soll ein eigener AP-Wert verwendet werden.

SZP-Marke: Allgemeine Anforderung

Datentyp OCIT-O	APWertRKLong
Name OCIT-O	63.x.1 - 63.x.64 MIV: x=117 Radfahrer: x=119 Fußgänger: x= 120 Sonstige: x=121
Wert	keine Anforderung: 0 Anforderung: Nummer der angeforderten Signalgruppe oder -1

Für weitere in der Steuerung relevante Anforderungen (IV, Fußgänger, ...) sollen entsprechende AP-Werte gesetzt werden. Die AP-Werte müssen entsprechend der Quelle der Anforderung nummeriert werden. Soweit Anforderungen zur gleichen Reaktion führen sollten sie zusammengefasst werden. Die AP-Werte sollen nur in dem Signalprogramm gesetzt werden in dem sie relevant sind (keine irrelevanten AP-Werte).

ÖV -Rückmeldung auf zentrale ÖV-Anmeldung

Datentyp OCIT-O	ApWertRkBlock
Name OCIT-O	63.130.1 - 63.130.N



Wert	Rückmeldung: - ID: long – Eindeutige ID des Fahrzeuges oder -1 - Code: short - 1: Angemeldet und wird priorisiert / 2: Angemeldet, kann aktuell noch nicht priorisiert werden
------	---

Dieser AP-Wert ist die Rückmeldung auf ein zentral angemeldets ÖV-Fahrzeug. Der AP-Wert dient dazu eine Rückmeldung für den Fahrer des Fahrzeugs zu generieren.

Steuergeräte mit Steuerverfahren PDM/TL (Siemens):

SZP-Marke: Aktiver Phasenübergang

Datentyp OCIT-O	APWertRKLong
Name OCIT-O	60.51.1 – 60.51.128 (Member 60: Siemens)
Wert	0 - 65535

Es handelt sich um einen freien AP-Wert, der vom Planer zu setzen ist.

SZP-Marke: ÖV-Anforderung

Datentyp OCIT-O	APWertRKLong
Name OCIT-O	41.139.1 - 41.139.32
Wert	0 - 65535

Es handelt sich um einen bestehenden AP-Wert „ÖV-Wartezeit GR“. Der AP-Wert ist ein Zähler für die Anforderung einer ÖV-Richtung; er startet mit der Anforderung und endet mit Abforderung bzw. Zwangslöschung.

SZP-Marke: Allgemeine Anforderung

Datentyp OCIT-O	APWertRKLong
Name OCIT-O	41.161.1 - 41.161.48
Wert	0 - 65535

In diesem bestehenden AP-Wert „Anforderung Dauer SG“ werden IV-Anforderungen, Radfahrer-Anforderungen, Fußgänger-Anforderungen und Sonstige Anforderungen zusammengefasst. Der AP-Wert zählt die Sekunden seit der Anforderung. Er endet mit Grünbeginn.

n) Schnittstelle 2.16: LSA / Verkehrsrechner – OCIT-O (CAM)

Diese Schnittstelle wird nur für den Verkehrsrechner MENDEL (DLR-Testgelände) sowie in Kombination mit dem „OCIT-Car IRS-Konnektor“ verwendet.

Das LSA-Steuergerät ist mit dem Verkehrsrechner über eine Erweiterung der Schnittstelle OCIT-O V2.0 verbunden. Die Erweiterung wird so ausgeführt, dass die Schnittstelle rückwärtskompatibel zu OCIT-O V2.0 ist. Die Spezifikation für OCIT-O V2.0 ist unter „<http://www.ocit.org/downloadOCIT-O.htm>“ einsehbar (für XML ist eine Registrierung als Lizenznehmer erforderlich).

Für das Projekt MENDEL müssen die CAM-Daten der IRS über die LSA an den Verkehrsrechner bzw. den OCIT-Car IRS-Konnektor übertragen werden. D.h., die Schnittstelle OCIT-O V2.0 muss für die CAM-Daten OCIT-konform erweitert werden. Die CAM-Nachricht selbst ist durch ETSI vorgegeben.



Die Übertragung der CAM-Daten wird über das in OCIT-O übliche Verfahren der Archive und Events vorgenommen. Als Archiv wird die Liste 37 benutzt. Die CAM-Daten werden als „CAM-R09-Telegramme“ verwaltet:

Objekt „MwAuftragCamR09“ (100:1411)				
Name	Kurzbez.	Datentyp	Wertebereich	Bemerkungen
Tag	TT	UBYTE	1...31	Erstelldatum / Uhrzeit
Monat	MO	UBYTE	1...12	Erstelldatum / Uhrzeit
Jahr	JJ	UBYTE	0...99	Erstelldatum / Uhrzeit
Stunde	HH	UBYTE	0...23	Erstelldatum / Uhrzeit
Minute	MM	UBYTE	0...59	Erstelldatum / Uhrzeit
Sekunde	SS	UBYTE	0...59	Erstelldatum / Uhrzeit
Meldepunktnr.	MPN	LONG	1-2 ²⁴	5 Zeichen im Telegramm
Liniennummer	LLL	USHORT	0-999	3 Zeichen im Telegramm
Kursnummer	KK	UBYTE	0-99	2 Zeichen im Telegramm
Routennummer	RRR	USHORT	0-999	3 Zeichen im Telegramm
Priorität	P	UBYTE	0-7	1 Zeichen im Telegramm
Zuglänge	Z	UBYTE	0-7	1 Zeichen im Telegramm
Richtung Hand	H	UBYTE	0-3	1 Zeichen im Telegramm; manuelle Anforderung durch den Fahrer (z.B. mittels Schlüsselschalter an der Haltestelle)
Fahrplanabw (Sek)	FAHRP	SHORT	-3599 3599	Abweichung vom Fahrplan wie im empfangenen R09 Telegramm.
StationID		ULONG		ID der Einheit, von der das Event gesendet wurde
StationType		ENUM		Fahrzeugtyp der Einheit, von der das Event gesendet wurde (100:103 STATION_TYPE)
Position.Latitude		LONG		Geoposition des Fahrzeugs beim Versenden des Events in 1/10 Mikrograd
Position.Longitude		LONG		Geoposition des Fahrzeugs beim Versenden des Events in 1/10 Mikrograd
EmbarkationStatus		BOOL		Verladungsstatus (Türen geöffnet ja/nein)

o) Schnittstelle 2.17: LSA / Verkehrsrechner – OCIT-O (ÖV-Anmeldung)

Diese Schnittstelle wird nur für das Testfeld Braunschweig verwendet. Das LSA-Steuergerät ist mit dem Verkehrsrechner Braunschweig (Hersteller Siemens, Typ SCALA) über die standardisierte Schnittstelle OCIT-O V2.0 verbunden.

Die Spezifikation ist unter „<http://www.ocit.org/downloadOCIT-O.htm>“ einsehbar (für XML ist eine Registrierung als Lizenznehmer erforderlich).

Als notwendige Erweiterung für das Projekt MENDEL müssen ÖV-Anmeldungen von dem Verkehrsrechner zur LSA gesendet werden. Dafür wird die Schnittstelle OCIT-konform mit dem „ÖV-Anforderungs-Objekt 4:3“ erweitert. Dieses Objekt ist von der Fa. Siemens in dem Dokument „Zentrale ÖPNV.docx“ spezifiziert. In dem Verkehrsrechner der Stadt Braunschweig ist dieses Objekt durch Konfiguration verfügbar. Bei dem Steuergerät der Fa. AVT STOYE muss dieses Objekt im Rahmen des Projektes implementiert werden.



p) Schnittstelle 2.18: ÖV-Versorgung ITCS/STC

Die Schnittstelle wird dazu genutzt, statische Informationen über ÖV-Linien/Routen sowie Haltestellen an das Smart Traffic Center zu übermitteln.

Kommunikationsart

Die Umsetzung der Kommunikation geschieht per Dateiaustausch im VDV-Format.

Kommunikationshandling

Dies geschieht deckungsgleich mit der VDV-Schnittstelle VDV452 und wird daher hier nicht weiter spezifiziert.

Kommunikationsinhalt

Übertragen wird eine Teilmenge der in VDV 452 spezifizierten Tabellen, darunter:

- REC_FRT (715)
- REC_SEL_ZP (995)
- REC_HP (229)
- REC_SEL (299)
- REC_ORT (253)
- LID_VERLAUF (246)
- REC_LID (226)

Darüber hinaus werden Shapefiles übertragen, die die Streckenverläufe der Fahrten abbilden. Diese sind notwendig, damit die Haltestellen und Routenverläufe im Netzmodell des STC eindeutig zugeordnet werden können

6.2.2.4. Konzept ÖV-Beschleunigung

Für die Einführung und Erprobung der zentralen ÖV-Beschleunigung im Testfeld Braunschweig und auf dem DLR-Testgelände wurde zusätzlich ein Konzept erstellt und mit allen Beteiligten abgestimmt.

Testfeld

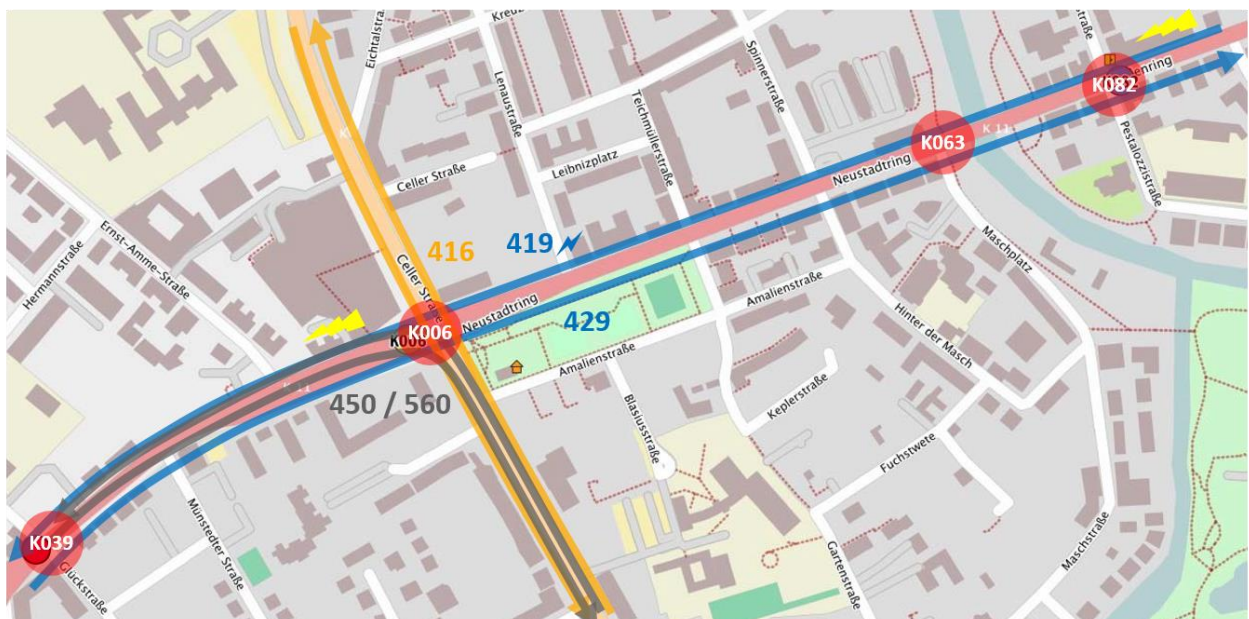


Abbildung 21: Das Testfeld Braunschweig



Das in Abbildung 21 gezeigte Testfeld Braunschweig umfasst vier Lichtsignalanlagen (LSA). Die LSA werden über den Verkehrsrechner (VR) an das Smart Traffic Center (STC) angebunden.

Von den an den LSA vorbeifahrenden ÖV-Linien werden einige exemplarisch in den Testbetrieb einbezogen, diese sind im Bild eingezeichnet.

LSA

LSA	K006	K063	K082	K039
Ort	Amalienplatz: Neustadtring / Celler Str.	Fußgänger-LSA: Neustadtring / Maschplatz	Wendenring / Tunicastr. – Pestalozzistr.	Neustadtring / Diesterwegstr. – Glückstr.
Hersteller	Siemens		AVT/Stoye	
Planung	BELLIS		AVT/Stoye	
Verfahren	TL/PDM		TRELAN/TRENDS	
Anbindung VR	OCIT-O V2		OCIT-O V2	
Anbindung STC	OCIT-C		OCIT-C	
RSU	Ja	-	Eingeschränkt	-
Linie 419	Hohe Priorisierung	Hohe Priorisierung	Hohe Priorisierung	Hohe Priorisierung
Linie 429	Hohe Priorisierung	Hohe Priorisierung	Hohe Priorisierung	Hohe Priorisierung
Linie 416	Niedrige Prio.	-	-	-
Linie 450 / 560	Niedrige Prio.	-	-	Niedrige Prio.

Linien

Linie	419	429	416	450 / 560
Elektrobusse	4 E-Busse	Teilw. E-Busse	-	-
Ausrüstung	INIT	INIT	INIT (ohne Zentren-Komm.) / DLR-OBUS	GEVAS (Smartphones)
Anzahl Geräte	4	Ggf. durch 419 abgedeckt	1 / 1	5 – 7
Verfügbare Fahrtdaten	Ladezustand, Verspätungslage	Teilw. Ladezustand, Verspätungslage	Verspätungslage	-

Unter verfügbaren Fahrtdaten werden solche Daten verstanden, die während der Fahrt aktuell an die Zentrale gesendet werden und zur Priorisierung verwendet werden können (siehe Vorschlag zu den Priorisierungsregeln im Kapitel 0).

Priorisierung



Priorisierungslevel

Es sind grundsätzlich mehrere Priorisierungslevel vorgesehen:

- Keine Priorisierung: Fahrzeug wird nicht angemeldet und nicht besonders berücksichtigt.
- Niedrige Priorisierung: Fahrzeug wird priorisiert, wenn es keinen zu starken Eingriff in die Steuerung erfordert.
- Hohe Priorisierung: Fahrzeug wird mit stärkeren Eingriffen in die Steuerung priorisiert – analog Straßenbahn (muss aber unter Umständen auf ein anderes, ebenfalls stark priorisiertes Fahrzeug warten).
- Maximale Priorisierung: (Einsatz-)Fahrzeug wird sofort und unbedingt priorisiert und die Kreuzung dafür freigemacht.

Die maximale Priorisierung wird im Projekt noch nicht benötigt, die Möglichkeit dafür soll aber für die Zukunft (Projekt SIRENE) offengehalten werden.

In der Steuerung der vier Test-LSA sind damit die niedrige und die hohe Priorisierung einzuplanen. Die genaue Umsetzung in der Logik hängt von den lokalen Bedingungen ab und bleibt dem Planer überlassen.

Fahrzeugpriorisierung

Es soll die fahrzeugefeine Priorisierung durch die Zentrale möglich sein. Daher wird pro Priorisierungslevel ein Nummernbereich vorgesehen, der die Differenzierung verschiedener Fahrzeuge erlaubt – sofern die verwendeten Übertragungsformate dies erlauben. Im klassischen R09-Telegramm sind nur 2 oder 3 Bit vorgesehen (0 – 3/7), in erweiterten Formaten kann mit 8 Bit gerechnet werden (0 – 255).

LSA	Erweiterte Priorität
Keine Priorisierung	0
Niedrige Priorisierung	1 – 99
Hohe Priorisierung	100 – 119
Maximale Priorisierung	≥ 120

Priorisierungsregeln in der Zentrale

In der Zentrale (STC) werden Priorisierungsregeln versorgt, die die Fahrzeugpriorität für jede Anmeldung berechnen.

Vorschlag für die initialen Regeln, basierend auf dem Wertebereich 0 – 200:

Linie	Ladezustand	Verspätungslage	Tageszeit	Priorität	Level
419	gering	-	-	116	Hoch
429	gering	-	-	116	
419	normal	verspätet	-	112	
429	normal / unzutreffend	verspätet	-	110	
419	normal	pünktlich	-	104	
429	normal / unzutreffend	pünktlich	-	102	



Linie	Ladezustand	Verspätungslage	Tageszeit	Priorität	Level
416	-	verspätet	-	80	Niedrig
450 / 560	-	-	Nacht	60	
416	-	pünktlich	-	40	
450 / 560	-	-	Tag	20	

Anmeldung

Anmeldung

Das ÖV-Fahrzeug meldet sich ähnlich den klassischen Meldeverfahren vor der LSA an (normalerweise Vor- und Hauptanmeldung, ggf. auch nur einmal oder mit mehreren Meldepunkten) und nach Überfahren der Haltelinie ab.

Alle Meldepunktnummern müssen eindeutig für die Fahrtrichtung sein (z.B. müssen für die von Süden auf den K006 zufahrenden Linien 450 / 560 andere Meldepunkte geplant werden als für die ebenfalls von Süden kommende Linie 416, um zwischen Linksabbiegern und Geradeausfahrern unterscheiden zu können).

Linien- und Routeninformationen sollen bei der Anmeldung nicht bzw. höchstens informativ mitgeschickt werden und dürfen daher nicht in der Logik verwendet werden. Dies erspart spätere Anpassungen bei geändertem Linienbetrieb.

Die Meldepunkte werden primär zeitlich definiert, d.h. es wird ihnen eine erwartete Restfahrzeit bis zur Haltelinie zugeordnet. Pro Meldekette (identifiziert durch die Signalgruppe und ggf. den Ziel-Arm) können beliebig (SIEMENS-Steuergeräte: maximal 5) viele Meldepunkte mit zugeordneten Restfahrzeiten versorgt werden (s. Abbildung 22).

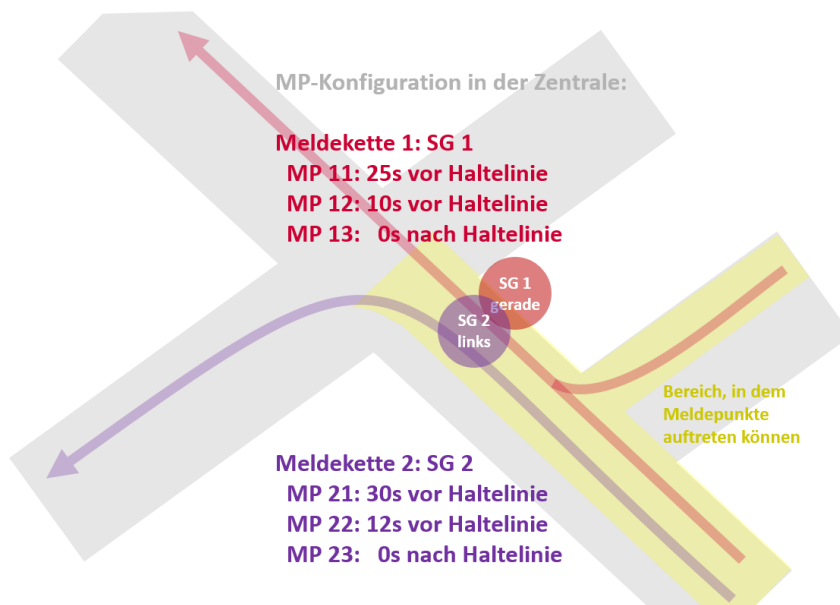


Abbildung 22: Meldepunkt-Konfiguration in der Zentrale

Die Zentrale prognostiziert die Ankunftszeit des ÖV-Fahrzeugs an der Haltelinie und verschickt abhängig von den aktuellen Verhältnissen die Meldepunkt-Anforderung so, dass die versorgte Restfahrzeit möglichst eingehalten wird (bei langsamer Fahrt würde die Anmeldung dann näher an der Haltelinie verschickt als bei schneller Fahrt).



Die beim Meldepunkt in der Zentrale hinterlegte Restfahrzeit muss identisch mit der theoretischen Fahrzeit in der LSA-Planung sein!

Die Abmeldung wird immer so schnell wie möglich beim Passieren der Haltelinie verschickt. Die in der LSA eingehende Anmeldung füllt das R09-Schema mit folgenden Daten:

R09	Länge/Bereich	Bedeutung
Meldepunkt	3 Byte	MP eindeutig einer Meldestrecke zugeordnet: SG & ggf. Arm
Linie	3 Ziffern	ÖV-Linie
Route	3 Ziffern	Zeitstempel (Sekunde am Tag 0 ... 86399): 100 * Route + Kurs
Kurs	2 Ziffern	
Priorität	2 Bit	Priorität (0 ... 127): 32 * Priorität + 4 * Zuglänge + Richtung Hand
Zuglänge	3 Bit	
Richtung Hand	2 Bit	
Fahrplanlage	3+1 Bit	Nicht genutzt

Der Zeitstempel wird genutzt, um die Latenzzeit bei der Übertragung von der Zentrale in das Steuergerät zu kompensieren. Die Latenzzeit kann aus der Differenz zwischen Zeitstempel der Zentrale und aktueller Zeit im Steuergerät berechnet und dann von der theoretischen Fahrzeit subtrahiert werden.

