Spezifikationen der neuen C-ITS-Bus-Priorisierung für Hamburg

Basierend auf den Ergebnissen des Projekts ITS-CUBE
(ITS-Concept Urban Bus Equipment)

Stand: 27.03.2026

ITS-CUBE

Gefördert durch das European Local ENergy Assistance Programm (ELENA) der Europäischen Investitionsbank

Hamburg | Behörde für Verkehr und Mobilitätswende

LSBG
Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer Hamburg

HOCHBAHN

vhh.mobility

Hamburg Verkehrsanlagen

Inhalt

1. Zukünftige Systemarchitektur 4
2. Priorisierungsnachrichten SREM und SSEM 7
   2.1. Beschreibung SREM 7
   2.2. Beschreibung SSEM 18
   2.3. Berechnung der ETA 22
   2.4. Prioritätszahl in der SREM 23
3. Anforderungen seitens der Verkehrstechnik 25
4. Public-Key-Infrastructure 27

Glossar

Abkürzung	Bedeutung
CAM	Cooperative Awareness Message
C-ITS	Cooperative Intelligent Transport Systems
C-Roads	Gemeinsame Plattform Europäischer Staaten zur Harmonisierung von C-ITS, c-roads.eu - Home
DSRC	Dedicated Short Range Communication
ETA	Estimated Time of Arrival: Die berechnete bzw. geschätzte Uhrzeit, zu welcher der Bus die Haltlinie passieren möchte.
FEA	Funk-Empfangs- und Auswerte-Einheit
FHH	Freie und Hansestadt Hamburg
GLOSA	Green Light Optimal Speed Advisory
GNSS	Global Navigation Satellite System
HHVA	Hamburg Verkehrsanlagen GmbH
HOCHBAHN	Hamburger Hochbahn AG
ITS	Intelligent Transport Systems
ITS-G5	WLANp basierte Funktechnologie für eine Nahfeldkommunikation
LSA	Lichtsignalanlage
LSBG	Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer
OBU	On-Board-Unit
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PKI	Public-Key-Infrastructure
QM	Qualitätsmanagement
RSU	Roadside-Unit
SPaT	Signal Phase and Timing
SREM	Signal Request Extended Message
SSEM	Signal Status Extended Message
VHH	vhh.mobility, Verkehrsbetriebe Hamburg Holstein GmbH

1. Zukünftige Systemarchitektur

Im Folgenden wird Hamburgs zukünftige Systemarchitektur für die Priorisierung von Linienbussen an Lichtsignalanlagen (LSA) erläutert, welche auf Basis der Expertise der Projektpartner, Fachliteratur sowie verschieden Austausche mit C-ITS-Expert:innen erarbeitet wurde.

Für eine zügige Migration auf C-ITS und die Einhaltung der Frist der Umrasterung des Analogfunkfrequenzbandes Ende 2028 wird es drei Ausbaustufen geben:

1. Übergangslösung: Konverter (C-ITS-Kommunikation, Meldepunkt-LSA-Steuerung)
2. Grundgerüst: dezentrale Systemarchitektur
3. Ziel-Systemarchitektur: Erweiterung des Grundgerüsts durch einen zentralen Strategierechner

Kommunikationsweg

Als Kommunikationsweg wurde sich in Hamburg für den marktverfügbaren WLANp-basierten Nahfeldkommunikationsstandard ITS-G5 entschieden. Da er in Hamburg bereits im Einsatz ist, werden so Synergien mit der existierenden C-ITS-Infrastruktur geschaffen. Insbesondere haben die Erfahrungen eine hohe Verfügbarkeit und sehr geringe Latenzen gezeigt. Darüber hinaus können Ausfälle nicht zu einem Gesamtausfall des Priorisierungssystems führen, sondern betreffen nur einzelne LSA oder Fahrzeuge. Daher wird ITS-G5 in Zukunft für die Bus-Priorisierung in Hamburg verwendet.

Übergangslösung: Konverter

Bis Ende 2028 muss in Hamburg der Analogfunk in der Priorisierung von Bussen abgelöst werden. Eine vollständige Umrüstung der Infrastruktur auf ITS-Technologie ist bis dahin ist nicht realistisch, da für die Verarbeitung der C-ITS-Nachrichten zur Priorisierung die Steuergeräte durch jene der neusten Generation ersetzt werden müssen, die mit einer RSU kommunizieren und die C-ITS-Nachrichten für die Priorisierung verarbeiten können. Dies ist insbesondere mit Baumaßnahmen verbunden, welche mit anderen Baumaßnahmen in der Stadt koordiniert werden müssen, da eine hohe Anzahl an Baustellen den Verkehr stark beeinflusst. Ebenso müssen die entsprechenden Logiken für die Steuergeräte entworfen werden.