Rückmeldung

Sobald eine Anforderung in der Logik registriert wurde, soll eine Rückmeldung an die Zentrale durch Setzen eines AP-Werts erfolgen. Die Rückmeldung kann von der Zentrale auch an den Fahrer weitergemeldet werden.

Die Rückmeldung enthält die Liniennummer, die in der Anmeldung empfangen wurde. Aufgrund der Einschränkungen des für die Anmeldung verwendeten R09-Telegramms ist eine Hin- und Rückübertragung der Fahrzeugnummer (wie ursprünglich geplant) leider nicht möglich.

Anzeige im Fahrzeug

Die Anzeige im Fahrzeug soll einfach bleiben, um den Fahrer nicht abzulenken. Mögliche Anzeigen sind:

Nr.	Situation	Anzeige	Beispiele		
1	Erfolgreiche Anmeldung (basierend auf empfangener Rückmeldung)	Anmeldesymbol, sonst leer	A		
2	Bei aktueller Geschwindigkeit Grün zu erwarten	Grün, sonst Rot oder leer bei unsicherer Prognose	●	●	
3	Restrotanzeige, wenn das Fahrzeug steht	Rückwärts zählende Sekunden bis Grün	6	5	4

AP-Werte für die Schaltzeitprognose und ÖV-Rückmeldung



Freie AP-Werte Siemens: OITD-Nummer 60.51, Index: 1-128, enthält Zahl von 0 – 65535

Phasenübergänge: 12 freie AP-Werte (60.51 Index 1-12)

- Zusammensetzung AP-Wert (x)xyy:
- (x)xx := laufende Nummer des aktiven Phasenübergangs (Beginnend mit 1)
- yy := Dauer des Phasenübergangs (TU), falls nicht verfügbar auf 01 setzen; bei Erreichen der TU wird dieser Wert auf 00 gesetzt
- Wird eine Variable beschrieben, so ändert sich die Position im Array nicht, bis der Wert wieder auf 0 gesetzt wird
- Es wird zuerst die niedrigste Position im Array befüllt

Anforderungs-Rückmeldung: 4 freie AP-Werte (60.51 Index 57-60)

- Beim Registrieren einer Anforderung wird der niedrigste freie AP-Wert aus dem definierten Bereich mit der per R09 erhaltenen Liniennummer befüllt.
- In der nächsten Sekunde wird der AP-Wert wieder auf 0 gesetzt.

ÖV-Anforderung: OITD-Nummer 41.139, Index: 1-32

- Bestehender AP-Wert „ÖV-Wartezeit GR“.
- Der AP-Wert ist ein Zähler für die Anforderung einer ÖV-Richtung; er startet mit der Anforderung und endet mit Abmeldung bzw. Zwangslöschung

Allgemeine Anforderung: OITD-Nummer 41.161, Index: 1-48

- Bestehender AP-Wert „Anforderung Dauer SG“: IV-Anforderungen, Radfahrer-Anforderungen, Fußgänger-Anforderungen und Sonstige Anforderungen.
- Der AP-Wert zählt die Sekunden seit der Anforderung. Er endet mit Grünbeginn.

Planung / Steuerungslogik

Für die Planung gilt Folgendes:

1. Die genaue Realisierung der Priorisierung und die Umsetzung der verschiedenen Prioritäts-Level bleiben nach wie vor der Planung und der lokalen Steuerung überlassen.
2. Linie, Route und Kurs werden für Steuerungsentscheidungen nicht mehr verwendet (Route und Kurs werden auch nicht mehr übertragen, die Linie nur zur Protokollierung / Überprüfung).
3. Welche Signalgruppe bzw. Richtung angefordert wird, hängt nur von der Meldepunktnummer ab.
4. Wie üblich wird für Meldepunkte in der Steuerung eine Restfahrzeit in Sekunden angenommen. Die Zentrale löst den Meldepunkt je nach aktuellen Gegebenheiten (Verkehrslage, Tageszeit, Geschwindigkeit, ...) so aus, dass die Restfahrzeit möglichst genau erreicht wird.
5. Die beim Meldepunkt in der Zentrale hinterlegte Restfahrzeit muss identisch mit der theoretischen Fahrzeit in der LSA-Planung sein.
6. Da aufgrund des Meldewegs über die Zentrale Verzögerungen bei den Anmeldungen möglich erscheinen, soll die versorgte Restfahrzeit beim Empfang der Anmeldung in der LSA um die Latenzzeit reduziert werden. Die Latenzzeit berechnet sich aus aktueller Zeit – Zeitstempel der Anmeldung.
7. Es wird unterschieden zwischen niedriger und hoher Priorisierung, die einen unterschiedlich starken Einfluss auf die Steuerung haben sollten. Später könnte noch eine maximale Priorisierung (Einsatzfahrzeuge) hinzukommen.



- 8. Innerhalb der zwei Priorisierungs-Level gibt es noch feinere Abstufungen, um einzelne Fahrzeuge gegenüber anderen bevorzugen zu können. Diese Abstufungen können in der Steuerung berücksichtigt werden, wenn es keine anderen, wichtigeren Entscheidungskriterien gibt.
- 9. Sobald eine Anforderung registriert wird, wird ein Rückmeldungs-AP-Wert mit der Liniennummer befüllt wie oben beschrieben.
- 10. Bei Start und Ende jedes Phasenübergangs wird ein Phasenübergangs-AP-Wert gefüllt wie oben beschrieben.

6.2.3. Systemimplementierung ITS

Für die Implementierung der spezifizierten Funktionalitäten wurden verschiedene Softwarekomponenten entwickelt, getestet und in Betrieb genommen.

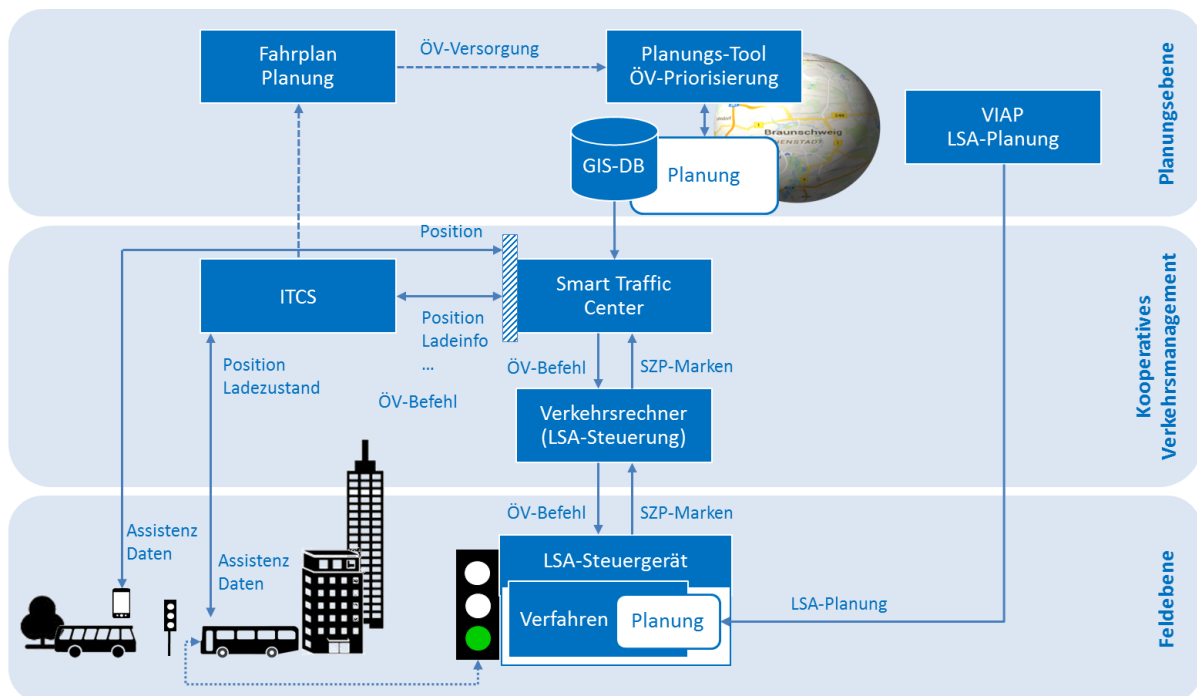


Abbildung 23: Kooperativer Systemverbund aus ITCS, Smart Traffic Center (Verkehrsmanagementebene), Verkehrsrechner (LSA-Steuerung) und LSA-Steuerungsverfahren

6.2.3.1. Import ÖV-Versorgung

Eine Komponente für den Import der ÖV-Versorgungsinformationen und das Matching auf das Verkehrsnetz des Smart Traffic Center wurde realisiert. Das Austauschformat basiert auf dem VDV 452 Standard.

Die Komponente ist in der Lage, die Versorgung der Linien und Routen aus den VDV-Dateien einzulesen sowie über ein Map-Matching-Verfahren auf das verwendete Kantennetz mit den Straßen der Stadt Braunschweig zu matchen. Gleichzeitig werden die zu passierenden bzw. anzufordernden Signalgruppen identifiziert.



pline - Objekte gesamt:5154, gefiltert: 5154, gewählt: 0

LL_Nr_STR_	SJP_Code	BIP_Code	Line_Code	Direction_	FromPoint_	ToPoint_Co	Link_Seqe	Link_No
1	100:5	100:5	100	1 - 1	MOOR11	PETZ12	1	2147482990
2	100:5	100:5	100	1 - 1	PETZ12	MESS14	2	2147482910
3	100:5	100:5	100	1 - 1	MESS14	QUER12	3	2147483001
4	100:5	100:5	100	1 - 1	QUER12	BAGL12	4	2147482889
5	100:5	100:5	100	1 - 1	BAGL12	BEE12	5	2147483520
6	100:5	100:5	100	1 - 1	BEE12	RIST12	6	2147483510
7	100:5	100:5	100	1 - 1	RIST12	HASO12	7	2147482853
8	100:5	100:5	100	1 - 1	HASO12	GLIE12	8	2147483250
9	100:5	100:5	100	1 - 1	GLIE12	JASP13	9	2147483301
10	100:5	100:5	100	1 - 1	JASP13	KAST13	10	2147483121
11	100:5	100:5	100	1 - 1	KAST13	LEON13	11	2147483100
12	100:5	100:5	100	1 - 1	LEON13	WBPL11	12	2147483043
13	100:5	100:5	100	1 - 1	WBPL11	HAUP21	13	2147483214
14	100:5	100:5	100	1 - 1	HAUP21	HEBR11	14	2147483223
15	100:5	100:5	100	1 - 1	HEBR11	BEBE11	15	2147483193
16	100:5	100:5	100	1 - 1	BEBE11	HOMI11	16	2147483517
17	100:5	100:5	100	1 - 1	HOMI11	SFEF11	17	2147483166

Alle Objekte anzeigen

Abbildung 24: Tabellarische Darstellung der VDV-Routendaten für Braunschweig



Abbildung 25: Importierte VDV-Routen und Haltestellen in Braunschweig

Import and Matching sind Voraussetzung für das Funktionieren der zentralen Anforderung im laufenden Betrieb.

6.2.3.2. Empfang von Positionsmeldungen

Importschnittstellen an das Smart Traffic Center wurden für die drei verschiedenen Lieferanten von Positionsmeldungen (ITCS, RSU und ÖV-App) realisiert.

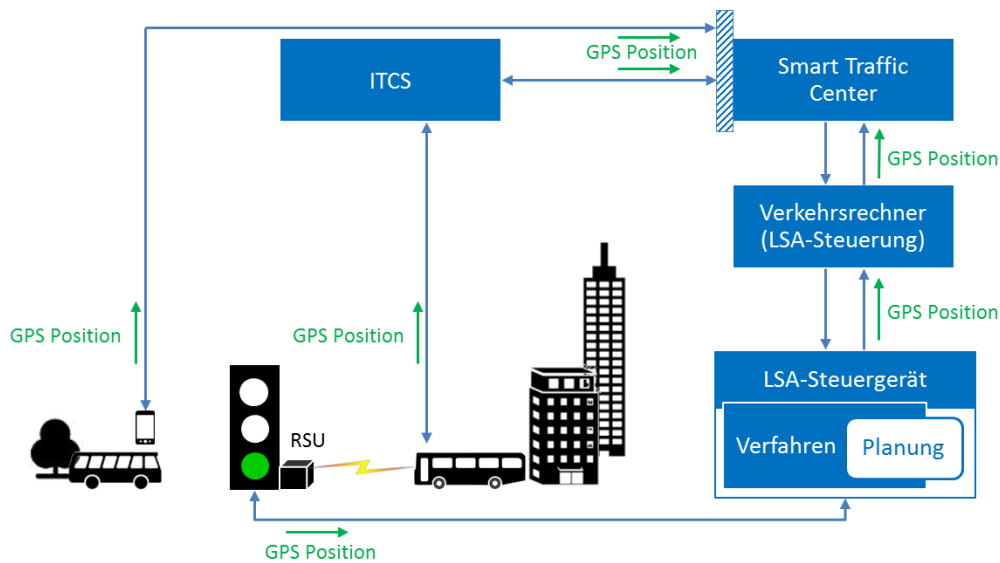


Abbildung 26: Drei Wege, über die das Smart Traffic Center die Positionsmeldungen empfängt: Über die Smartphone-App, das ITCS oder eine RSU, welche an der LSA CAM-Meldungen von Bussen mit einer OBU (On Board Unit) empfängt

Die Anbindung von ITCS und App erfolgte über Webschnittstellen mit JSON-Inhalten, die in verschiedenen Umgebungen einfach zu verwenden sind. Für die RSU-Anbindung war der Weg über den Verkehrsrechner erforderlich. Über diesen wurden die CAM-Datensätze weitervermittelt und schließlich im Smart Traffic Center in passende Positionsdaten umgewandelt.

6.2.3.3. Zentrale ÖV-Priorisierung

Die Komponenten des Smart Traffic Center für die ÖV-Priorisierung wurden implementiert. Dies betrifft insbesondere das Matching der Positionsmeldungen auf das interne Netz, eine Verfolgung der einzelnen Fahrten zu Zwecken der Anmeldung, ein Modul zur Priorisierung der Fahrzeuge nach konfigurierbaren Regeln und Komponenten zur Generierung der Anmeldeinformationen für die Lichtsignalanlage.

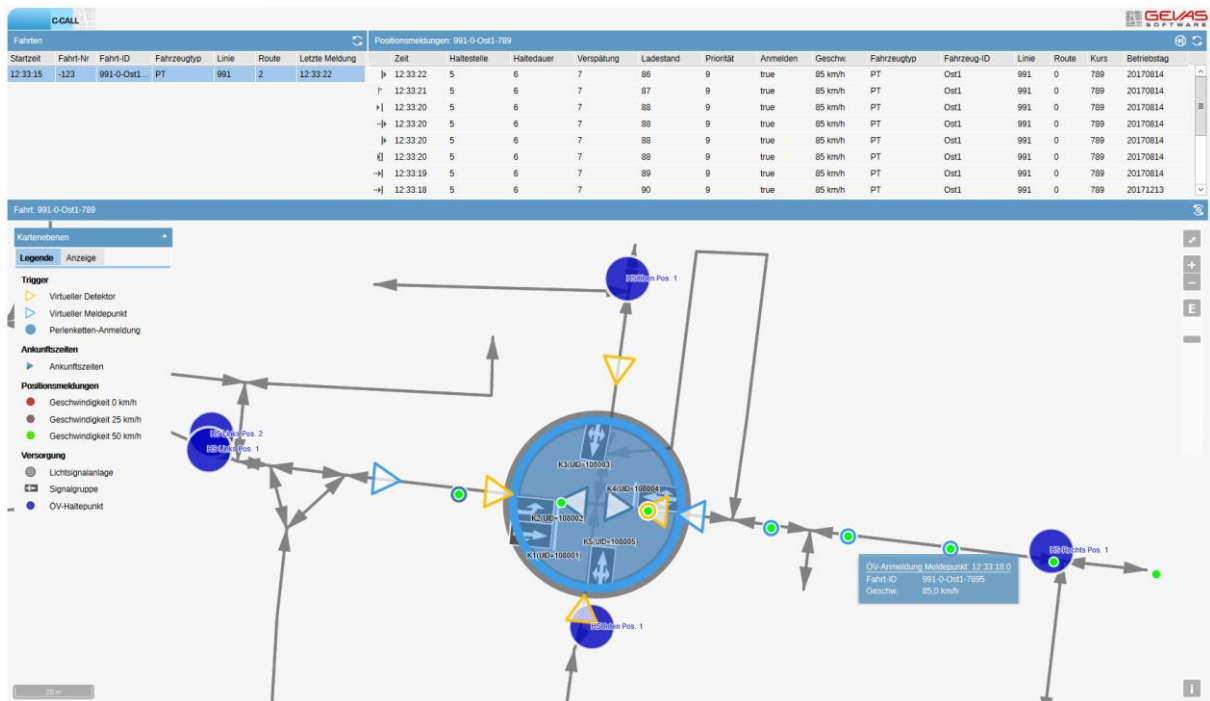


Abbildung 27: Visualisierung von Positionsmeldungen, Meldepunkten und Anmeldungen der zentralen ÖV-Priorisierung auf dem DLR-Testgelände

Für das Matching der eintreffenden Positionsmeldungen auf dem Netz wird auf die zuvor eingelesenen ÖV-Routen aufgesetzt. Dadurch wird das Matching deutlich vereinfacht, da nur noch die möglichen Routen überprüft werden müssen. Ungenauigkeiten der Positionsdaten, die beim aktuellen Stand der Technik unvermeidlich sind, können so ausgeglichen werden. Es ist sogar (mit Einschränkungen) die Ermittlung der befahrenen Route möglich, wenn diese noch nicht bekannt ist (z.B. bei Meldungen, die über die Smartphone-App hereinkommen). Dazu wird ein Matching auf die bekannten Routen der gemeldeten Linie durchgeführt und der beste Treffer wird genommen.

Ist die Route einmal ermittelt, wird die Fahrt darauf verfolgt und es wird kontinuierlich überprüft, ob die (räumlichen und zeitlichen) Bedingungen für eine An- oder Abmeldung erfüllt sind. Wenn dies der Fall ist, wird die aktuelle Priorisierung aus den konfigurierten Regeln errechnet. Die Regeln können jederzeit zentral geändert werden und verschiedene Informationen der aktuellen Fahrt berücksichtigen, wie z.B. den Ladezustand oder die Verspätungslage.

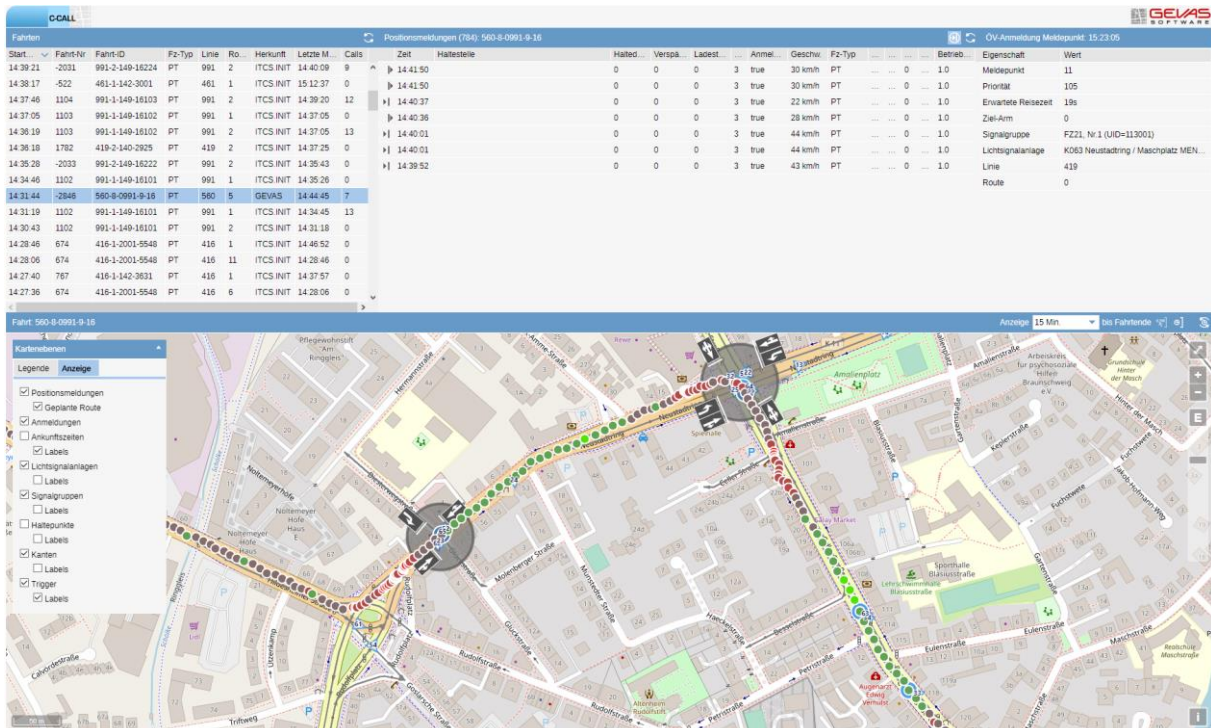


Abbildung 28: Anzeige einer ÖV-Fahrt der Linie 560 in Braunschweig im Testgebiet

Beim Erzeugen einer Anmeldung wird diese über den Verkehrsrechner an die LSA gesendet und dort in der Steuerungslogik verarbeitet, um die gewünschte LSA-Beeinflussung zu erreichen.

6.2.3.4. Übertragung von ÖV-Anmeldungen

Für die Weitergabe der zentralen ÖV-Befehle (Anmeldungen) an den Verkehrsrechner wurden Schnittstellen entwickelt. Hierbei wurden gemäß der Spezifikation eine Kompatibilitätslösung über OCIT-C und R09 Telegramme sowie ein neuer Ansatz, basierend auf der CentralVehicleNotification, realisiert. Die CentralVehicleNotification wurde hierbei sowohl als Objekt in OCIT-C wie auch in OCIT-O definiert.

Die Kompatibilitätslösung nutzt die Struktur von R09-Telegrammen, um die Anmeldeinformationen aus der Zentrale (und nicht wie in früheren Systemen aus dem Bus über Funk-Bake-System) an die LSA zu übermitteln. Um die Möglichkeiten der zentralen Anmeldung besser nutzen zu können, werden dabei einige Felder anders belegt als üblich. So werden Route, Kurs, Zuglänge und Fahrplanlage nicht mehr benötigt, da zur Verarbeitung in der Steuerungslogik nur die Meldepunktnummer und die von der Zentrale berechnete Priorität ausreichen.

Stattdessen werden ein Zeitstempel und eine erweiterte Prioritätszahl übertragen. Der Zeitstempel dient der Latenzmessung und ermöglicht der Steuerungslogik festzustellen, wie alt (in Sekunden) eine empfangene Anmeldung ist. Die erweiterte Priorität ermöglicht eine genaue Differenzierung verschiedener Anmeldungen durch die Zentrale. Die Steuerungslogik kann dies auswerten, um differenzierte Entscheidungen über die Berücksichtigung verschiedener ÖV-Fahrzeuge zu treffen.

Ursprünglich war noch geplant, eine (verkürzte) Fahrzeugnummer mit zu übertragen, um eine fahrzeugspezifische Rückmeldung eindeutig zuordnen zu können. Aufgrund der Einschränkungen des R09-Telegramms und der vorhandenen Übertragungswege ließ sich dies



aber nicht realisieren und die Rückmeldung musste auf die Zuordnung der Liniennummer umgestellt werden.

Die CentralVehicleNotification (s. Abbildung 18) ist hingegen speziell auf die Erfordernisse einer zentralen, kontinuierlichen Anmeldungen ausgelegt und kann mit allen nötigen Informationen gefüllt werden, u.a. auch der Fahrzeugnummer.

6.2.3.5. Hybride Schaltzeitprognose

Das Modul für die Schaltzeitprognose wurde an die Anforderungen aus MENDEL angepasst. Insbesondere wurde für die hybride Schaltzeitprognose ein Verfahren entwickelt, welches die Fusion der bisherigen Ansätze mit den neuen Informationen aus den SZP-Marken ermöglicht. Das Verfahren wurde implementiert und an den Verkehrsrechner Braunschweig angebunden werden.

Im Detail wurden spezielle AP-Werte definiert und übertragen, um zusätzliche Informationen aus der LSA an die Zentrale zu übertragen. Dazu gehören Start und Ende von Phasenübergängen, Rückmeldungen auf erhaltene zentrale ÖV-Anforderungen, allgemeine ÖV-Anforderungszähler (startend mit jeder Anmeldung) und Zähler für verschiedene IV-Anforderungen.

Diese Daten fließen in aufbereiteter Form zusammen mit den üblichen LSA-Daten (Signalbilder, Umlaufsekunde etc.) in die Berechnung der Entscheidungsbäume für die Prognose ein. Die zusätzlichen Informationen ermöglichen die Erkennung spezieller Situationen, insbesondere im Zusammenhang mit Anforderungen. Das führt zu einer besseren Aufgliederung des Baums und damit zu einer besseren Prognose im Onlinebetrieb.

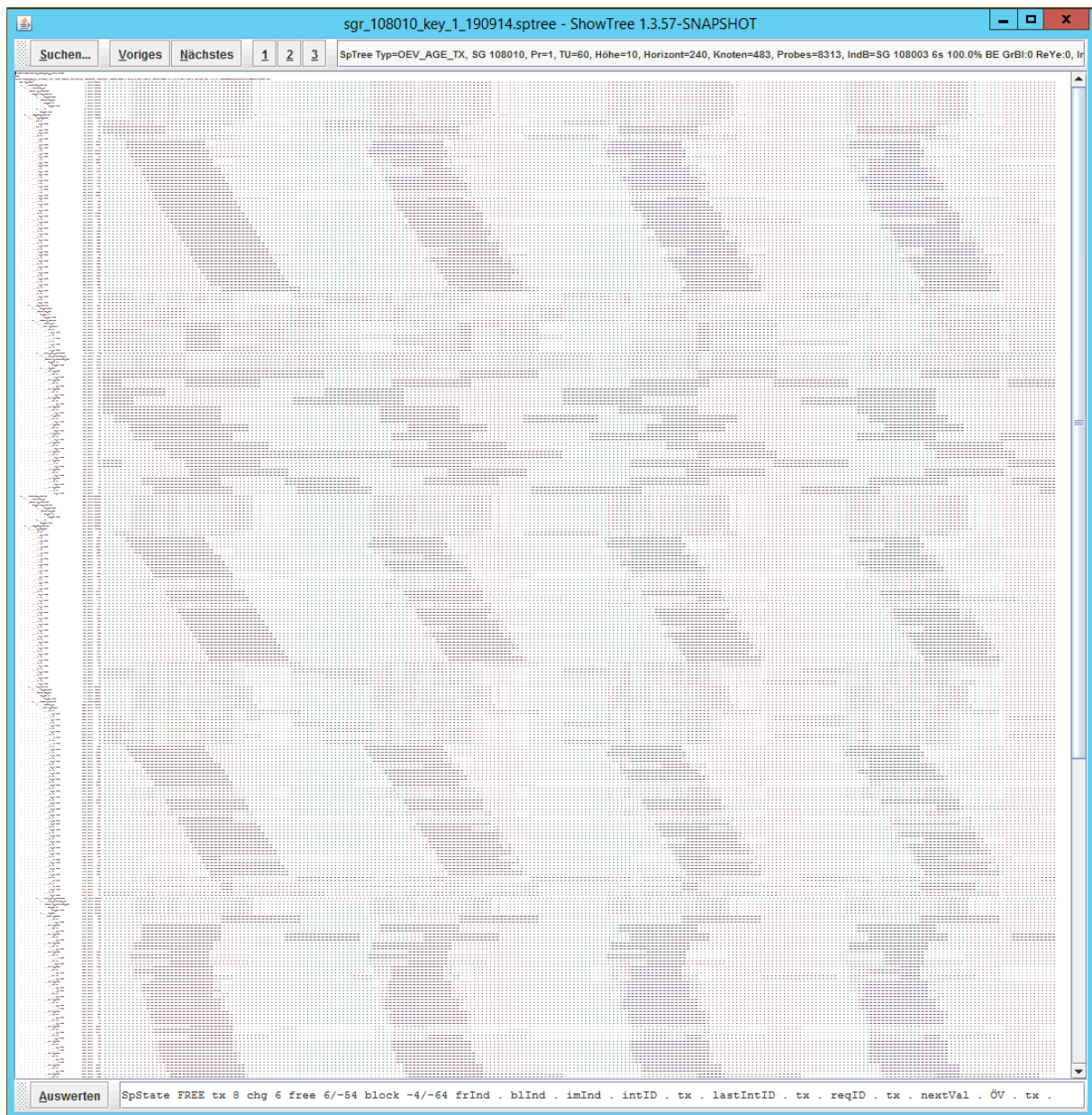


Abbildung 29: Visualisierung eines Entscheidungsbaums für eine Signalgruppe im DLR-Testgebiet. Am linken Rand ist die Baumstruktur zu erkennen, rechts entsprechen dunkle Bereiche prognostizierten Grünphasen.

6.2.3.6. Erweiterungen am Verkehrsingenieurarbeitsplatz

Es wurden Erweiterungen am Verkehrsingenieurarbeitsplatz (VIAP) CROSSIG für die Generierung und Verteilung der SZP-Marken (AP-Werte zur Unterstützung der Schaltzeitprognose) durchgeführt. Gleichzeitig wurden die entsprechenden Erweiterungen am Steuerungsverfahren TRENDS implementiert.

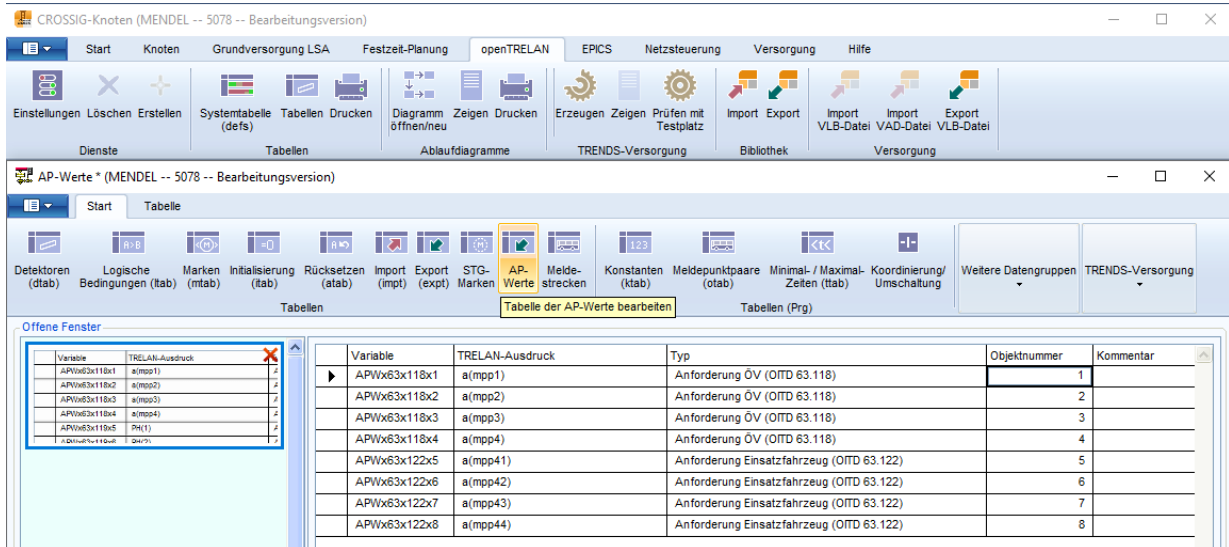


Abbildung 30: Definition von AP-Werten für Anforderungen im VIAP CROSSIG

Der VIAP CROSSIG wurde für die Berücksichtigung der zentralen ÖV-Anmeldung in der Planung erweitert. Entsprechend wurden neue Funktionalitäten im Steuerungsverfahren TRENDS für den Empfang und die Verarbeitung der zentralen ÖV-Anmeldung geschaffen. Die Definition einer Meldestrecke erfolgt über eine Signalgruppe und einen Zielarm am Knotenpunkt.

Zusätzlich wird eine Zwangsabmeldung definiert. Im Falle eines Verbindungsabbruchs zur Zentrale werden angemeldete Fahrzeuge nach "Faktor [%]" * "Restfahrzeit der letzten Meldung" + "Puffer" zwangsabgemeldet.

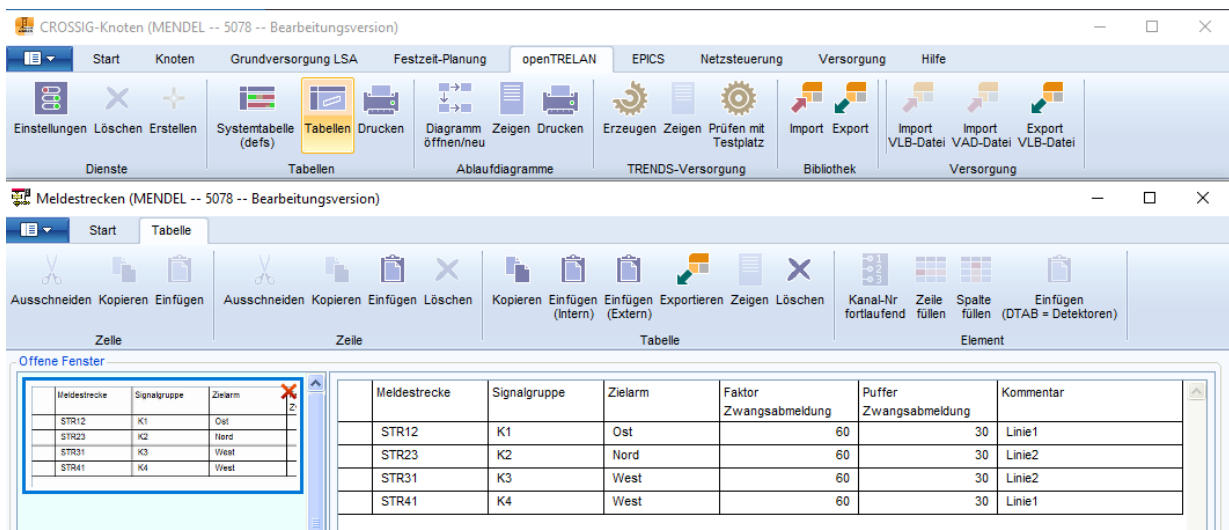


Abbildung 31: Bearbeitung von Meldestrecken mit Zwangsabmeldung im VIAP CROSSIG

Als zusätzliche Systemvariable, im Gegensatz zu Meldepunktpaaren, steht auch eine voraussichtliche Ankunftszeit an der Haltelinie (Time-To-Stopline) zur Verfügung.

Die neuen CROSSIG und TRENDS Versionen wurden dem Projektpartner AVT-Stoye für die LSA-Planung bzw. die Integration in das Steuergerät zur Verfügung gestellt.



6.2.3.7. Systemimplementierung des Steuerungsverfahrens in die LSA

Nachdem von GEVAS die Erweiterungen am Steuerungsverfahren TRENDS/TRELAN vorgenommen worden sind und diese im Labor getestet worden sind, erfolgte die Implementierung des erweiterten Steuerungsverfahrens in das Steuergerät von AVT STOYE. Bei der Systemimplementierung waren auf Seite des Steuergerätes folgende Schritte notwendig:

- Erweiterung der internen Schnittstelle für die Weitergabe von SZP-Marken vom Steuerungsverfahren zum Steuergerät
- Erweiterung der internen Schnittstelle für den Empfang von ÖV-Befehlen
- Firmeninterne Langzeittests unter realen Bedingungen zur Qualitätssicherung
- Erstellung einer qualitätsgesicherten Geräte-Firmware bezogen auf den Steuerungskern für MENDEL

6.2.3.8. ÖV-Smartphone-App

Die Smartphone-App „ÖVpilot“ für die ÖV-Fahrer-Assistenz wurde für Android-Handys entwickelt. Die App wurde so einfach wie möglich gestaltet, um den Fahrer nicht mit unnötigen Bedienschritten zu belasten und vor allem nicht abzulenken.

Es ist nur die Auswahl bzw. Eingabe der gefahrenen Liniennummer und ein Tipp auf „Starten“ notwendig. Die App baut dann die Verbindung zum Server auf und beginnt mit der (sekundlichen) Übermittlung der Positionsdaten an die Zentrale. Zusammen mit der Liniennummer genügen diese, um die Fahrt zu verorten und zu verfolgen und die notwendigen An- und Abmeldungen zu erkennen.

Auf die zunächst vorgesehene Auswahl der Routennummer wurde verzichtet, da der Fahrer diese normalerweise gar nicht kennt und auch nicht bei jedem Richtungswechsel zu einer Eingabe gezwungen werden soll. Stattdessen wird die Route anhand der Bewegungsdaten und der hinterlegten ÖV-Versorgung automatisch erkannt.

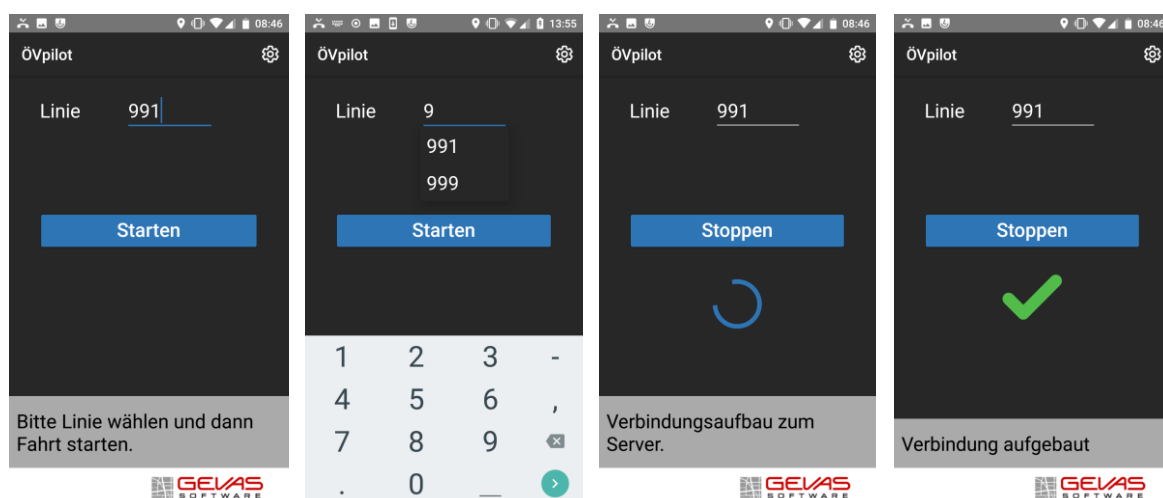


Abbildung 32: Screenshots aus der ÖV-App

Voraussetzung für den Betrieb der App ist ein Android-Smartphone mit einem Android ab Version 5.0. Für die Positionsbestimmung werden die üblichen Android-Systemdienste benutzt. Alle Ortungsfunktionen müssen aktiviert sein und das Smartphone muss ins Mobilfunknetz eingewählt sein, um die Daten an die Zentrale zu übermitteln.



6.2.3.9. App-Backend

Das Server-Backend für den ÖV-Fahrer-Assistenten und die von der App benötigten Services für die Client-Server-Kommunikation wurden implementiert.

Die Positionsdaten der App werden zunächst an die Serverapplikation der Schaltzeitprognose (SSP) gesendet und dort per Webschnittstelle entgegengenommen. Eine Firewall und ein Apache-Webserver sind zwischengeschaltet und sorgen für Absicherung und korrektes Netzwerkrouting.