Daher ist eine Übergangslösung notwendig. Wichtig ist hierbei, dass der Aufwand möglichst geringgehalten wird. Insbesondere darf es nicht notwendig werden, dass die Bestandslogiken der LSA-Steuerung für die Übergangslösung angepasst werden müssen. Im Rahmen einer Marktuntersuchung durch HHVA wurden Konverter als Lösungen identifiziert. Im Kern wird die bisherige Kommunikation zwischen Bus und LSA durch die C-ITS-Kommunikation ersetzt und in der Priorisierungsanfrage müssen die Meldepunkt-Informationen enthalten sein. Die C-ITS-Nachricht wird dann entweder in einem Hardware-Konverter, der im Steuergeräteschrank verbaut wird, oder in einem Software-Konverter in der RSU ausgepackt und die Informationen zu den Meldepunkten werden an das Steuergerät weitergegeben. Dadurch können die meldepunktbasierten Logiken zunächst weiter genutzt werden, bis die Steuergeräte im Rahmen einer Grundinstandsetzung getauscht werden oder bis nach einem Update der Logiken des Steuergeräts eine C-ITS-Priorisierung ohne Meldepunkte ermöglicht wird. Gleichzeitig sind nach der Ausstattung der Busse mit OBUs im Rahmen des Roll-Outs der Übergangslösung keine weiteren baulichen Anpassungen der Busse für den weiteren Roll-Out der neuen Bus-Priorisierung notwendig.

Die OBU wird an den Positionen der Meldepunkte, sofern diese vorhanden sind, mit den notwendigen Informationen versorgt, um den OCIT-R09-Container in der SREM-Nachricht (siehe Abschnitt 2.1) zu befüllen. Dementsprechend versendet die OBU an den gewohnten Meldepunkten SREM Nachrichten, welche die R09-Daten beinhalten. Hierbei ist zu beachten, dass der Meldepunkt für die Abmeldung mehrere Meter hinter der Haltlinie liegt. Das Versenden einer SREM zur Stornierung der Priorisierungsanfrage (Request Cancellation) direkt nach dem Überfahren der Haltline kann zur Folge haben, dass eine nachfolgende SREM mit den Daten des Meldepunkts zur Abmeldung, nicht mehr von der zugehörigen RSU verarbeitet und ans Steuergerät weitergegeben wird. Da die LSA keinen Meldepunkt zur Abmeldung erhält, würde sie jedes Mal in eine zeitlich verzögerte Zwangsabmeldung gehen. Dadurch würde die Schaltung der LSA beeinflusst werden, obwohl der Bus die LSA bereits passiert hat. Solch eine Situation muss vermieden werden, da sie zu einer Verschlechterung der Qualität des gesamten Verkehrs führt. Daher muss sichergestellt werden, dass die SREM, welche die Daten des Meldepunkts zur Abmeldung verschickt, von der LSA empfangen und verarbeitet wird. Ein Lösungsansatz hierfür ist, dass für die Übergangszeit die SREM mit der Cancellation erst bei einem größeren Abstand nach Passieren der Haltlinie verschickt wird.

Grundgerüst: dezentrale Systemarchitektur

Das Grundgerüst des zukünftigen Systems ist eine dezentrale Systemarchitektur mit einer direkten Kommunikation zwischen Fahrzeug und LSA über ITS-G5 und Verarbeitung der Priorisierungsanfrage im Steuergerät der LSA, wie in der folgenden Abbildung dargestellt.