Die SSP gibt die Daten an den Server für die zentrale Anmeldung weiter. Dort findet die Fahrtverfolgung und Bestimmung der nächsten anzumeldenden Signalgruppe statt. Das Ergebnis wird an die SSP zurückübermittelt und umfasst die nächste Signalgruppe und den Anmeldestatus. Hiermit kann die SSP nun die aktuelle Prognose für die Signalgruppe hinzufügen und das Ergebnis an den Aufrufer zurückgeben. Da eventuelle Rückmeldungen von der LSA asynchron verarbeitet werden, kann ein typischer Aufruf von der Meldung von Positionsdaten bis zur Rücklieferung der aktuellen Prognose normalerweise in deutlich unter einer Sekunde abgearbeitet werden.

```
20190626 10:58:00.179 default task-1012 processPosition auferufen mit PtClientPositioni-PtClientPositioni [timeRecorded=2019-06-26 10:58:00, line=560, route=8, vehicleId=0991, longitude=10.4065882, latitude=52.2972639, speed=46.763999]
20190626 10:58:00.306 default task-1012 processPosition auferufen mit PtClientPositioni-PtClientPositioni [timeRecorded=2019-06-26 10:58:00, line=450, route=5, vehicleId=0014, longitude=10.5272886, latitude=52.2669262, speed=0.0]
20190626 10:58:01.148 default task-1031 processPosition auferufen mit PtClientPositioni-PtClientPositioni [timeRecorded=2019-06-26 10:58:01, line=560, route=8, vehicleId=0991, longitude=10.4065574, latitude=52.2973887, speed=51.540000]
20190626 10:58:01.227 default task-1031 processPosition auferufen mit PtClientPositioni-PtClientPositioni [timeRecorded=2019-06-26 10:58:01, line=450, route=5, vehicleId=0014, longitude=10.5272941, latitude=52.2669245, speed=0.0]
20190626 10:58:01.943 default task-1031 RückgabePTPredictionAnswer1 [trafficCyclePred=PTPredictionAnswer1 [prediction=0;1;25;0;94;29;0.92;30;0.2;35;0.14;39;0.07;40;0.49;0.14;52;0.22;53;0.8;59;0.8;63;0.14;64;1;84;0.99;85;0.79;8]
20190626 10:58:02.148 default task-1012 processPosition auferufen mit PtClientPositioni-PtClientPositioni [timeRecorded=2019-06-26 10:58:02, line=560, route=8, vehicleId=0991, longitude=10.4065561, latitude=52.2974842, speed=43.956081]
20190626 10:58:02.328 default task-1012 processPosition auferufen mit PtClientPositioni-PtClientPositioni [timeRecorded=2019-06-26 10:58:02, line=450, route=5, vehicleId=0014, longitude=10.5273, latitude=52.2669229, speed=0.0]
20190626 10:58:03.006 default task-1012 RückgabePTPredictionAnswer1 [trafficCyclePred=PTPredictionAnswer1 [prediction=0;1;24;0.94;29;0.92;29;0.2;34;0.14;38;0.07;39;0.48;0.14;51;0.2;52;0.22;53;0.8;58;0.8;61;0.14;63;1;83;0.99;84;0.79;8]
20190626 10:58:03.158 default task-1031 processPosition auferufen mit PtClientPositioni-PtClientPositioni [timeRecorded=2019-06-26 10:58:03, line=560, route=8, vehicleId=0991, longitude=10.4065392, latitude=52.2976031, speed=47.051998]
20190626 10:58:03.305 default task-1031 processPosition auferufen mit PtClientPositioni-PtClientPositioni [timeRecorded=2019-06-26 10:58:03, line=450, route=5, vehicleId=0014, longitude=10.527307, latitude=52.2669219, speed=0.0]
20190626 10:58:04.069 default task-1027 RückgabePTPredictionAnswer1 [trafficCyclePred=PTPredictionAnswer1 [prediction=0;1;23;0.94;27;0.92;28;0.2;33;0.14;37;0.07;38;0.47;0.14;50;0.2;53;0.8;57;0.8;61;0.14;62;1;82;0.99;83;0.79;8]
20190626 10:58:04.280 default task-1027 processPosition auferufen mit PtClientPositioni-PtClientPositioni [timeRecorded=2019-06-26 10:58:04, line=560, route=8, vehicleId=0991, longitude=10.4065501, latitude=52.2977357, speed=52.055997]
20190626 10:58:04.387 default task-1027 processPosition auferufen mit PtClientPositioni-PtClientPositioni [timeRecorded=2019-06-26 10:58:04, line=450, route=5, vehicleId=0014, longitude=10.527313, latitude=52.2669215, speed=0.0]
20190626 10:58:05.129 default task-1027 RückgabePTPredictionAnswer1 [trafficCyclePred=PTPredictionAnswer1 [prediction=0;1;22;0.94;25;0.92;27;0.2;32;0.14;36;0.07;37;0.46;0.14;49;0.2;50;0.22;51;0.8;56;0.8;60;0.14;61;1;81;0.99;82;0.79;8]
20190626 10:58:05.180 default task-1031 processPosition auferufen mit PtClientPositioni-PtClientPositioni [timeRecorded=2019-06-26 10:58:05, line=560, route=8, vehicleId=0991, longitude=10.4064922, latitude=52.2978414, speed=46.655998]
20190626 10:58:05.488 default task-1031 processPosition auferufen mit PtClientPositioni-PtClientPositioni [timeRecorded=2019-06-26 10:58:05, line=450, route=5, vehicleId=0014, longitude=10.527329, latitude=52.266922, speed=0.0]
20190626 10:58:06.180 default task-1031 processPosition auferufen mit PtClientPositioni-PtClientPositioni [timeRecorded=2019-06-26 10:58:06, line=560, route=8, vehicleId=0991, longitude=10.4064724, latitude=52.2979777, speed=52.451999]
20190626 10:58:06.196 default task-1027 RückgabePTPredictionAnswer1 [trafficCyclePred=PTPredictionAnswer1 [prediction=0;1;21;0.94;25;0.92;26;0.2;31;0.14;35;0.07;36;0.45;0.14;48;0.2;49;0.22;50;0.8;55;0.8;59;0.8;60;1;80;0.99;81;0.79;8]
20190626 10:58:07.077 default task-1027 processPosition auferufen mit PtClientPositioni-PtClientPositioni [timeRecorded=2019-06-26 10:58:07, line=560, route=8, vehicleId=0991, longitude=10.4064977, latitude=52.2982349, speed=53.855998]
20190626 10:58:07.356 default task-1027 processPosition auferufen mit PtClientPositioni-PtClientPositioni [timeRecorded=2019-06-26 10:58:06, line=450, route=5, vehicleId=0014, longitude=10.5273329, latitude=52.2669229, speed=0.0]
20190626 10:58:07.430 default task-1027 processPosition auferufen mit PtClientPositioni-PtClientPositioni [timeRecorded=2019-06-26 10:58:07, line=560, route=8, vehicleId=0991, longitude=10.4064714, latitude=52.2980996, speed=50.183998]
20190626 10:58:08.027 default task-1031 processPosition auferufen mit PtClientPositioni-PtClientPositioni [timeRecorded=2019-06-26 10:58:07, line=450, route=5, vehicleId=0014, longitude=10.5273412, latitude=52.2669241, speed=0.0]
20190626 10:58:08.250 default task-1031 processPosition auferufen mit PtClientPositioni-PtClientPositioni [timeRecorded=2019-06-26 10:58:08, line=560, route=8, vehicleId=0991, longitude=10.4064977, latitude=52.2982349, speed=53.855998]
20190626 10:58:08.328 default task-1031 RückgabePTPredictionAnswer1 [trafficCyclePred=PTPredictionAnswer1 [prediction=0;1;19;0.94;23;0.92;24;0.2;29;0.14;33;0.07;34;0.43;0.14;46;0.2;47;0.22;49;0.8;53;0.8;57;0.8;61;1;78;0.99;79;0.79;8]
20190626 10:58:08.366 default task-1031 processPosition auferufen mit PtClientPositioni-PtClientPositioni [timeRecorded=2019-06-26 10:58:08, line=450, route=5, vehicleId=0014, longitude=10.5273483, latitude=52.2669252, speed=0.0]
20190626 10:58:09.180 default task-1027 processPosition auferufen mit PtClientPositioni-PtClientPositioni [timeRecorded=2019-06-26 10:58:09, line=560, route=8, vehicleId=0991, longitude=10.4064873, latitude=52.2983732, speed=55.4039993]
20190626 10:58:09.258 default task-1027 processPosition auferufen mit PtClientPositioni-PtClientPositioni [timeRecorded=2019-06-26 10:58:09, line=450, route=5, vehicleId=0014, longitude=10.5273546, latitude=52.2669263, speed=0.0]
20190626 10:58:10.179 default task-1012 processPosition auferufen mit PtClientPositioni-PtClientPositioni [timeRecorded=2019-06-26 10:58:10, line=560, route=8, vehicleId=0991, longitude=10.4064438, latitude=52.298504, speed=54.4319992]
```

Abbildung 33: Logmeldungen von im Server eingegangenen Positionsmeldungen der App (grün), Linien 450 und 560 in Braunschweig. Dazwischen sind einige Rückgaben mit Prognosedaten erkennbar (grau).

6.2.3.10. LSA-GUI auf dem Bordrechner

Um unnötige Anfahrvorgänge nicht nur aufseiten der LSA-Steuerung, sondern auch durch ein angepasstes Fahrverhalten zu vermeiden, implementierte INIT eine prototypische Anzeige (engl.: Graphical User Interface, kurz: GUI) für den Bordrechner im Fahrer-Cockpit.

Die GUI wurde nach mehreren Abstimmungsgesprächen zwischen INIT und BSVG als sehr einfach gehaltener Prototyp gestaltet. Sie trägt dem Umstand Rechnung, dass das Fahrpersonal heute bereits mit verschiedenen Displays im Cockpit mit Informationen, bspw. zu Fahrzeug, Fahrplanlage oder Ticketing, versorgt wird. Daher wurde bewusst eine sehr leicht verständliche Darstellung gewählt. Zudem soll die GUI zwar Informationen für eine angepasste Fahrweise liefern, nicht jedoch konkrete Geschwindigkeitsanpassungen vorschlagen. Damit soll vermieden werden, dass der Fahrer mit Blick auf die GUI nicht mehr bewusst über die der jeweiligen Verkehrssituation angemessene Geschwindigkeit entscheidet.

Auf der linken Seite besteht die entwickelte Anzeige aus einem statischen Piktogramm eines Busses. Im rechten Bereich ist eine LSA abgebildet, die den aktuellen Status der nächsten LSA auf dem Linienweg anzeigt. Hier wird als ergänzende Information zudem die „Time-to-green“, die Zeit bis zur nächsten Grünphase in Sekunden angezeigt. Diese Information ermöglicht z. B., die Fahrgastwechselzeit an einer Haltestelle vor der LSA zu verlängern, um erst dann abzufahren, wenn die nächste Grünphase unmittelbar bevorsteht. Im mittleren Bereich ist der Kern der GUI zu finden, die eine Prognose des Signalbildes bei Beibehaltung



der gegenwärtigen Geschwindigkeit darstellt. Anhand von grünen und roten Pfeilen kann der Fahrer erkennen, ob er bei konstanter Geschwindigkeit auf ein rotes oder ein grünes Signal zufährt und entsprechend rechtzeitig die Fahrt beschleunigen oder verzögern. (s. Abbildung 34; Erläuterungen in weißem Text)

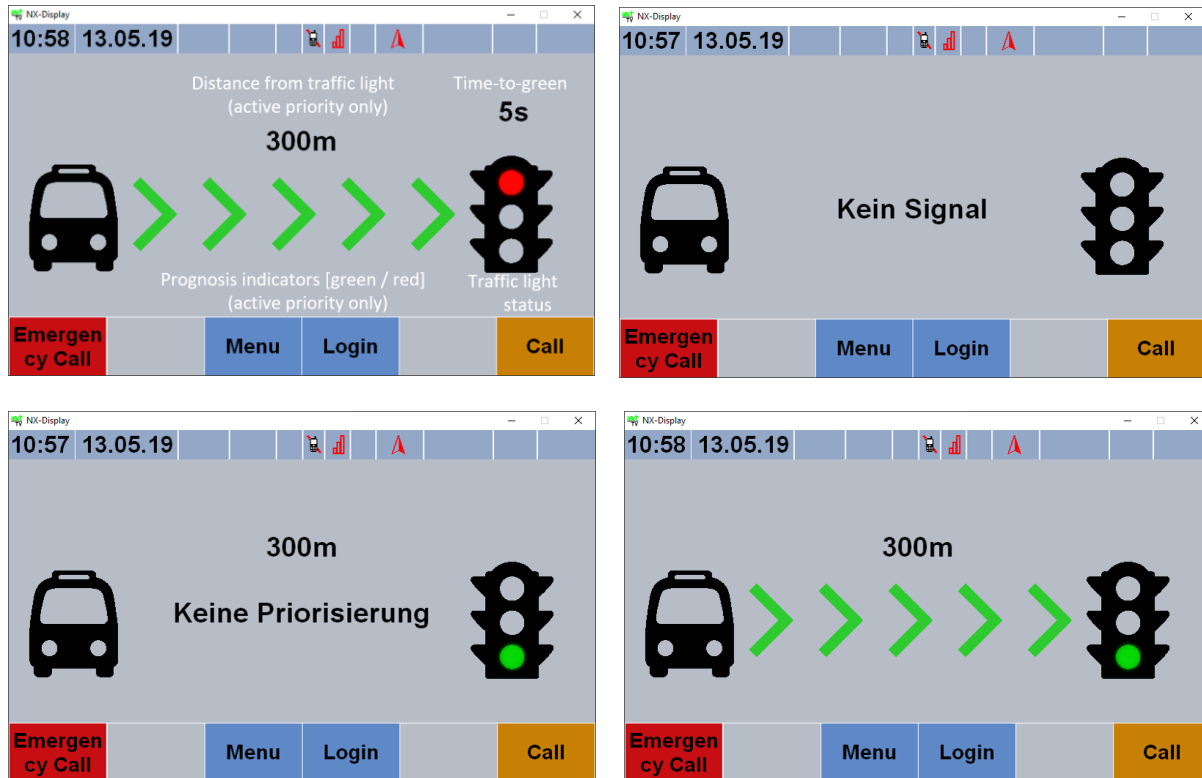


Abbildung 34: Beispiele möglicher GUI-Anzeigen auf dem Bordrechner

6.2.4. Systemintegration ITS

Die entwickelten Systemkomponenten wurden – mit Ausnahme des ITCS – im beim DLR gehosteten Testsystem installiert und für die Test-LSA beim DLR und die vier Projekt-LSA in Braunschweig in Betrieb genommen.

6.2.4.1. Systeminstallation

Das Smart Traffic Center wurde in der DLR Rechnerumgebung installiert und konfiguriert. Durch Probleme beim IT-Provider des DLR (der während der Projektlaufzeit gewechselt wurde) mussten gewisse Installationsschritte mehrfach durchgeführt werden, was zu einigen Zeitverzögerungen führte.

In der Zentrale laufen von GEVAS software ein System mit zwei Datenbanken und diversen Komponenten zur Verarbeitung der eingehenden LSA-Daten und Positionsdaten. Daraus werden Entscheidungsbäume für die Prognosen vorberechnet und online die Prognosen basierend auf den aktuellen Daten erstellt. Weiterhin werden online die Positionsdaten in nachverfolgte Fahrten umgewandelt und die Anmeldungen erzeugt und weitergeleitet. Web-Oberflächen zur Visualisierung der aktuellen Situation werden ebenfalls durch die Prozesse bereitgestellt.

Die netzwerktechnischen Voraussetzungen für eine Anbindung des Smart Traffic Center an das Testfeld DLR und das Testfeld Braunschweig wurden geschaffen, um LSA-Daten an die



Zentrale und umgekehrt Anmeldungen und Prognosen an die LSA bzw. RSU schicken zu können. Die neu entwickelten Schnittstellen für die Weitergabe der zentralen ÖV-Befehle an den Verkehrsrechner wurden vor Ort integriert.

Das Modul für die Schaltzeitprognose wurde beim DLR integriert und an die Daten aus dem DLR Testgelände angebunden. Die Anbindung an die Daten aus dem Testfeld Braunschweig wurde per OCIT-C Schnittstelle von der BELLIS/Siemens durchgeführt. Die Fertigstellung der OCIT-C-Schnittstelle gemäß Spezifikationen konnte erst mit Zeitverzögerung und einigen Nachbesserungen (auf Verkehrsrechnerseite) erfolgen, was zu Verzögerungen im Projektplan führte. Letztlich konnten die Daten aber korrekt und mit zufriedenstellender Latenz empfangen werden.

6.2.4.2. Systemtests

Mit der entwickelten Komponente für den Import der ÖV-Versorgungsinformationen wurden verschiedene Importe durchgeführt, um den Systemaufbau für das DLR Testfeld und das Testfeld Braunschweig zu vervollständigen. Dabei wurden kleinere Probleme identifiziert und behoben.

Die entwickelten Schnittstellen für den Import der Positionsmeldungen in das Smart Traffic Center wurden beim DLR installiert und getestet. Dabei wurden verschiedene Testreihen für die drei Importwege ITCS, App und CAM durchgeführt und in verschiedenen Konstellationen wiederholt. Speziell wurde zur Durchführung der Tests ein Papier „Szenarien für den Feldtest auf dem DLR-Gelände“ erstellt, in dem verschiedene Szenarien (Testfälle) spezifiziert wurden:

- Szenario 1a: Einfache Anmeldung mit ÖV-Meldepunkten per Handy
- Szenario 1b: Einfache Anmeldung mit ÖV-Meldepunkten per Copilot-PC über ITCS
- Szenario 1c: Einfache Anmeldung mit ÖV-Meldepunkten per Copilot-PC über RSU
- Szenario 2a: Einfache Anmeldung mit ÖV-Meldestrecke per Handy
- Szenario 2b: Einfache Anmeldung mit ÖV-Meldestrecke per Copilot-PC über ITCS
- Szenario 2c: Einfache Anmeldung mit ÖV-Meldestrecke per Copilot-PC über RSU
- Szenario 3: Konkurrierende Anmeldungen mit ÖV-Meldepunkten, zwei Fahrzeuge treffen zu unterschiedlichen relativen Zeitpunkten ein
- Szenario 4: Konkurrierende Anmeldungen mit ÖV-Meldestrecken

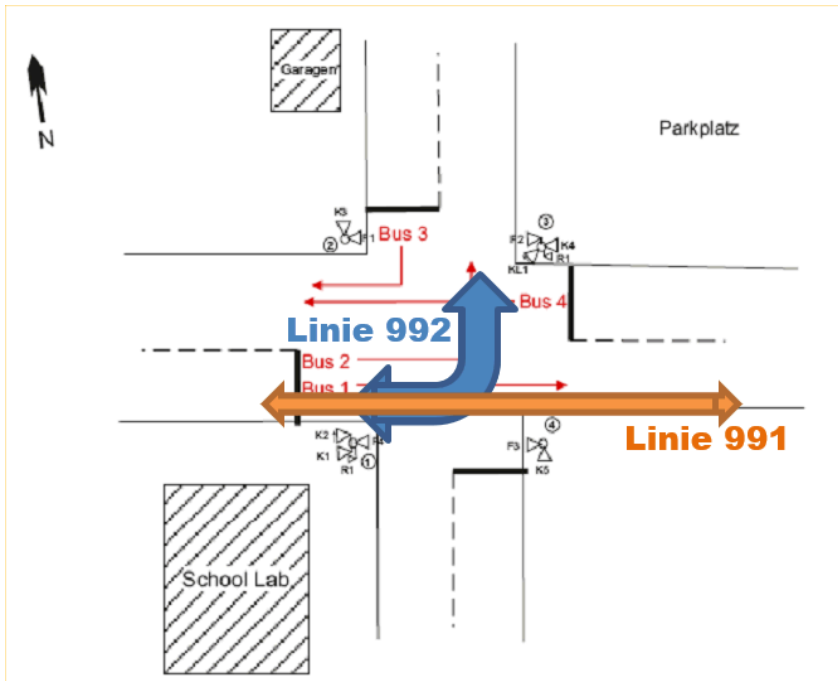


Abbildung 35: Testaufbau DLR-Gelände

Aus den Testergebnissen und deren Auswertungen entstanden Fehlerkorrekturen und Verbesserungen in der eingesetzten Software.

Anfängliche Probleme z.B. mit unstimmgigen Zeitstempeln, ungenauen Positionsdaten konnten ausgeräumt werden. Als wichtig hat sich eine genaue Zeitsynchronisation auf allen beteiligten Geräten erwiesen. Abweichungen von mehr als 1-2 Sekunden führen zu Verarbeitungsproblemen, da die Anmeldungen auf kurze Latenzen angewiesen sind und dies auch überprüfen. Es ist aber eher ein organisatorisches als ein technisches Problem, jeweils den Abgleich mit einem Zeitserver einzurichten.

Letztlich wurden alle Schnittstellen erfolgreich getestet. Durch den Aufbau der Test-LSA auf dem DLR-Gelände und der Ausstattung eines DLR-Testfahrzeugs (VW-Bus) mit allen erforderlichen Geräten (OBU für ITCS und CAM, Smartphone) konnten realistische und vollständige Tests durchgeführt werden, bei denen alle Komponenten zum Einsatz kamen.

6.2.4.3. Smart Traffic Center

Die Komponente des Smart Traffic Center für die ÖV-Priorisierung wurde um eine prototypische GUI erweitert. Diese GUI dient der Analyse und der Qualitätssicherung für die Anmeldung der ÖV-Fahrzeuge. Die GUI wurde beim DLR installiert und für die Analyse der Tests eingesetzt.

Die GUI wurde mit Webtechnologie ausgeführt, so dass sie bei freigeschaltetem Zugriff ohne lokale Installation über einen Browser aufgerufen werden kann. Sie zeigt die aktuell in der Zentrale nachverfolgten Fahrten und die zugehörigen Positionsmeldungen und ggf. versendeten Anmeldungen.

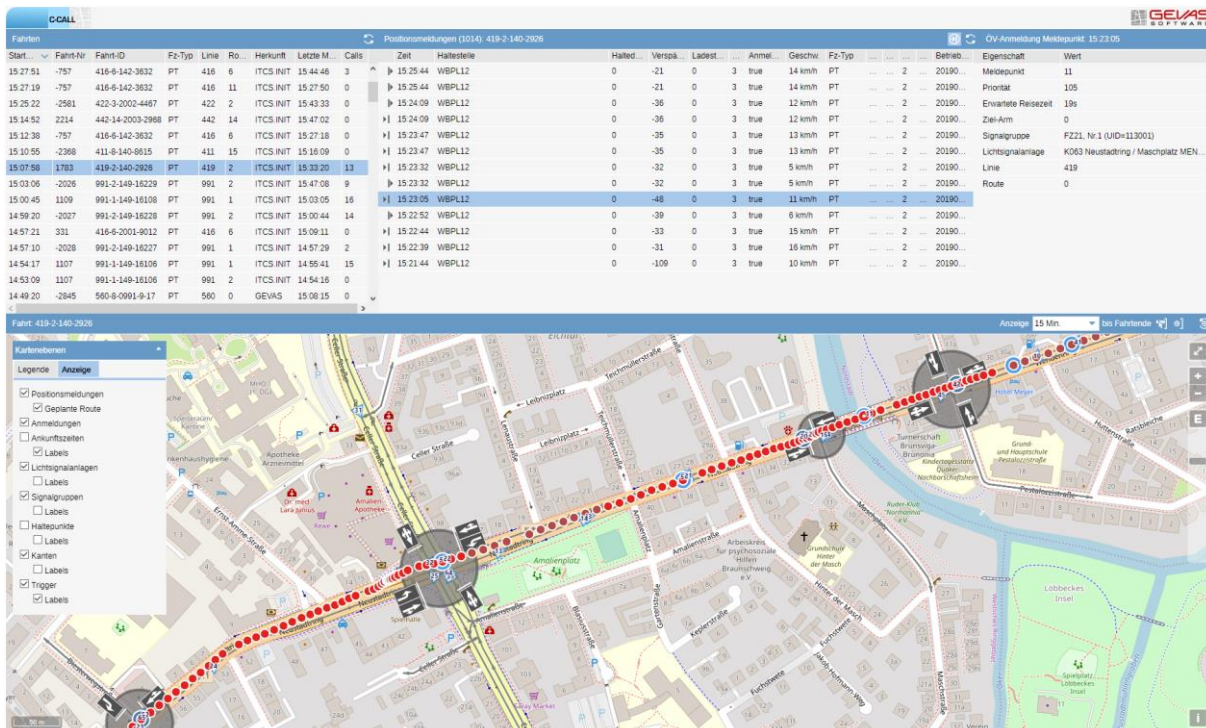


Abbildung 36: Prototypische GUI der ÖV-Priorisierung mit Fahrtenliste (links oben), ausgewählter Fahrt (unten) und gesendeten Meldungen (rechts oben)

Es wurden ÖV Priorisierungsregeln im Smart Traffic Center eingerichtet, um die geplanten Tests durchführen zu können. Dabei wurden unter anderem Linien, Verspätungsgrad und Tageszeiten unterschieden, um die zu verwendenden Prioritäten festzulegen. Die Priorisierungsregeln waren zuvor im Rahmen der Erstellung des ÖV-Konzepts mit allen Beteiligten (Stadt Braunschweig, Bellis und den Braunschweiger Verkehrsbetrieben) abgestimmt worden.

Der erweiterte VIAP CROSSIG mit dem Steuerungsverfahren TRENDS wurde für die Planungen der Testanlage am DLR und die zwei TRELAN-gesteuerten LSA in Braunschweig eingesetzt.

6.2.4.4. Lichtsignalanlage

Für die Systemintegration wurde das bereits im Steuergerät implementierte Steuerungsverfahren für verschiedene Knoten versorgt (parametriert). Dafür wurden mit dem für das Projekt erweiterten VIAP CROSSIG insgesamt drei knotenspezifische Planungen durch einen Verkehrsingenieur erstellt. Mit diesen drei Planungen wurden drei Steuergeräte von AVT STOYE projektiert und in Betrieb genommen. Ein Steuergerät wurde für das Testgebiet auf dem Gelände des DLR (Abbildung 37) genutzt. Da es sich hier um ein Privatgelände handelt, waren keine weiteren Schritte, insbesondere behördliche Freigaben notwendig. Die anderen zwei Steuergeräte wurden im Stadtgebiet Braunschweig in Betrieb genommen, also im öffentlichen Raum im Realbetrieb. Daher mussten die Planungen dieser beiden Steuergeräte durch die Stadt Braunschweig freigegeben werden. Die Freigabe erfolgte vorab auf Basis der Papierlage und später im Rahmen eines Ortstermins auf der Kreuzung. Die erweiterten Eigenschaften des Steuerverfahren wurden dann in Zusammenhang mit dem Systemverbund im Realbetrieb geprüft. Im Verlauf des Projektes gab es mehrere Iterationsschritte, bei denen die Planungen knotenspezifisch nachjustiert und optimiert worden sind.



Abbildung 37: LSA auf dem Gelände des DLR (Copyright IKT III Annette Hornischer)

6.2.4.5. Smartphone-App

Die Entwicklung der Smartphone-App für die ÖV-Fahrer-Assistenz musste im Zuge der Inbetriebnahme noch ergänzt werden. Um die netzwerktechnischen Sicherheitsanforderungen beim DLR Netzwerk zu erfüllen, wurde die Smartphone-App erweitert, so dass sie mit ausgewählten SSL-Zertifikaten arbeitet, welche vom DLR vergeben werden.

Das Server-Backend für den ÖV-Fahrer-Assistenten und die von der App benötigten Services für die Client-Server-Kommunikation wurden ebenfalls noch mal erweitert, damit der Fahrer des ÖV-Fahrzeugs keine Routeninformation eingeben muss. Die passende Route wird jetzt automatisch gesucht.

Fünf Smartphones wurden mit der App eingerichtet und mit zusätzlichen beschafften Halterungen und Stromanschlüssen (Adapter USB/Bordnetz) in Bussen platziert und in Betrieb genommen.

Dazu wurden Busse gewählt, die bevorzugt auf den Routen 450 und 560 unterwegs sind. Diese Routen bewegen sich zwischen der Stadt Braunschweig und ihrer Umgebung. Sie zweigen am Amalienplatz nach Süden von der Ringstraße ab. Damit ergänzen sie das Test-



feld der Ringlinien 419 und 429 in idealer Weise. Die Inbetriebnahme verlief problemlos und es gab mit der App und den Smartphones in den Bussen keine Probleme.

Die einzige größere Schwierigkeit ergab sich durch ein Update des Apache-Webserver auf DLR-Seite (Bestandteil der allgemeinen Kommunikations-Infrastruktur). In der neuen Apache-Version war ein Fehler in der Zertifikatsprüfung enthalten, der die Bearbeitung der verschlüsselten Kommunikation behindert und zu starken Verzögerungen in den Kommunikationsabläufen geführt hat. Der Fehler konnte identifiziert und durch Austausch der Apache-Version behoben werden. Anschließend wurden die Positionsdaten der in den Bussen befindlichen Handys wieder korrekt und zeitnah übertragen.

6.2.4.6. LSA-GUI auf dem Bordrechner

Für den Feldtest waren ohnehin vier INIT-Bordrechner in Fahrzeugen der BSVG verbaut, um bspw. die Positionsdaten und Fahrzeuginformationen an die ITCS-Zentrale zu übermitteln. Zudem war auch bereits für die Anmeldung des Fahrers ein Fahrerdisplay im Cockpit erforderlich. Die entwickelte GUI konnte stellte daher eine Softwareerweiterung für die eingesetzten Bordrechner da und wurde auf den Fahrerdisplays der INIT angezeigt, sobald das Fahrzeug in Bewegung war.

6.3. Feldtest, Simulation und Bewertung

6.3.1. Erprobung des Gesamtsystems in Simulation und im Feld

6.3.1.1. Vorbereitung der Simulation (TP Smart Grid)

Im Rahmen des Projekts wurden vom DLR verschiedene Vorgehensweisen erarbeitet, um die Software SUMO (Simulation of Urban Mobility; www.sumo.dlr.de) im Forschungsprojekt MENDEL als Testhilfsmittel von Einzelkomponenten des MENDEL-Gesamtsystems zu nutzen. U.a. wurde im Rahmen der Erhebung und Auswertung von empirischen Verkehrsdaten mithilfe des Verkehrsnachfragemodells TAPAS (www.dlr.de/vf/tapas) des DLR-Instituts für Verkehrsforschung eine aktuelle Verkehrsnachfrage für die Stadt Braunschweig erzeugt und in der SUMO-Simulation für Braunschweig hinterlegt. Darüber hinaus stellten die Braunschweiger Verkehrsbetriebe ihre VDV 452 Betriebsdaten aus deren RBL-System (Rechnergestütztes Betriebsleitsystem) bereit. Diese Daten wurden von INIT aufbereitet und in die Simulation importiert, um das aktuelle Betriebskonzept einschließlich Fahrplänen, Umläufen und Haltestellen möglichst realitätsnah abzubilden. Die Eigenschaften der eingesetzten Elektrobusse sowie der vorhandenen und geplanten Ladeinfrastruktur wurden ebenfalls in SUMO implementiert (s. Abbildung 38). Hierfür war eine Erweiterung des „Electric Model“ (<http://sumo.dlr.de/wiki/Models/Electric>) in SUMO notwendig.

In 2018 wurden darüber hinaus praxisrelevante Simulationstestszenarien mit den Projektpartnern abgestimmt, um mit deren Hilfe einzelne Komponenten des MENDEL-Gesamtsystems in der Verkehrssimulation auf ihre Funktionsfähigkeit zu prüfen. Im Anschluss wurde das „Busbetriebsleitsystem“ (ITCS) von INIT mit Hilfe einer im Projekt von INIT entwickelten Software mit der SUMO-Simulation gekoppelt. Diese Software entnimmt der Simulation die benötigten Daten wie bspw. den aktuellen Ladezustand über die TraCI-Schnittstelle (<https://sumo.dlr.de/docs/TraCI.html>), bereitet sie entsprechend auf und leitet sie über SIRI-VM ans ITCS weiter. Umgekehrt empfängt SUMO die Ladeempfehlungen vom ITCS, die ursprünglich vom Lastmanagement stammen.

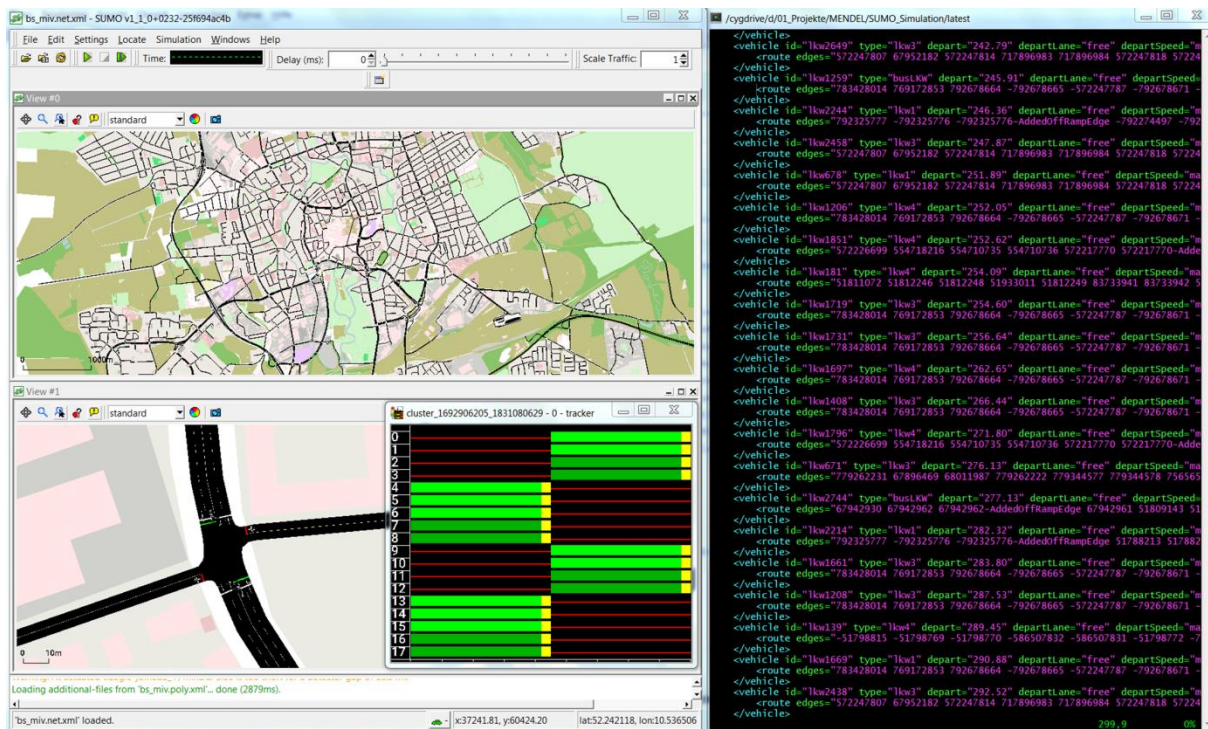


Abbildung 38: SUMO-Simulation von Braunschweig mit Auswertung von Elektrobus-Kennwerten

6.3.1.2. Durchführung der Simulation (TP Smart Grid)

Mithilfe dieser Softwareentwicklungen konnten zwei Szenarien erfolgreich getestet werden:

1. Vermeidung eines durch Umweltfaktoren verursachten Liegenbleibens eines Busses

Aufgrund von Umweltfaktoren sowie einem hohen Verkehrsaufkommen kann bei normalem Fahrplanbetrieb ein Elektrobus seinen geplanten Umlauf nicht mehr vollständig realisieren. Das Lastmanagement greift ein und übermittelt dem ITCS entsprechend verlängerte Ladevorgangsempfehlungen, die das ITCS in dispositive Maßnahmen übersetzt und an das Fahrzeug überträgt.

In der Simulation wurde dazu der Ladezustand eines Fahrzeugs verringert. Da mit diesem Ladezustand und den geplanten Ladevorgängen ein Liegenbleiben des Fahrzeugs vorprogrammiert gewesen wäre, wurden Empfehlungen für ein längeres Laden an das Fahrzeug übermittelt. Das Fahrzeug ist dieser Ladeempfehlung gefolgt, hat länger zwischengeladen und konnte im weiteren Verlauf seines Umlaufs den Ladezustand über der vorher definierten kritischen Marke von 30 % halten.

2. Vermeidung von Lastspitzen

Durch Verspätungen führt das ursprünglich geplante Laden einer E-Busflotte zu Lastspitzen. Das Lastmanagement übermittelt Ladevorgangsempfehlungen an das ITCS die auch darin bestehen können, das ein bestimmtes Fahrzeug erst bei einer späteren Gelegenheit seinen Ladevorgang nachholt. Das ITCS nimmt diese Empfehlungen je nach Auswirkung auf den Fahrplan an oder lehnt sie ab. Die Empfehlungen vermeiden Lastspitzen an einem Netzanschlusspunkt.

Im konkreten Test hätten die Umläufe 9 und 84 der BSVG parallel um 15:06 Uhr laden sollen. Zur Vermeidung von Lastspitzen wurde die Ladeempfehlung für Umlauf 84 auf 0 Sekunden gesetzt. Das Fahrzeug erhielt diese Ladeempfehlung über das



ITCS, ist ihr gefolgt und hat entsprechend entgegen des ursprünglichen Plans nicht geladen.

Diese Tests wurden von INIT und IFAK am Dienstag, 18. Juni 2019 von 14 bis 18 Uhr auf Basis des Fahrplans der BSVG für die Tagesart Montag-Donnerstag durchgeführt.

6.3.1.3. Vorbereitung und Durchführung des Feldtests (TP ITS)

Der Feldtest fokussierte das Teilziel 4 „Optimale Fahrstrategie“. Dabei gliedert sich der durchgeführte Feldtest in zwei Teile. Zum einen wurde auf dem DLR-Testgelände Feldtests unter Idealbedingungen sowie Tests der Systemkomponenten und Reichweitenmessungen mit DLR-Fahrzeugen durchgeführt (s. Abbildung 39 und Abbildung 40). Zum anderen haben Feldtests im Stadtgebiet Braunschweig unter realen Bedingungen mit Linienbussen im Normalverkehr stattgefunden. Im Stadtgebiet war es möglich insgesamt zwei Wochen (vom 18. August bis zum 1. September 2019) Realdaten für die Bewertung des Systems zu sammeln.

DLR-Standort Braunschweig

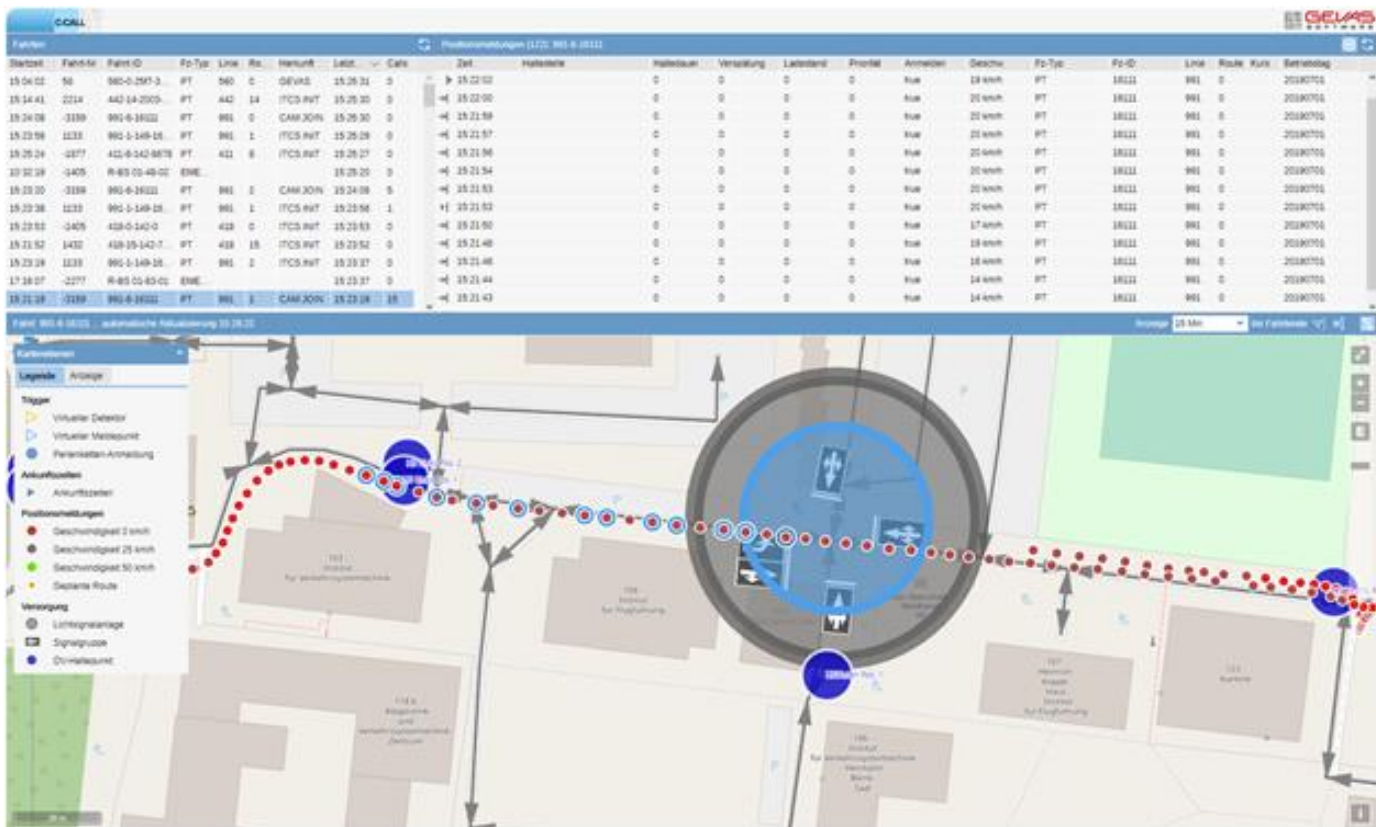


Abbildung 39: DLR-Testgelände mit ÖPNV-Fahrtverlauf



Abbildung 40: Testkreuzung mit Lichtsignalanlage und Forschungsfahrzeug des DLR

AIM Stadt Braunschweig

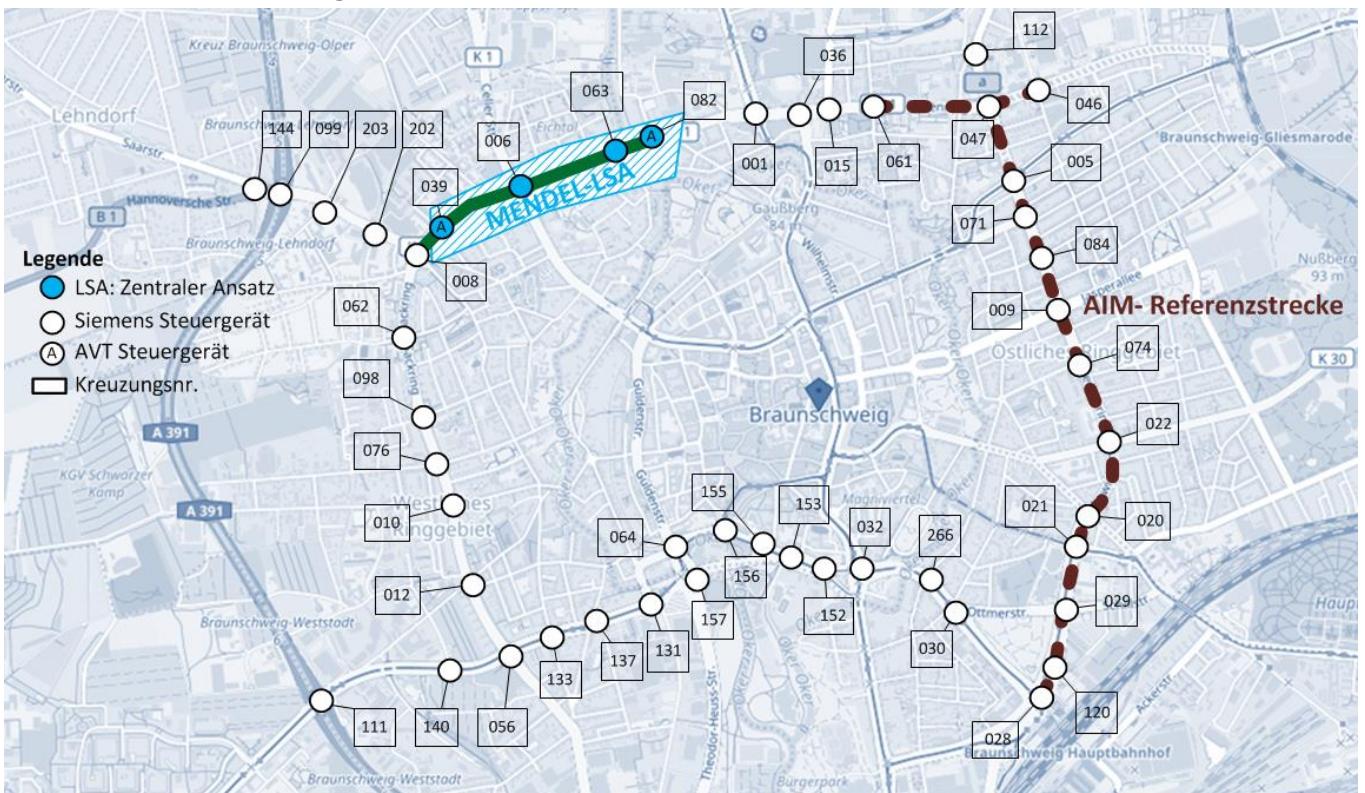


Abbildung 41: MENDEL-Testfeld innerhalb der Großforschungsanlage Anwenderplattform Intelligente Mobilität (AIM) des DLR im Stadtgebiet von Braunschweig