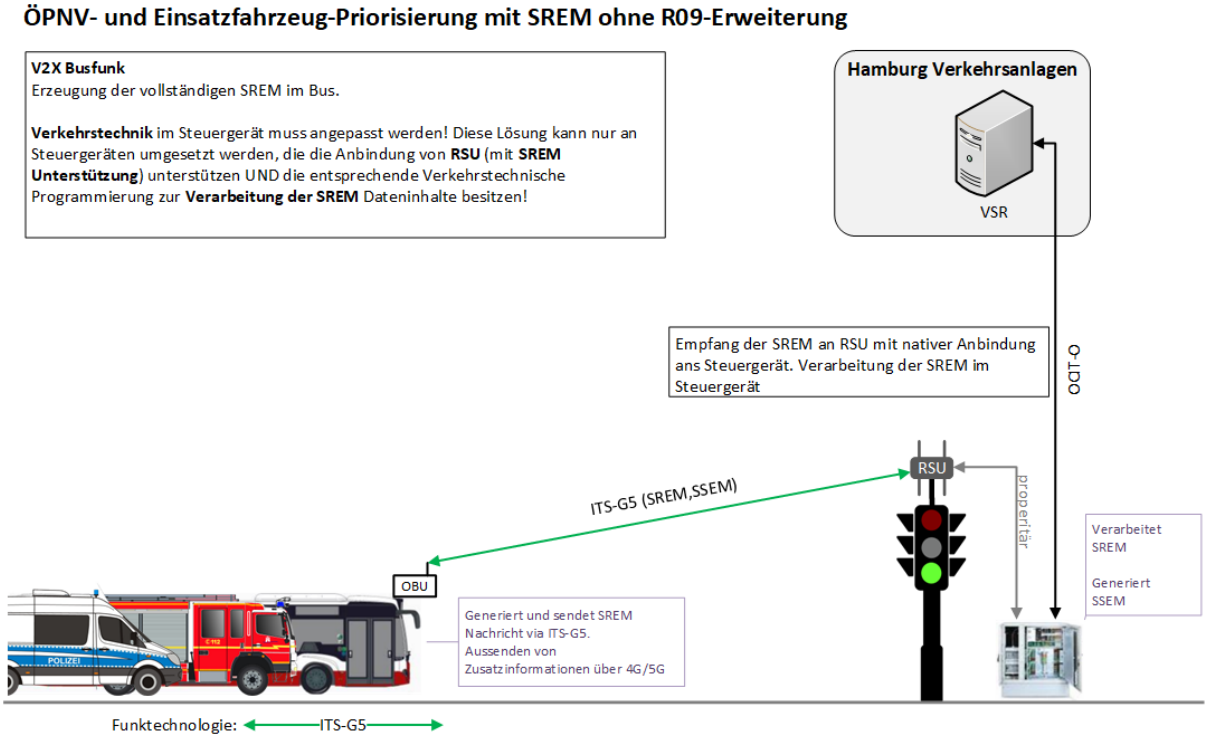

Abbildung 1: Grundgerüst der neuen C-ITS-Priorisierung an einer LSA. (*Quelle: HHVA)*

Eine SREM-Nachricht wird versandt, sobald die OBU einen Auslöser hierfür bekommt. Ein Beispiel für solch einen Auslöser ist der Empfang der MAP-Nachricht einer LSA, da hierdurch die OBU erfährt, dass sich der Bus einer LSA nähert, an der er priorisiert werden möchte. Nach Versenden der initialen SREM-Nachricht wiederholt die OBU diese Nachricht, bis sie eine SSEM-Nachricht der LSA als Rückmeldung erhält. Erst wenn danach eine inhaltliche Veränderung

vorliegt, darf die OBU eine weitere SREM als Update versenden. Da sich im urbanen Verkehr das für die Priorisierung im Steuergerät der LSA essenzielle Datenelement ETA der SREM (siehe Abschnitt 2.1 und 2.3) bzw. die zugrundeliegenden Daten Position und Geschwindigkeit schnell ändern, ist es – auch auf Basis von Erfahrungen aus Testfahrten – voraussichtlich so, dass im Realbetrieb SREM-Nachrichten nahezu sekündlich verschickt werden. Die OBU des Busses muss nach der Berechnung einer abweichenden ETA eine neue SREM-Nachricht versenden, aber höchstens eine SREM-Nachricht pro Sekunde.

Die Abmeldung der Priorisierungsanfragen (SREM mit Status Cancellation) darf frühstens nach gesichertem Überfahren der Haltlinie versendet werden. Der Sonderfall einer Haltestelle, die an der Haltlinie einer LSA liegt, muss dabei berücksichtigt werden, da in dieser Situation der Abstand zur Haltlinie 0 Meter ist, aber die Priorisierungsanfrage noch nicht gecancelt werden darf.

Eine weitere Besonderheit stellt das Zusammenspiel mit der Übergangslösung dar. Der Bus bzw. dessen OBU hat keine Kenntnis über die technische Ausstattung der LSA (Konverter oder Grundgerüst). Solange es LSA mit Meldepunkt-basierten Logiken gibt, muss ein Bus SREM-Nachrichten verschicken, welche sowohl eine Priorisierung über die standardmäßigen SREM-Daten als auch über die Daten der Meldepunkte in der SREM zulässt. Insbesondere muss sichergestellt werden, dass die SREM mit den Daten des Meldepunkts zur Abmeldung, welcher nach der Haltlinie der LSA liegt, noch in der RSU verarbeitet und an das Steuergerät weitergegeben wird – siehe Abschnitt Übergangslösung: Konverter.

Ziel-Systemarchitektur: Erweiterung um zentralen Strategierechner

In der finalen Ziel-Systemarchitektur sollen die Vorteile einer zentralen Instanz, die weitere Informationen zur Verfügung stellt, genutzt werden. Daher wird das Grundgerüst perspektivisch um einen zentralen Strategierechner ergänzt, an den zusätzliche, nicht-zeitkritische Informationen geschickt werden können, um z.B. die Prioritätszahl, welche die Wichtigkeit der Priorisierungsanfrage ausdrückt, mit Hilfe von globalen Daten, wie der Verkehrslage, zu verfeinern.
Ein weiterer Anwendungsfall findet sich in der Priorisierung von Einsatzfahrzeugen. Übermittelt ein Einsatzfahrzeug bei Abfahrt seine geplante Fahrstrecke zum Einsatzort, so kann über eine zentrale Instanz nicht nur die nächste LSA, die sich im Empfangsbereich der OBU befindet, beeinflusst werden, sondern auch weitere auf der Strecke und benachbarte LSA. Damit kann die Strecke für die Einsatzfahrzeuge freigeräumt werden, sie können im Verkehr mitfließen und müssen keine riskanten Fahrmanöver durchführen, um schnell am Einsatzort anzukommen.

Aktuell ist die Technik für den zentralen Strategierechner noch nicht verfügbar und muss noch beschafft werden. Insbesondere müssen die Schnittstellen zu Hamburgs Verkehrsrechner im Detail abgestimmt werden.

In folgendem Schaubild ist die finale Systemarchitektur von ITS-CUBE für die zukünftige Priorisierung von Bussen und Einsatzfahrzeugen in Hamburg dargestellt:

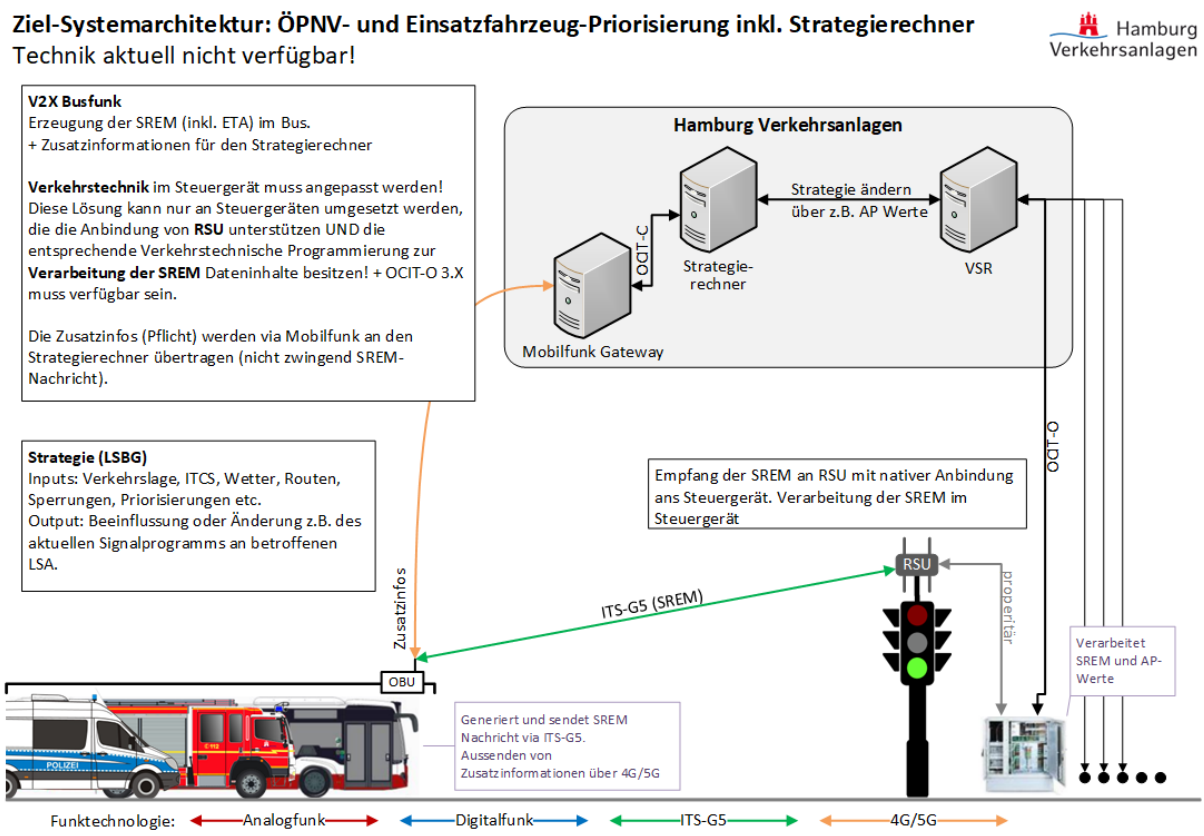

Abbildung 2: Ziel-Systemarchitektur der neuen C-ITS-Priorisierung an einer LSA inkl. zentralem Strategie-rechner. (*Quelle: HHVA)*

Das Sendeverhalten der OBU in der Direktkommunikation mit der LSA ist identisch zu jenem im Grundgerüst der dezentralen System-architektur. Darüber hinaus müssen die Nachrichten ebenfalls über Mobilfunk an den Strategierechner übermittelt werden.