Die vier Testkreuzungen liegen im AIM-Testfeld von Braunschweig auf dem nördlichen Braunschweiger Ring (s. Abbildung 41). Um neue Erkenntnisse zu erlangen und die Herstel-



lerunabhängigkeit bei den LSA-Komponenten zu testen, wurden 2 SIEMENS-LSA und 2 AVT SOTYE-LSA für den Test genutzt:

- LSA Wendenring / Tunicastraße (K082) (AVT Stoye)
- LSA Neustadtring / Maschplatz (063) (Siemens)
- LSA Amalienplatz (K006) (Siemens)
- LSA Neustadtring / Diesterwegstraße (K039) (AVT Stoye)

Mehrere Busse wurden mit verschiedene OnBoardUnits (Car2X vom DLR und ITCS-OBU der INIT) und mit Smartphones (GEVAS) ausgestattet:

- Zwei Elektrobusse und zwei Dieselsebusse mit OBU's (Buslinien 419, 429 und 416) sowie
- vier Busse mit Smartphones (Buslinien 450 und 560).

Nachfolgend werden die Anforderungen sowie die Auswahl der Varianten aufgeführt, die für den Testbetrieb folgender Komponenten für MENDEL im Stadtgebiet Braunschweig und auf dem Testgelände des DLR relevant waren:

- Smart Traffic Center
- Verkehrsrechner MENDEL
- Steuergerät MENDEL
- Bestands-Verkehrsrechner
- Bestands-Steuergeräte

Abbildung 42 gibt einen Überblick über mögliche Varianten bezüglich der Einbindung der Steuergeräte und Dienste.

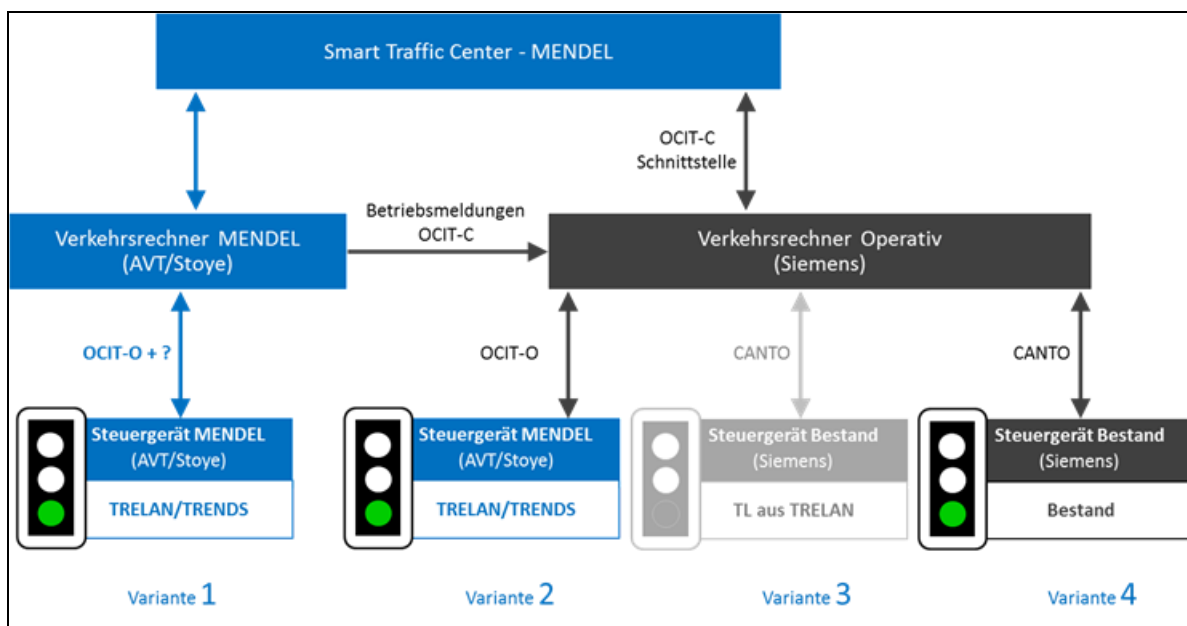


Abbildung 42: Mögliche Varianten für den Feldversuch in Braunschweig

Die Umsetzung der Variante 1 im Braunschweiger Stadtgebiet war aufgrund der vertraglichen Verpflichtung der BELLIS der Stadt gegenüber nicht möglich. Die Variante 1 konnte daher nur auf dem Testgelände des DLR erfolgen. Es wurde beschlossen, dass die Variante



2 im Stadtgebiet weiterverfolgt wird, um die MENDEL-Steuergeräte von AVT STOYE an den Bestands-Verkehrsrechner (VR; Siemens, Typ „Scala“) anzuschließen. Bei der Einbindung der Bestands-Steuergeräte wurde Variante 4 weiterverfolgt. Die Variante 3 wurde aufgrund des hohen Aufwandes und der damit verbundenen Kosten nicht weiter berücksichtigt.

Die Schnittstelle OCIT-C für die Betriebsmeldungen zwischen dem Verkehrsrechner MENDEL und dem Bestands-Verkehrsrechner konnte entfallen, da die beiden Systeme keine direkte Kopplung benötigten (Variante 1 findet nur auf dem Testgelände statt, s. o.).

6.3.2. Bewertung der Ergebnisse

6.3.2.1. Teilprojekt ITS

Die nachfolgende Auswertung wurde auf Grundlage von GPS-Daten, Car2X-Protokollen und LSA-Daten aus dem Smart Traffic Center durchgeführt. Für Aussagen zum allgemeinen Verkehr (MIV) wurden strategische Schleifen der Stadt Braunschweig ausgewertet.

Funktionstest der Systemkomponenten

Der geplante Gesamtsystemtest im Teilprojekt ITS wurde erfolgreich durchgeführt. Die Vernetzung und damit der Datenaustausch der verschiedenen und bisher unabhängigen IT-Systeme (ITCS, OBU, RSU/IRS, STC, VSR, LSA, Smartphone-App) ist gelungen. Abbildung 43 veranschaulicht dazu die Komplexität des Gesamtsystems, die einzelnen Komponenten sowie die zur Kopplung genutzten Schnittstellen. Ebenso waren die Tests der Bevorrechtigung verschiedener Busse mit ITCS, Smartphone-App oder über V2X erfolgreich. Bei der Priorisierung mittels der ITCS- und STC-Kopplung konnte auch die Rückmeldung der Schaltzeitprognose sowie des aktuellen LSA-Status an den Busfahrer im Feld umgesetzt werden (s. Abbildung 34).

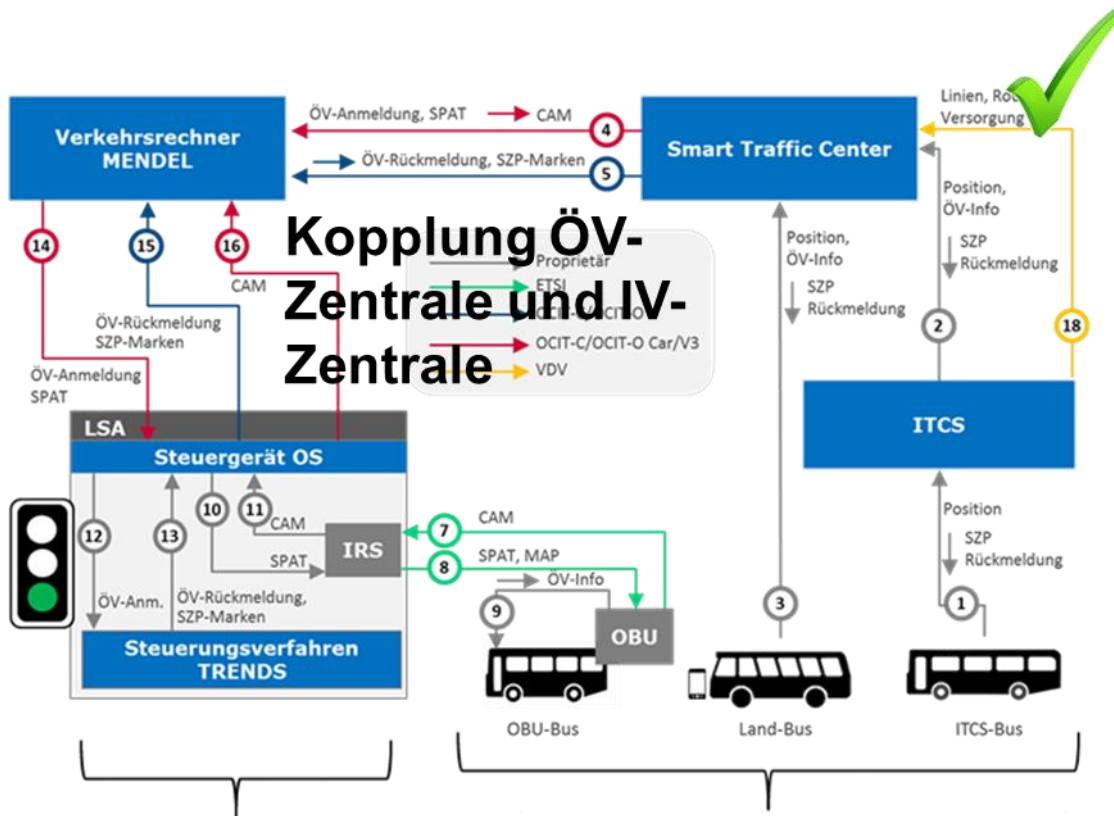


Abbildung 43: Übersicht der Gesamtsystemkopplung (Kopplung "ÖV- und IV-Zentrale")

Reichweitenmessung Car2X-Kommunikation (CAM/SPAT)

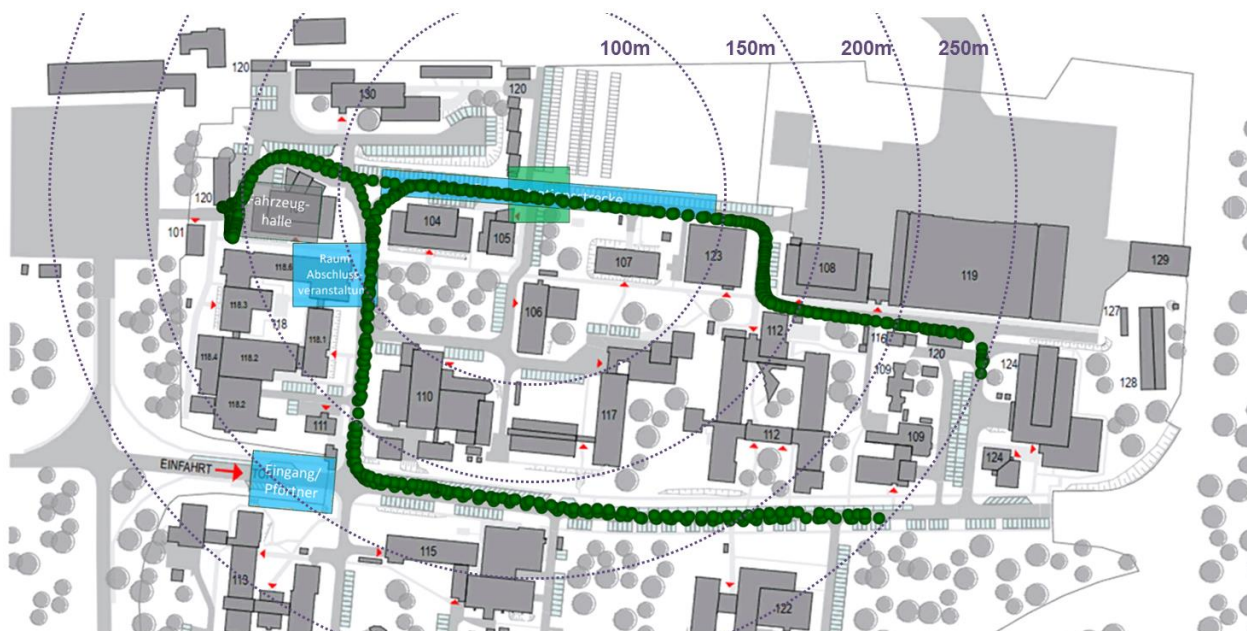


Abbildung 44: Übersicht der Reichweitenmessung der Car2X-Kommunikation

Wie in Abbildung 44 dargestellt ergab die Reichweitenmessung für die Car2X-Kommunikation mit der DLR-OBU ca. 250m in einem Bereich mit Bebauung. Diese Reichweite ist im Rahmen des Projekts MENDEL vollkommen ausreichend. Ohne Bebauung bzw. mit geringerer Bebauungsdichte und Bebauungshöhe sind deutlich größere Reichweiten zu erwarten.

Latenzauswertung Car2X-Kommunikation

Die Latenz der CAM-Nachrichten aus der Car2X-Kommunikation liegt im Mittel über die Testzeit von 14:11 bis 14:23 Uhr bei ca. 0,12s. Interessanterweise gab es einmal einen „Stau“ von ca. 8s (um 14:15:00 herum), der für das Maximum von 7,9s sorgt (s. Abbildung 45). Die Ursache hierfür konnte nicht abschließend ermittelt werden. Hier sollten bei ähnlichen Umsetzungen oder Projekten weiterführenden Test durchgeführt werden.

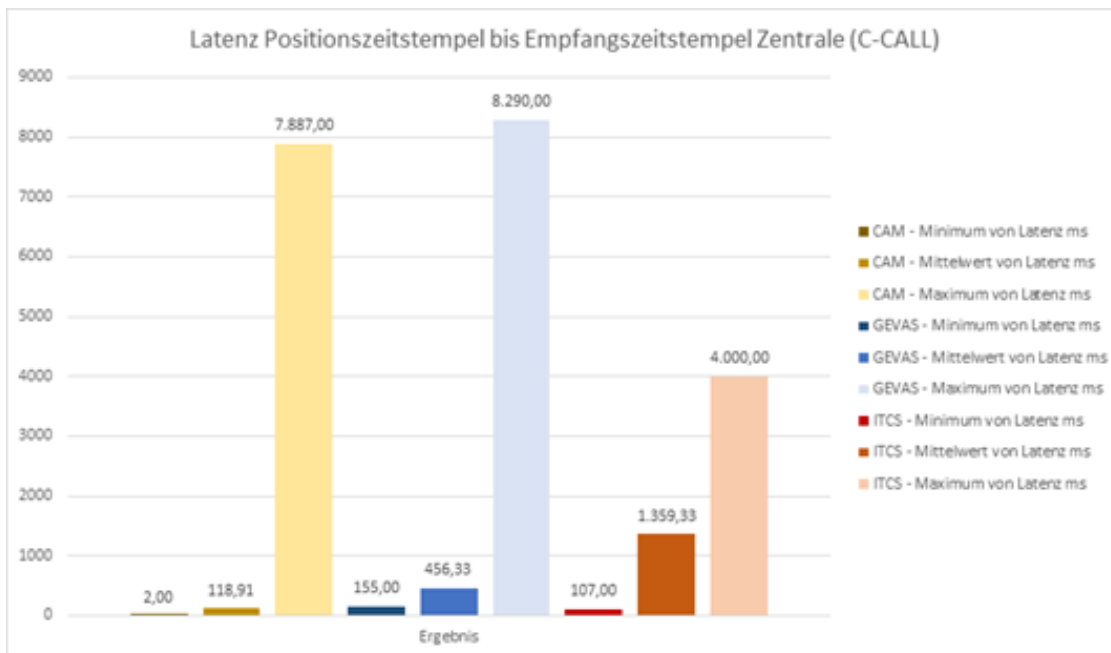


Abbildung 45: Gemessene Latenzzeiten bei CAM-Nachrichten

Vergleich Verlustzeiten/Wartezeiten der Busse an den LSA

Die Wirkungsweise der operativen Aspekte im Sinne einer optimalen Fahrstrategie sind im idealisierter Fahrtverlauf des nachfolgenden Zeit-Weg-Diagramms (s. Abbildung 46) dargestellt. In diesem Diagramm ist zudem der Signalisierungszustand sowie die ÖPNV-abhängige Freigabezeitanpassung sichtbar. Weithin wird ersichtlich, dass energieintensive Abbrems- und Anfahrvorgänge an Lichtsignalanlagen für die Elektrobusse vermieden werden konnten. Lediglich an den Haltestellen werden diese in der Darstellung notwendig.

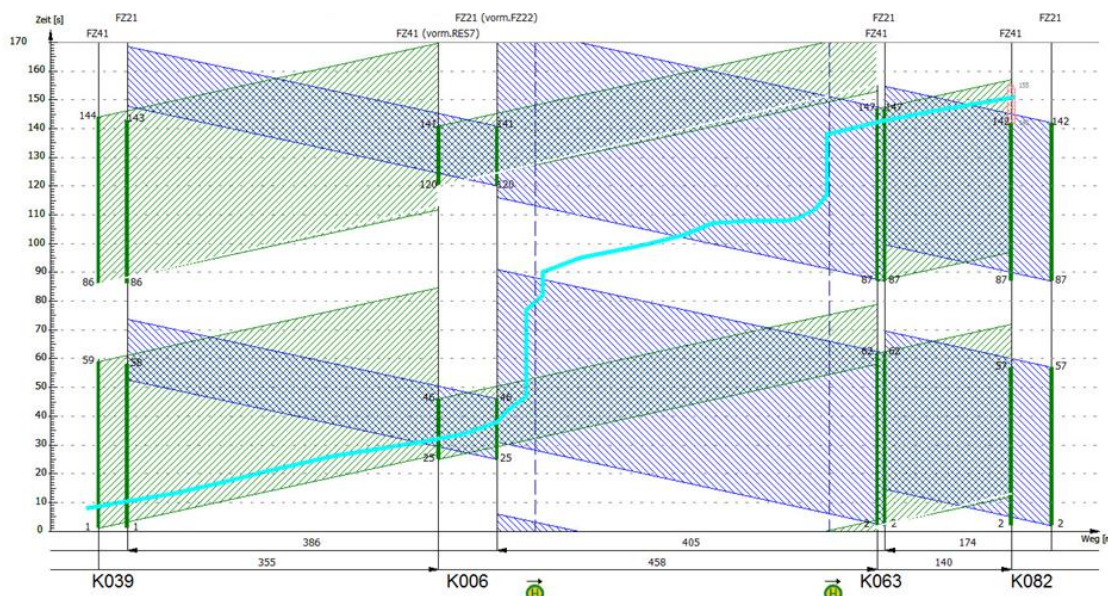


Abbildung 46: Zeit-Weg-Diagramm mit idealisiertem Fahrtverlauf und Freigabezeitanpassung an LSA

Die Ergebnisse der Auswertung zeigen für die betrachteten Elektrobusse eine geringere Reisezeiten gegenüber dem Bestand (s. Abbildung 47). Eine höhere Varianz ist jedoch auch



erkennbar. Damit macht sich die Bevorrechtigung der Busse an den Lichtsignalanlagen deutlich bei Reisezeit und Geschwindigkeit bemerkbar.