2. Priorisierungsnachrichten SREM und SSEM

In diesem Kapitel wird näher auf die C-ITS-Nachrichten, welche für die Priorisierung vorgesehen sind, eingegangen. Nach der Beschreibung der Anfrage (SREM) und Rückmeldung (SSEM) wird auf zwei Felder genauer eingegangen, die ETA und die Prioritätszahl.

2.1. Beschreibung SREM

Für die Busbevorrechtigung an LSA in Hamburg soll über C-ITS die standardisierte Signalanforderungsnachricht Signal Request Extended Message (SREM) vom Bus an die Infrastruktur gesendet werden. Die SREM ist dabei die in Europa verwendete, erweiterte Anfrage mit zusätzlichen Informationen (wie z.B. Fahrzeugtyp oder Fahrzeugzustand) zur SRM. Die Antwort der LSA auf die SREM zurück an den Bus wird Signal Status Message (SSM) und in Europa die Signal Status Extended Message (SSEM) genannt.

In diesem Abschnitt wird die SREM und deren Datenelemente inklusive Datenquellen und deren Verwendung in Hamburg beschrieben. Als Grundlage wurde die SAE J2735 mit dem Stand September 2023 und für die R09-Meldepunkt-Extension das OCIT-SREM-Profil bzw. die ASN1 ASN1 der ETSI TS 103 301 ab Version 2.2.1 (ab Zeile 1241) herangezogen.

Die SREM wird von der On-Board-Unit (OBU) des jeweiligen berechtigten Fahrzeuges generiert und ausgesendet. Diese soll von LSA empfangen werden, um das Fahrzeug zu bevorrechtigen. Die SREM enthält alle dafür relevanten Informationen. Mit welchen Datenelementen, welche Informationen übertragen werden und woher die OBU diese Daten erhält, wird nachfolgend beschrieben.

Datenelemente

TimeStamp

Dieses Feld beinhaltet den Zeitstempel mit der Minute des aktuellen Jahres. (Siehe Beschreibung des Datenelements MinuteOfTheYear in der SAE J2735)

Datenquelle: Die OBU erhält die aktuelle Uhrzeit über das Global Navigation Satellite System (GNSS).

Verwendung: Zur Nachverfolgung u.a. im Qualitätsmanagement-System, zu welcher Zeit die Nachricht ausgesendet wurde.

Anforderung: Die Zeitsynchronität mit dem LSA-Steuergerät und dem Verkehrsrechner wird gewährleistet, indem sich beide mit der GNSS-Uhrzeit synchronisieren.

second

Dieses Feld beinhaltet die aktuelle Millisekunde der Minute des Zeitstempels/TimeStamp. (Siehe Beschreibung des Datenelements DSecond in der SAE J2735)

Datenquelle: Die OBU erhält die aktuelle Uhrzeit über GNSS.

Verwendung: Zur Nachverfolgung im Qualitätsmanagement-System, wann die Nachricht ausgesendet wurde.

Anforderung: Die Zeitsynchronität mit dem LSA-Steuergerät und dem Verkehrsrechner wird gewährleistet, indem sich beide mit der GNSS-Uhrzeit synchronisieren.

sequenceNumber

Dies ist eine fortlaufende Nummer in der SREM-Nachricht. Wenn der Inhalt der neu ausgesendeten SREM identisch zur vorherigen ist, bleibt die sequenceNumber bzw. der Count gleich. Ansonsten wird er um eins erhöht. Sobald 127 erreicht ist, wird wieder die 0 (128 = 0, 129 = 1, ...) verwendet. Wenn keine Rückmeldung (SSEM) kommt und sich die SREM nicht geändert hat, bleibt der Count gleich. Weitere Beschreibung: Siehe SAE oder OCIT-Profil.

Datenquelle: OBU.

Verwendung: Falls Nachrichtenpakete "verloren gehen" und keine Rückantwort (SSEM) kommt oder der Inhalt gleich bleibt, kann die selbe Nachricht mehrmals ausgesendet werden.

IntersectionReferenceID

Hier steht eine eindeutige globale ID für die LSA, an der die Bevorrechtigung angefordert wird.

Datenquelle: MAP.

Verwendung: Hiermit wird eindeutig, welche LSA angefordert wird.

RoadRegulatorID

Hier wird die ID des Besitzers der Straße bzw. der LSA (z.B. Hamburg, Kreis Pinneberg, Norderstedt, etc.) eingetragen.