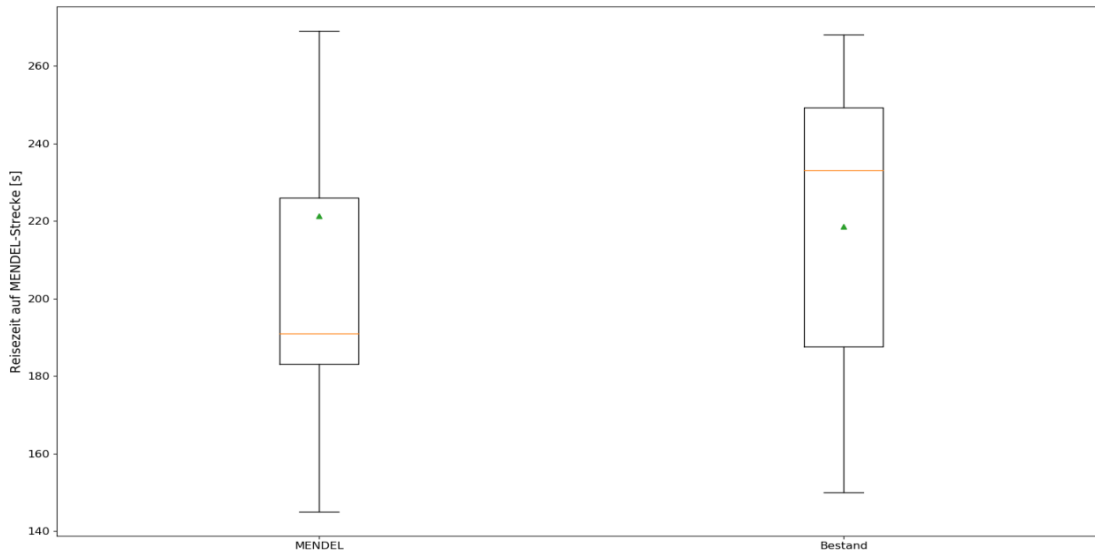


Abbildung 47: Boxplot (mit Median, Quantilen und Extremwerten) der Reisezeit der Elektrobusse im Feldtestbereich

Im folgenden Zeit-Weg-Diagramm (Abbildung 48) sind die Geschwindigkeitsverläufe von allen erfassten Busse mit aktivem MENDEL-System und im Bestand dargestellt. Auch hier zeigen sich Verbesserungen bei der Geschwindigkeit. Die durchgehende Linie spiegelt den Mittelwert wieder und die Fläche die zugehörige Streuung der Messwerte.

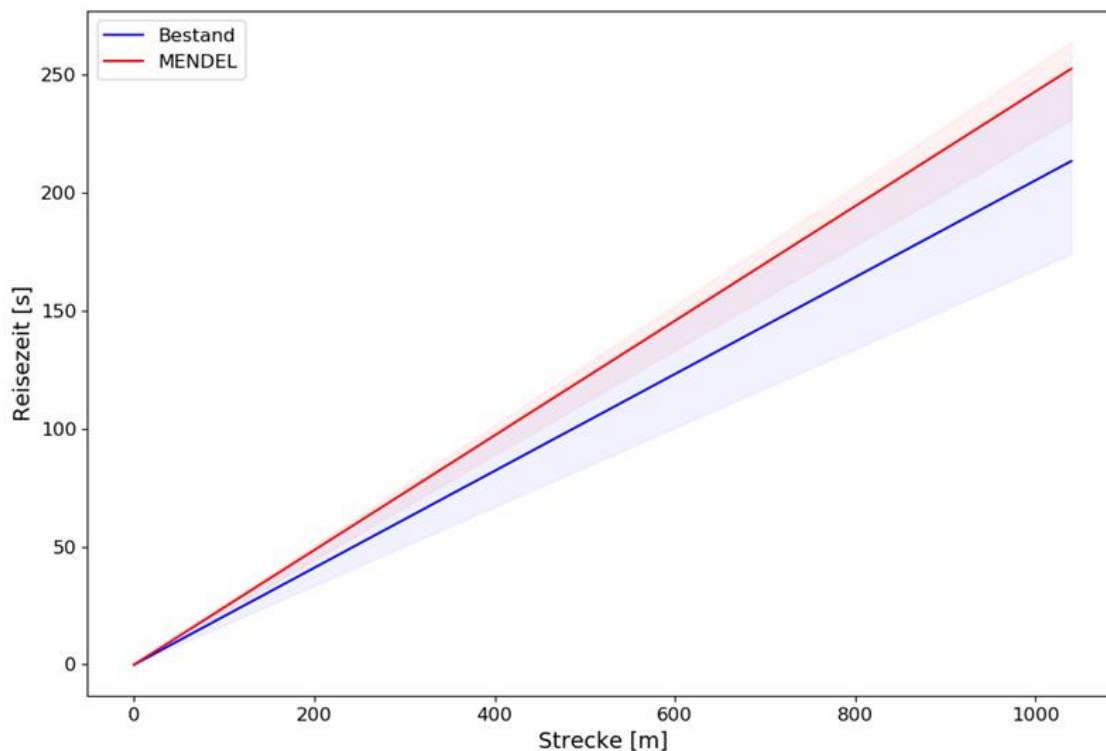


Abbildung 48: Zeit-Weg-Diagramm mit Geschwindigkeitsverlauf (Mittelwert und Streuung)

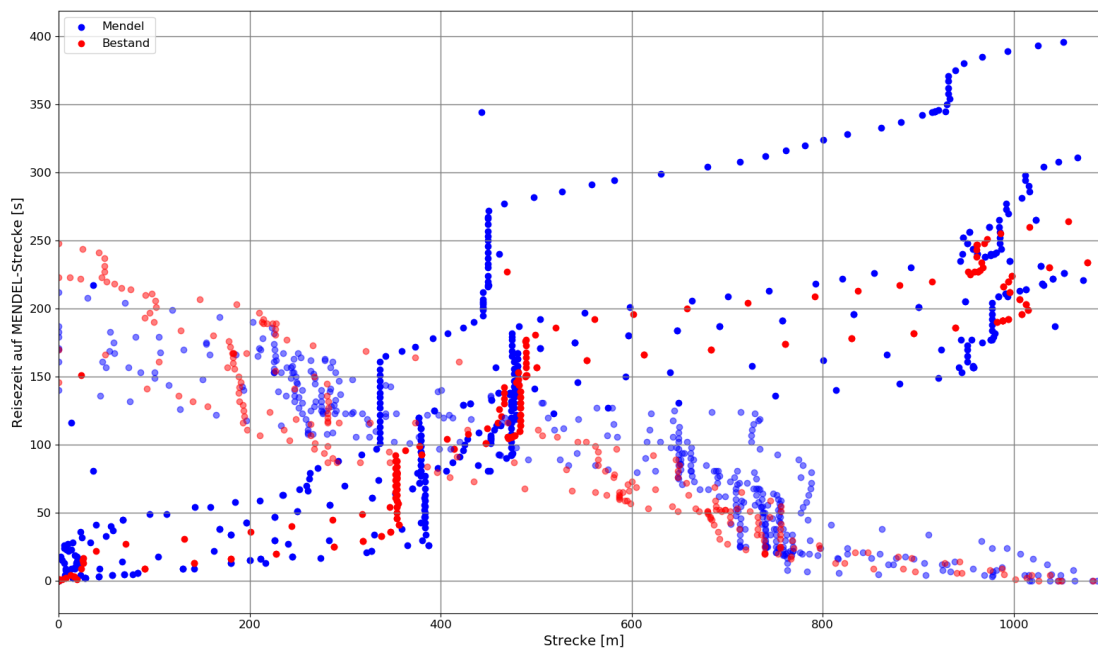


Abbildung 49: Detailliertes Zeit-Weg-Diagramm mit Einzelwerten (Hin- und Gegenrichtung)

Bei genauerer Betrachtung der Einzelwerte (s. Abbildung 49) wird deutlich, dass auch „Ausreißer“ mit einer hohen Reisezeit auftreten. Es konnte die Umstände dieses Auftretens allerdings nicht nachvollzogen werden. Weiterhin wird deutlich, dass die Größe der Stichprobe lediglich eine Tendenz erahnen lässt, jedoch für fundierte Aussagen zu klein war.

Vergleich Geschwindigkeit der Busse

Die Ergebnisse der Auswertung zeigen für die betrachteten Elektrobusse eine geringere mittlere Geschwindigkeit gegenüber dem Bestand (s. Abbildung 50). Ähnlich wie bei der Reisezeit ist eine größere Streuung der Werte zu erkennen. Damit macht sich die Bevorzugung der Busse an den Lichtsignalanlagen deutlich bei Reisezeit und Geschwindigkeit bemerkbar.

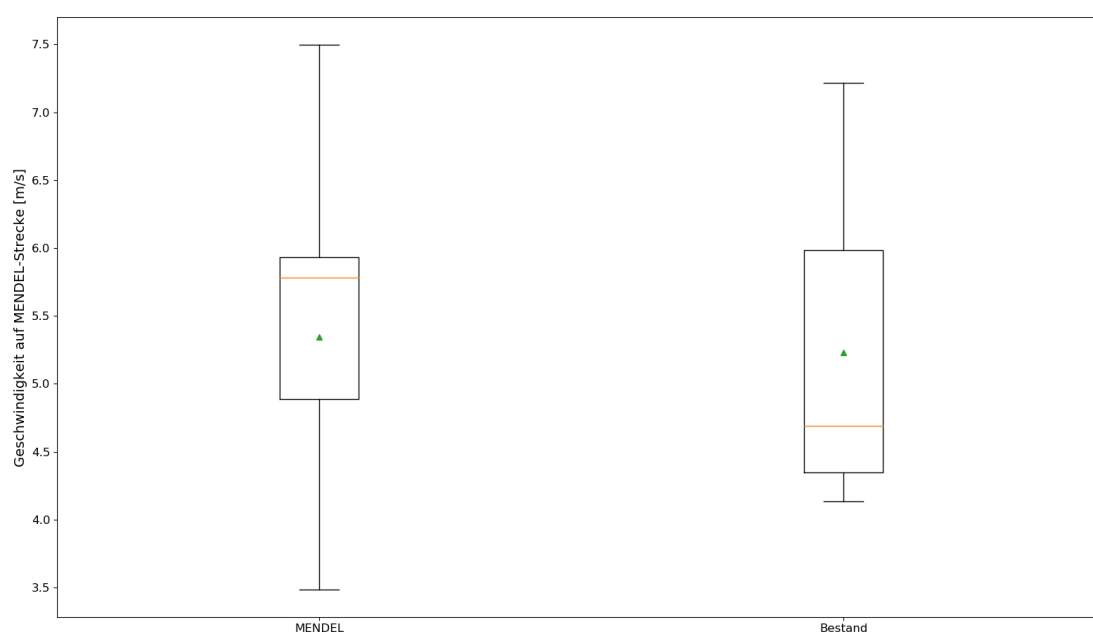


Abbildung 50: Geschwindigkeitsvergleich der Busse im Feldtest



Vergleich Energieverbrauch (rechnerisch) der Busse

Anhand der GPS-Daten und der daraus vorhandenen Fahrzeugtrajektorien wurde „simulativ“ der jeweilige Energieverbrauch der Elektrobusse ermittelt. Hierzu wurde das Simulationsprogramm SUMO mit den implementierten Erweiterungen des „Electric del“ (<http://sumo.dlr.de/wiki/Models/Electric>) verwendet und die Fahrzeugtrajektorien eingespielt. Es ergeben sich daraus in den beiden Testwochen für den Abschnitt des MENDEL-Testfeldes die Durchschnittswerte für die Energieverbräuche von 298.76 Wh/s (MENDEL) und 355.94 Wh/s (Bestand). Auch hier zeigt sich eine Reduktion mit laufendem MENDEL-System.



6.3.2.2. Einordnung

Das Projekt MENDEL ist durch einen integrativen Ansatz gekennzeichnet, der die zwei bislang separat betrachteten Domänen Intelligenter Verkehrssysteme (ITS) und Smart Grid zusammenfasst. Hierbei werden die aus einer ganzheitlichen Optimierung dieser bislang separat betrachteten Aspekte resultierenden Potenziale gehoben.

Das Erreichen der Teilziele der strategischen und taktischen Ebene wurde in den Simulationsstudien, die dem Feldtest vorausgegangen sind, untersucht und nachgewiesen. Ein Test dieser beiden Ebenen im Feld hätte den Rahmen des Projekts MENDEL gesprengt, da sowohl die organisatorischen Aufwände als auch die baulichen Aufwände bei den Verkehrsbetrieben weder zeitlich noch finanziell in diesem Projekt vollumfänglich abbildbar gewesen wären.

Die Feldtests konzentrierten sich deshalb auf die Erreichung des Teilziels der optimalen Fahrstrategie im Betrieb (operative Ebene). Auf die Erreichung der angestrebten übergeordneten Projektziele wirkt sich generell ein möglichst geringer Energiebedarf der Busse begünstigend aus. Um insbesondere im Stadtverkehr häufige Halte gefolgt von energieintensiven Anfahrvorgängen an Lichtsignalanlagen zu vermeiden, sollte durch den Einsatz von IKT eine Reduktion dieser Anfahrvorgänge der Busse mit Hilfe des Verkehrsmanagements erfolgen.

Dieses Ziel konnte mit den in den vorangegangenen Auswertungen dargestellten Ergebnissen grundsätzlich erreicht werden. Auch wenn der Feldtest nur eine kleine Stichprobe des Gesamtverkehrssystems darstellt, können dennoch positive Effekte des MENDEL-Systems abgeleitet werden. Gegenüber dem Stand der Technik ist die Vernetzung bisher getrennter Verkehrsmanagementsysteme (ITCS und LSA) ein sehr positiv hervorzuhebender integrativer Ansatz und folgt dem aktuellen Trend der Digitalisierung und Vernetzung.

Im Feldtest konnte u. a. der positive Effekt auf die Reisezeit und den Energiebedarf der Elektrobusse durch operative Maßnahmen nachgewiesen werden. Sowohl MENDEL als Gesamtsystem als auch die im Forschungsprojekt entwickelten Einzelkomponenten können die Effektivität beim Einsatz von Elektrobussen in Verkehrsunternehmen verbessern und somit die Elektrifizierung der ÖPNV-Flotten vorantreiben.



7. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Einführung von Elektrobussen insbesondere im ÖPNV von großen Städten wird als wichtiger Beitrag zur Luftreinhaltung, Reduzierung der Lärmemissionen sowie Klimaschutz gesehen. Bei geeigneter Dimensionierung und angepassten Betriebsstrategien sind zudem Energieeinsparungen möglich. In mehreren großen Städten in Deutschland ist ein hundertprozentiger Umstieg auf Elektrobusse bereits ausgemachte Sache.

Aus den vorgenannten ökologischen, vor allem aber aus ökonomischen Erwägungen seitens der Kommunen und Verkehrsunternehmen heraus ergibt sich jedoch die Notwendigkeit, Ladeinfrastruktur, Busbetrieb und Energieverbrauch zu optimieren. Das gilt insbesondere für die großen Elektrobusflotten der Zukunft. (s. Kapitel 1)

Im Rahmen von MENDEL wurden für diese Optimierungsbedarfe von morgen, wie im vorangegangenen Kapitel vorgestellt, schon heute gleich mehrere IKT-Lösungen entwickelt und als integriertes System erfolgreich getestet. Kern ist dabei die sektorübergreifende Verknüpfung des ÖPNV-Leitsystems mit Systemen der Energieversorgung einerseits und der Verkehrssteuerung einer Stadt andererseits.

Die Optimierungs-Algorithmen sind dabei nicht an die in Braunschweig vorzufindende Lade-strategie gebunden: Die Herausforderungen sind sowohl hinsichtlich der Planung, als auch der Echtzeitsteuerung im Betrieb bei Depotladen, Laden an Endhaltestellen oder Laden auf der Strecke grundsätzlich dieselben.

Zur erfolgreichen Umsetzung des Vorhabens waren zahlreiche Schnittstellen zwischen den Partnern aber auch zu Dritten erforderlich. Diese werden auch relevant, wenn die Industriepartner ihre Teillösungen zu Produktreife weiterentwickeln und mit Systemen anderer Hersteller verbinden wollen. Schon zu Beginn der Projektarbeit wurde jedoch festgestellt, dass standardisierte Schnittstellen mit den benötigten Elektromobilitäts-Funktionalitäten noch nicht zur Verfügung stehen. In MENDEL wurde daher auf bestehende Schnittstellenstandards zurückgegriffen, die entsprechend im Rahmen der jeweiligen Spezifikation weiterentwickelt wurden. Diese Arbeit bietet eine hervorragende Basis für die spätere wirtschaftliche Verwertung der entstandenen Prototypen.



8. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit

Der voraussichtliche Nutzen und die Verwertbarkeit des Projekts stellen sich zum einen durch das erfolgreich getestete MENDEL-Gesamtsystem selbst dar. Zum anderen sind aber auch im Projekt erarbeitete Teilkomponenten unabhängig voneinander nützlich und verwertbar. Diese Teilkomponenten bestehen vor allem aus:

- Werkzeug für die Lagebestimmung und die Kostenermittlung neuer **Ladeinfrastruktur**
- Werkzeug zur **Umlaufoptimierung** unter Berücksichtigung von Ladezeitpunkten von Elektrobussen
- SUMO: **Simulation** nun für jeden frei nutzbar für **E-Mobility-Konzepte** (Punkt und linienförmiges Laden) für verschiedene Verkehrsträger und Ausstattungs-raten
- **Betriebsleitsystem** der Busse (ITCS) **Erweiterung um Elektrobusse** (Kennwerte Ladezustand, Ladestellen usw.)
- **Zentrale ÖV-Priorisierung** unter Berücksichtigung von Ladezuständen und geplanten Ladezeiten
- ÖV-Priorisierung an LSA sowie einfache Betriebsleitinfos über **Smartphone-App**
- Erweiterungsvorschläge für **Car2X-Kommunikationsstandard** (der ETSI) der Automobilhersteller um Elektrofahrzeugkomponenten (Ladestatus, Ladestationsinformationen usw.)
- **ÖV-Priorisierung über Car2x-Kommunikation** ohne die Notwendigkeit der Installation herkömmlicher lokaler Funk-Bake Systeme
- Erweiterung/Verbesserung der **OCIT-Standards** der ODG (Standardschnittstellen in der Straßenverkehrstechnik)
- **Smart Traffic Center** welches eine LSA-Beeinflussung unter Berücksichtigung von Busbetriebsleitsystemen, E-Netz-Auslastung und E-Bus-Kennwerten Steuerentscheidungen treffen kann (Verbessertes Zusammenspiel zwischen IV und ÖV in der LSA-Steuerung)

Weitere Verwertungsaktivitäten des DLR liegen in der Verkehrsflusssimulation, welche nun eine herstellerunabhängige bzw. übergreifende Schnittstelle zur Integration frei definierbarer Steuerverfahren aufweist. Das birgt ein hohes Potenzial für Folgeprojekte. Zudem findet fortlaufend die wissenschaftliche Verwertung in Form von Publikationen in Fachzeitschriften sowie die Vorstellung des Vorhabens und der Ergebnisse auf Fachtagungen, Messen und über die Websites des Vorhabens statt.

Ein Konkrete Verwertung und Wiederverwendung von Teilkomponenten des MENDEL-Projekts findet im BMVI-geförderten Projekt SIRENE (Secure and Intelligent Road Emergency Network) statt, in dem das DLR mit weiteren Projektpartnern die Beschleunigung von Sicherheits- und Rettungseinsätzen durch Grüne Wellen und optimiertes Routing entwickelt und testet.



9. Fortschritt bei anderen Stellen

Seit 2017 wird vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) das Projekt Hercules (Harmonisierte Entscheidungen zur Routensicherung mittels Cloudanwendungen für Unternehmen der Logistik zur Effizienzsteigerung von Schwer- und Großraumtransporten) gefördert. Das Projekt HERCULES hat zum Ziel, die Disposition, Abwicklung und Begleitung genehmigter Großraum- und Schwertransporte (GST) effizienter zu gestalten. Hierzu soll eine App-basierte Informationsquelle für alle Beteiligten entwickelt werden, um u. a. den heutigen Personaleinsatz der GST-Absicherung zu reduzieren sowie insgesamt die Durchführungseffizienz von GST zu verbessern. Insbesondere sollen die im Rahmen der Genehmigung erteilten Auflagen mit relevanten Informationen zur genehmigten Fahrtroute, wie beispielsweise aktuelle Baustellen- und Verkehrsinformationen, in Verbindung gesetzt werden. Die auf diese Weise optimierte Routendisposition ermöglicht des Weiteren angemessene Maßnahmen der Transportunternehmen als Reaktion auf unvorhersehbare oder kurzfristige Einschränkungen auf der geplanten Route. Darüber hinaus soll dort ebenfalls eine Beeinflussung tangierter Lichtsignalanlagen (LSA) ermöglicht werden.

Der MENDEL-Projektpartner AVT Stoye ist auch an diesem Projekt beteiligt, sodass ein Wissenstransfer stets gewährleistet war.

Ebenfalls parallel durchgeführt und Ende 2019 abgeschlossen wurde das Projekt VERONIKA. Im ebenfalls vom BMVI geförderten Vorhaben soll eine Vernetzung von Fahrzeugen und Lichtsignalanlagen zu einer netzweit energiesparenden Fahrweise und einer emissionsreduzierenden Lichtsignalsteuerung beitragen. Im Testfeld Kassel werden dazu Straßenbahnen, Busse und Rettungsfahrzeuge mit On Board Units ausgerüstet, welche über eine Funkchnittstelle nach dem Automotive-Kommunikationsstandard IEEE 802.11p mit Roadside Units (IRS/RSU) an verkehrsabhängigen Lichtsignalanlagen operative Daten austauschen können. Flankiert wird diese lokale Vernetzung von einer mobilfunkgestützten Kommunikation mit einem Metadatenserver, der strategische Daten für eine der Situation angemessene Priorisierung von ÖV-Fahrzeugen an signalisierten Knotenpunkten liefert.

Unter Vermeidung der jeweiligen Nachteile einer zentralenbasierten und lokalen Kommunikation bzw. Datenverarbeitung wird ein hybrider Ansatz entwickelt und erprobt, bei dem das öffentliche Verkehrsmittel das Systemwissen bspw. zum Liniennetz, zur Fahrplanlage und zu Umsteigebeziehungen besitzt und für eine sekundengenaue Freigabe an stromabwärtigen LSA einsetzt. Die kurzen Latenzzeiten einer lokalen Kommunikation erleichtern eine Schaltzeit- und Ankunftszeitprognose und damit sowohl die Wahl einer passenden Fahrstrategie als auch die sekundengenaue Freigabe für Straßenbahnen und Busse.

Im Sinne eines vernetzten Warnens werden auf der Grundlage einer direkten Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation Straßenbahn- und Busfahrer auf sich annähernde Einsatzfahrzeuge mit Sondersignal hingewiesen, bevor diese hör- und sichtbar sind. Die Entwicklung und Erprobung der Prognoseverfahren und Fahrstrategien sowie die Erstellung der darauf abgestimmten Signalprogramme wird durch eine Entwicklungs- und Testumgebung unterstützt, bei der Geräte und Verfahren in eine mikroskopische Verkehrssimulation „in-the-Loop“ eingeschlossen werden. Die abschließende Evaluation stützt sich sowohl auf Simulationsversuche als auch auf den Pilotversuch unter realen Betriebsbedingungen des öffentlichen Straßenverkehrs.

Die MENDEL-Projektpartner AVT Stoye und GEVAS waren im Unterauftrag an diesem Projekt beteiligt.



10. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Erfolgte Veröffentlichungen

Schnieder, Lars; Weißer, Dirk; Schaefer, Martin; Maier, Peter; Naumann, Sebastian; Hübner, Christian; Trumpold, Jan; Frankiewicz, Tobias 2016: Minimale Belastung elektrischer Netze durch das Laden von E-Bussen. In: Der Nahverkehr, Heft 4, Seiten 6-10. DVV Media Group GmbH. ISSN 0722-8287

Schnieder, Lars; Weißer, Dirk; Schaefer, Martin; Maier, Peter; Naumann, Sebastian; Büchter, Hubert; Trumpold, Jan; Frankiewicz, Tobias 2016: Minimale Belastung elektrischer Netze durch Ladevorgänge von Elektrobussen. In: 25. Verkehrswissenschaftliche Tage Dresden. 25. Verkehrswissenschaftliche Tage 2016, 16.-17. März 2016, Dresden, Deutschland

Trumpold, Jan; Koopmann, Vera; Behrisch, Michael 2016: MENDEL: Umweltfreundlicher ÖPNV perfekt optimiert, Auf: DLR Institut für Verkehrssystemtechnik Website; Mittendrin - Einblicke in die aktuelle Forschung; http://www.dlr.de/fs/desktopdefault.aspx/tabid-11264/19778_read-47384/, seit 2016-09-19

Trumpold, Jan; Oertel, Robert; Weißer, Dirk; Schaefer, Martin; Maier, Peter; Naumann, Sebastian; Büchter, Hubert 2017: MENDEL: Minimum load of electrical networks caused by charging operations of electric buses, In: EVS30 - The 30th International Electric Vehicle Symposium & Exhibition, 9.-11. Okt. 2017, Stuttgart

Trumpold, Jan 2017: Projekteinblicke MENDEL – Minimale Belastung elektrischer Netze durch Ladevorgänge von Elektrobussen, In: 24. Verkehrstechnisches Seminar der Technischen Universität Dresden, Institut für Verkehrstelematik, 16. - 17. November 2017, Rathen

Trumpold, Jan 2018: Elektromobilität im ÖPNV. Das Forschungsprojekt MENDEL, optimierte Ladevorgänge, In: 9. Tagung Mobilitätsmanagement von Morgen, 17.10.2018, Berlin

Das Projektkonsortium hat zudem gemeinsam eine Video-Dokumentation der Projektergebnisse in Auftrag gegeben. Dieses Video ist unter <http://mendel-projekt.de/de/veroeffentlichungen/> abrufbar. Ebenfalls abrufbar sind die Poster, die die Live-Demonstratoren zur Abschlussveranstaltung mit zusätzlichen Erläuterungen flankiert haben.

Im Projekt wurden eine Zwischen- und eine Abschlusspräsentation durchgeführt. Die Abschlusspräsentation fand am 4.7.2019 beim DLR in Braunschweig statt. Dabei wurden die Ergebnisse einem Fachpublikum präsentiert und auch in einer Live-Vorführung mit Testfahrten auf dem DLR-Gelände vorgeführt. Das Projekt wurden sowohl zum Projektstart, als auch nach Projektabschluss auf der Web-seite vom DLR veröffentlicht: http://www.dlr.de/fs/desktopdefault.aspx/tabid-11264/19778_read-47384/ .

Geplante Veröffentlichungen

Bereits Ende 2019 / Anfang 2020 wird das Projektkonsortium einen gemeinsamen zweiteiligen Artikel in der Fachzeitschrift DER NAHVERKEHR veröffentlichen:
Naumann, Sebastian und Hübner, Christian und Büchter, Hubert und Quinting, Manuel und Schön, Thilo und Schaefer, Martin und Trumpold, Jan und Wesemeyer, Daniel und Bargmann, Maik Dez 2019: Teil 1: Optimierter Einsatz von E-Bussen - Ergebnisse eines Forschungsprojekts zur minimalen Belastung elektrischer Netze durch das Laden von Batteriebusen. Der Nahverkehr (12/19). Alba Fachverlag. ISBN ISSN-Nr. 0179-504X ISSN 0722-8287



MENDEL



Anhang

MENDEL-Poster der EVS30 - The 30th International Electric Vehicle Symposium & Exhibition, 9.-11. Okt. 2017, Stuttgart vom DLR

MENDEL

Minimum load of electrical networks caused by charging operations of electric buses

Jan Trumpold, Robert Oertel, Dirk Weißer, Martin Schaefer, Peter Maier, Sebastian Naumann, Hubert Büchter

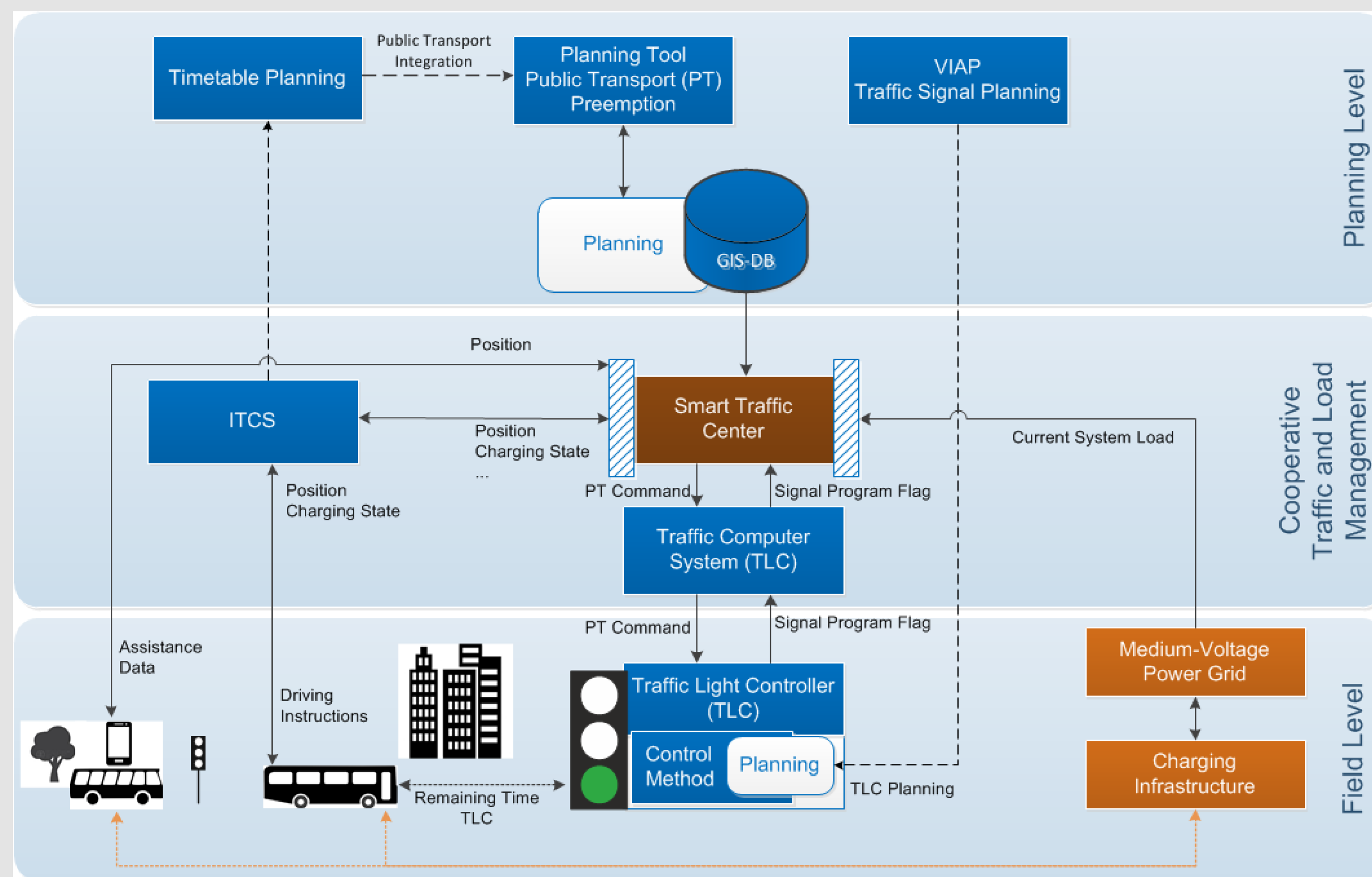


Fig.1: Cooperative MENDEL system of ITS components (traffic light system, intermodal transport control system) and Smart Grid

Introduction

The German research project MENDEL aims to minimize the total operating costs of electrically powered bus fleets. This includes a cost reduction for the construction and operation of charging infrastructures by minimizing the load on the power grid, as well as a reduction of the energy consumption of vehicles in operation. The project combines the two fields of Smart Grids and Intelligent Transportation Systems (ITS) to a prototypical system concept. This concept is applied in the German city of Brunswick and will be transferable to other cities as well.

The project MENDEL is funded by the German Federal Ministry of Economics and Energy. It has a duration of three years, lasting from 2016 until the end of 2018. Six project partners and three associate partners from different research and industry fields are involved and work together to achieve the project objectives.



Fig.2: Partners of the MENDEL project

MENDEL System Concept

The MENDEL project uses an automation approach to complete the project requirements:

- *Strategic level* → At this level an optimization of the loading infrastructure and the vehicle deployment takes place.
- *Tactical level* → At this level the load management is optimized during operation. This includes: charging capacity in the medium voltage network, knowledge of the current operation state, actual charging conditions of the buses, forecast of the energy requirements, maximum power supply at the charging points.
- *Operational level* → At this level an energetic optimization of the driving strategy is applied.



Fig.3.: Solaris Urbino 12m bus with Bombardier PRIMOVE charging technology in the test field of the German city of Brunswick

Testing of the MENDEL Concept

To demonstrate the feasibility of the developed MENDEL ITS concept, different tests are conducted in a virtual environment as well as in a real world operation:

- *Simulation* → SUMO (Simulation of Urban Mobility) is used to test various individual components of the overall system concept. For this purpose, the road network of the city of Brunswick, as well as the existing bus lines and the traffic demand are simulated.

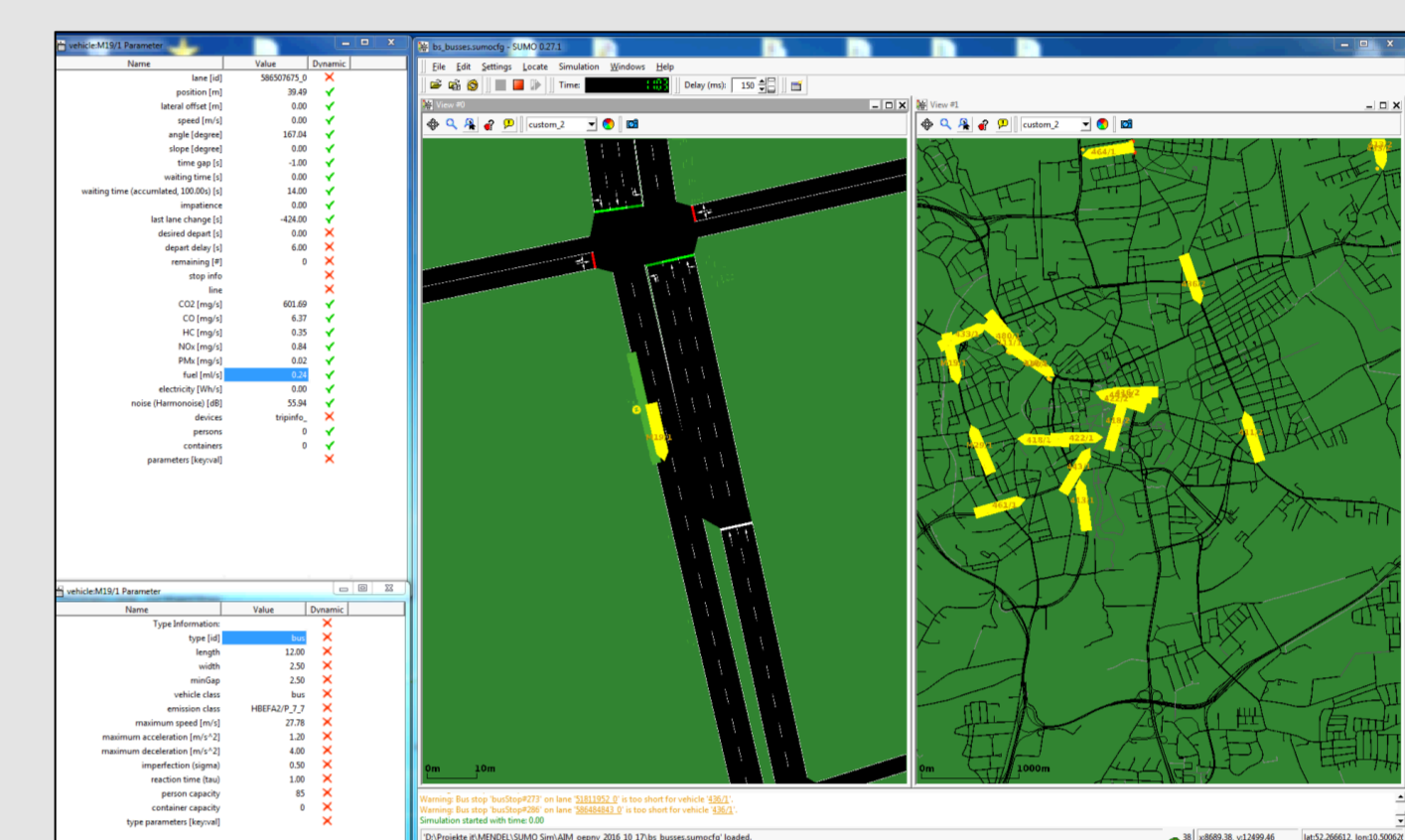


Fig.4.: Simulation of Brunswick with DLR SUMO (Simulation of Urban Mobility)

- *Laboratory* → Technical solutions and new hardware components are tested in an enclosed environment first, to avoid errors and traffic jams in the real test field.



Fig.5.: Traffic signal laboratory in the German Aerospace Center (DLR) in Berlin

- *Field* → Finally, a comprehensive assessment of the efficiency, quality and robustness of the intelligent communication solutions for energy-efficient driving of electric buses will be achieved in the test field.



Fig.6.: Application Platform for Intelligent Mobility (AIM) of the DLR in Brunswick

Supported by:



on the basis of a decision by the German Bundestag

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Minimale Belastung elektrischer Netze durch Ladevorgänge von Elektrobussen Sachbericht Teilvorhaben „Kooperative Assistenz für elektrisch angetriebene ÖPNV Fahrzeugflotten“ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) Institut für Verkehrssystemtechnik	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Trumpold, Jan Ruppe, Sten Wesemeyer, Daniel Wölfel, Lars Bargmann, Maik	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.06.2019
	6. Veröffentlichungsdatum
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) Institut für Verkehrssystemtechnik Lilienthalplatz 7 38108 Braunschweig	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 01ME15007C
	11. Seitenzahl 105
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie Scharnhorststr. 34-37 10115 Berlin	13. Literaturangaben -
	14. Tabellen -
	15. Abbildungen 50
16. Zusätzliche Angaben Anlagen: 1	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Projektträger Technische Innovationen in der Wirtschaft, Linder Höhe, 51147 Köln am 07.02.2020	
18. Kurzfassung Modernste Busse mit Elektroantrieb, die von den örtlichen Verkehrsbetrieben eingesetzt werden, sind in der Regel in ihrer täglichen Fahrstrecke eingeschränkt, da die Batteriekapazität begrenzt ist. Um diese Einschränkungen insbesondere bei längeren Stadtbuslinien auszugleichen, müssen die Fahrzeuge an kurzen Zwischenhaltestellen mit hoher Energieleistung aufgeladen werden. Wenn in Zukunft ganze Busflotten nur noch elektrisch betrieben werden, müssen viele Busse gleichzeitig aufgeladen werden, was zu Spitzenwerten des Energieverbrauchs im Netz und gleichzeitig steigenden Kosten führt. Genau hier setzt das Projekt MENDEL (Minimale Belastung elektrischer Netze durch Ladevorgänge von Elektrobussen) an. Die Projektpartner erarbeiteten ein System, das die beiden Bereiche Smart Grid und Intelligent Transportation Systems (ITS) durch Automatisierung miteinander verbindet.	
19. Schlagwörter ITS, Intelligent Transportation System, Smart Grid, Traffic Management, TLC, Traffic light Controller, RSU, Roadside Unit	
20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final report
3. title Minimum load of electrical networks caused by charging operations of electric buses Final report Sub-project "Cooperative assistance for electrically powered public transport vehicle fleets" German Aerospace Center (DLR) Institute of Transportation Systems	
4. author(s) (family name, first name(s)) Trumpold, Jan Ruppe, Sten Wesemeyer, Daniel Wölfel, Lars Bargmann, Maik	5. end of project 2019-06-30
	6. publication date
	7. form of publication
8. performing organization(s) (name, address) German Aerospace Center (DLR) Institute of Transportation Systems Lilienthalplatz 7 38108 Braunschweig	9. originator's report no.
	10. reference no. 01ME15007C
	11. no. of pages 105
12. sponsoring agency (name, address) Federal Ministry for Economic Affairs and Energy Scharnhorststr. 34-37 10115 Berlin	13. no. of references -
	14. no. of tables -
	15. no. of figures 50
16. supplementary notes Attachment: 1	
17. presented at (title, place, date) Projektträger Technische Innovationen in der Wirtschaft, Linder Höhe, 51147 Köln am 02.01.2020	
18. abstract State-of-the-art electric driven buses used by local public transport authorities are usually restricted in their daily driving distance caused by limitations in their battery capacity. To compensate for these limitations especially on longer urban bus lines the vehicles need to be recharged with a high energy performance on short intermediate stops. In the future when entire bus fleets will be operated only electrically, a lot of buses have to be charged at the same time which will result in peaks of high energy consumption within the grid and increasing costs at the same time. This is precisely where the project MENDEL (minimum load of electrical networks caused by charging operations of electric buses) starts. The project partners elaborate a system that links the two domains Smart Grid and Intelligent Transportation Systems (ITS) through automation.	
19. keywords	
20. publisher	21. price