Datenquelle: MAP. (Der Straßenbaubehörde, in Hamburg der LSBG, wird diese ID zugeteilt. Hamburg erhielt die ID 19002. Die OCA verwaltet vorübergehend die Liste der IDs unter Harmonisierung – OCA Open Traffic Systems City Association e.V. – aktuell gibt es im Hamburger MAP-Bestand allerdings noch Varianten mit der veralteten RoadRegulatorID 3. Das Datenfeld wird im Zuge zukünftiger Anpassungen mit aktualisiert).

Verwendung: Bei grenznahen LSA mit ggf. gleicher LSA-Nummer kann über diese ID die richtige LSA identifiziert und zugeordnet werden.

RequestID

Dies ist die alleinstellende ID der SREM bzw. Anfrage.

Datenquelle: Die OBU erzeugt diese ID automatisch. Die ID wird pro Bevorrechtigungsanfrage hochgezählt.

Verwendung: Über diese ID erfolgt die Zuordnung der zurückgeschickten SSEM und in einem QM-System kann dies nachverfolgt werden.

RequestType

Dieses Feld beschreibt die Art der Anfrage des Fahrzeugs.

0: undefiniert, keine Daten

1: Bevorrechtigungsanfrage bzw. neue Anforderung. Wird verwendet, wenn vorher noch keine Anfrage an diese LSA ausgesendet wurde.

2: Update zur Bevorrechtigungsanfrage. Wird verwendet, wenn bereits eine Bevorrechtigungsanfrage an die LSA gesendet wurde, sich aber Umstände oder Dateninhalte der SREM geändert haben.

3: Request Cancellation. Die Bevorrechtigungsanfrage wird damit zurückgenommen. Dies wird verwendet, wenn das Fahrzeug über die Haltlinie gefahren ist oder sich äußere Umstände ändern, wie zum Beispiel eine Umleitung, sodass das Fahrzeug nicht mehr die angefragte LSA passieren wird und keine Bevorrechtigung mehr benötigt.

Datenquelle: OBU.

Verwendung: Wird für die LSA-Bevorrechtigung und für das QM-System benötigt

InBoundLane

Mögliche Datenelemente: LaneID, ApproachID oder LaneConnectionID

Nach C-ROADS ist für den Anwendungsfall Buspriorisierung die LaneConnectionID zu verwenden. Da nicht auszuschließen ist, dass sich durch den Betrieb und die Umsetzung der neuen Priorisierung an mehreren LSA die Notwendigkeit der Nachjustierung ergibt, hat Hamburg für sich festgelegt, dass neben der Versorgung mit der LaneConnectionID auch die Versorgung der LaneID möglich sein muss.

Datenquelle: Der Bordrechner wird über die neue PTX-Schnittstelle den Fahrweg des Busses für die OBU bereitstellen. Die OBU muss dann anhand des Fahrwegs die richtige LSA und die richtige lane, approach oder connection identifizieren und in die SREM an dieser Stelle eintragen. Über

die MAP der LSA erhält die OBU die Information, welche lanes bzw. connections an der LSA vorhanden sind.

Verwendung: Diese Information benötigt die LSA für die Bevorrechtigung, um die richtige Signalgruppe für den Bus zu ermitteln und freizugeben. Zusätzlich wird die Information für das QM-System benötigt, um zurückzuverfolgen, welche Signalgruppe angefordert wurde.

OutBoundLane

Mögliche Datenelemente: LaneID, ApproachID oder LaneConnectionID

Wenn die Connection bei der InBoundLane verwendet wird, muss an dieser Stelle keine ID eingetragen werden, da über die Connection In- und OutboundLane bereits eindeutig bestimmt sind.
Wie oben bereits erwähnt hat Hamburg für sich festgelegt, dass neben der Versorgung mit der LaneConnectionID auch die Versorgung der LaneID möglich sein muss.

Datenquelle: Analog zur InBoundLane: Der Bordrechner wird über die neue PTX-Schnittstelle den Fahrweg des Busses für die OBU bereitstellen. Die OBU muss dann anhand des Fahrwegs die richtige LSA und die richtige lane bzw. connection identifizieren.

Verwendung: Diese Information benötigt die LSA für die Bevorrechtigung, um die richtige Signalgruppe für den Bus zu ermitteln und freizugeben. Zusätzlich wird die Information für das QM-System benötigt, um zurückzuverfolgen, welche Signalgruppe angefordert wurde.

Regional (innerhalb SignalRequest)

Regionale Erweiterungsmöglichkeit der SREM, welche **in Hamburg** für die folgenden Datenfelder verwendet werden soll:

- **AbstandHaltlinie**
  Integer mit Wertebereich (-22…1001) für in der OBU ermittelten Abstand des Busses zur Haltlinie entlang des Fahrweges. Hierbei soll gelten 1 Bit = 1 Meter. Der negative Wertebereich ist notwendig für die Abmeldung in der Übergangslösung mit den Konvertern. Der Wert -22 steht für „OBU kann den Abstand gerade nicht berechnen“ und der Wert 1001 steht für einen Abstand von 1001 Meter oder mehr.
  Datenquelle: OBU.
  Verwendung: Ermittlung der Restfahrzeit im LSA-Steuergerät aus den Grunddaten und für das QM der Bus-Priorisierung.
- **HaltestellenInfo**
  Liste [SequenceOf] mit Einträgen [0…3], deren Einträge Informationen über alle Haltestelle vor der Kreuzung [Sequence] enthalten. Die erste in der Liste (index 0) ist die Haltestelle mit kürzestem Abstand zur Haltlinie der LSA, die zweite (index 1) ist die Haltestelle mit zweitkürzestem Abstand zu Haltlinie der LSA, etc.
  Datenquelle: Bordrechner.
  Verwendung: Bedarfsgerechte Berücksichtigung von Haltestellen in der Bearbeitung der Priorisierungsanfrage sowie im QM.

  Der Eintrag zu einer Haltstelle soll folgende Untereinträge haben:
  - **StopRequest**
    Bitstring mit Werten (0…3) wobei die folgende Zuordnung gilt:
    0 = keine Daten

1 = nicht gedrückt
2 = Haltewunsch gedrückt, aber Rollstuhltaster ist nicht gedrückt
3 = Rollstuhltaster gedrückt (in diesem Fall kann der Haltewunschtaster auch gedrückt sein, muss aber nicht)

Datenquelle: Bordrechner.

Verwendung: Bedarfsgerechte Berücksichtigung von Haltewünschen in der Bearbeitung der Priorisierungsanfrage sowie im QM.

- **HstAufenthaltszeit**
  Integer mit Wertebereich (0…255) für die erwartete Haltestellenaufenthaltszeit. Hierbei bedeuten 0 = unknown, 1 = 1 Sekunde, …, 254 = 254 Sekunden, 255 = 255 Sekunden oder mehr. Da es sich um die erwartete Zeit handelt, soll der Wert stehen bleiben und nicht variieren.
  Datenquelle: Datenbereitstellung durch Verkehrsbetriebe.
  Verwendung: Bedarfsgerechte Berücksichtigung der erwarteten Haltestellen-aufenthaltszeit in der Bearbeitung der Priorisierungsanfrage sowie im QM.
- **RfzHstLSA**
  Integer mit Wertebereich (0…255) für die erwartete Restfahrtzeit von dieser Haltestelle bis zur Haltlinie von dem Moment an, wenn das Fahrzeug die Haltestelle erreicht (d.h. inkl. erwartete Haltestellenaufenthaltszeit). Hierbei bedeuten 0 = unknown, 1 = 1 Sekunde, …, 254 = 254 Sekunden, 255 = 255 Sekunden oder mehr.
  Datenquelle: OBU.
  Verwendung: Bedarfsgerechte, effiziente Berücksichtigung der erwarteten Restfahrtzeit ab Einfahrt in die Haltestelle in der Bearbeitung der Priorisierungs-anfrage sowie im QM.
- **DistanzHstLSA**
  Integer mit Wertebereich (0…1023) für die Entfernung von dieser Haltestelle bis zur Haltlinie. Hierbei bedeuten 0 = unknown oder 0 Meter, 1 = 1 Meter, …, 1022 = 1022 Meter, 1023 = 1023 Meter oder mehr.
  Datenquelle: Bordrechner.
  Verwendung: Ermittlung der Restfahrzeit im Steuergerät aus den Grunddaten und für das QM der Bus-Priorisierung.

Datenelemente der Estimated time of arrival (ETA)

MinuteOfTheYear

Beschreibt die Minute des Jahres, an dem das Fahrzeug voraussichtlich die LSA erreicht und eine Freigabe benötigt.

Datenquelle: Berechnung in der OBU anhand der MAP, der Strecke des Fahrzeugs (GPX-Track), aktuellen Geschwindigkeit und weiteren örtlichen Gegebenheiten, wie zum Beispiel Haltestellen. Für die Berechnung siehe Abschnitt 2.3.

Verwendung: Diese Information benötigt die LSA für die Bevorrechtigung, um zur richtigen Zeit die Freigabe für den Bus zu schalten. Außerdem wird die Information im QM-System benötigt.

Dsecond

Beschreibt die Millisekunde der MinuteOfTheYear, an dem das Fahrzeug voraussichtlich die LSA erreicht und eine Freigabe benötigt.

Datenquelle: Berechnung in der OBU anhand der MAP, der Strecke des Fahrzeugs (GPX-Track), aktuellen Geschwindigkeit und weiteren örtlichen Gegebenheiten, wie zum Beispiel Haltestellen. Für die Berechnung siehe Abschnitt 2.3.

Verwendung: Diese Information benötigt die LSA für die Bevorrechtigung, um zur richtigen Zeit die Freigabe für den Bus zu schalten. Außerdem wird die Information im QM-System benötigt.

Dsecond/Duration

Dieses Feld beschreibt die Ungenauigkeit bzw. Unsicherheit der ETA. Das heißt, wenn die ETA nicht exakt berechnet werden kann, wird eine duration angegeben, die ein Intervall angibt, in dem das Fahrzeug die LSA voraussichtlich erreichen wird.

Verwendung: Das Datenelement wird in der Umsetzung der Priorisierung in den Logiken des Steuergeräts nicht verwendet. Aus diesem Grund wird dieses Feld in Hamburg nicht verwendet.

Regional (innerhalb Requests)

Regionale Erweiterungsmöglichkeit der SREM. Diese wird in Hamburg nicht benötigt und demnach nicht verwendet.

StationID (oder TemporaryID)

In der EU wird an dieser Stelle die StationID verwendet, um ein Fahrzeug bzw. eine OBU (=ITS-Station) zu identifizieren. Diese ID darf sich während einer Anfrage zur Bevorrechtigung nicht ändern. Die ID ändert sich allerdings laut Standard während der Fahrt bzw. der Einsatzzeit, wenn keine Bevorrechtigungsanfrage läuft, um eine langfristige Nachverfolgung des Fahrzeugs für externe zu verhindern.

Datenquelle: OBU.

Verwendung: Zur Identifikation des Fahrzeugs und der von ihm ausgesendeten Nachrichten. Beispiel: Ein Fahrzeug sendet CAM, SREM und DENM. Die StationID dient dazu, die Nachrichten diesem Fahrzeug zuzuordnen.

BasicVehicleRole

Beschreibt die Rolle des Fahrzeugs, wie zum Beispiel ÖPNV, MIV, Polizei, Feuerwehr, ...

Datenquelle: Wenn die OBU mit einem Bus-Bordrechner verbunden ist, soll hier eine 1 für "ÖPNV" eingetragen werden.

Verwendung: Priorisierung der einzelnen Fahrzeuge untereinander.

RequestSubRole

Die Zuteilungen der Werte für den ÖPNV und für die Einsatzfahrzeuge sind wie folgt definiert (leere Felder werden bisher noch nicht verwendet) und werden innerhalb der OCA e.V. und C-Roads abgestimmt. Ergeben sich Anpassungen durch C-Roads, wird Hamburg diese umsetzen.

SREM_cVehSubRole	RequestSubRole für den ÖPNV, wenn BasicVehicleRole = 1	RequestSubRole für Einsatzfahrzeuge, wenn BasicVehicleRole = 2
0	Unbekannt	Unbekannt
1	Bus	Löschzug
2	Tram	RTW
3	Metro	Notarzt
4	Zug	Polizei
5	Reisebus	Polizei Konvoi
6	Expressbus	
7	Metrobus	
8	Stadtbus	
9	SEV	
10	Schulbus	
11	Sonderfahrt	
12	Quartiersbus	
13	Shuttle	
14		
15		

Datenquelle: OBU, beim ÖPNV ist es der Bordrechner und mit den hvv-Zuordnungen bzw. der Linienzuordnungstabelle.

Beim ÖPNV gibt der Bordrechner über die PTX-Schnittstelle die aktuelle Liniennummer aus. Anhand dieser kann mit einer Übersetzungstabelle ermittelt werden, ob dieser Bus als Expressbus, Metrobus oder Stadtbus oder in einer weiteren Funktion eingesetzt wird.

Verwendung: In der derzeitigen Umsetzung findet das Datenelement keine Verwendung in Hamburg. Dennoch wird es für mögliche zukünftige Anwendungsfälle befüllt.

RequestImportanceLevel

Beschreibt die Wichtigkeit des Fahrzeugs für die Bevorrechtigung an der LSA gegenüber anderen Fahrzeugen. Es können die Zahlen von 0 bis 15 eingesetzt werden, wobei die Zahlen 10 bis 15 für Einsatzfahrzeuge reserviert sind und nicht vom ÖPNV genutzt werden dürfen. Das Priorisierungskonzept der Verkehrsbetriebe zur Berechnung der Zahl ist in Abschnitt 2.4. festgehalten.

Datenquelle ÖPNV:

Fahrplanlage: Bordrechner. Über die PTX-Schnittstelle.

Fahrtenart (produktive Linienfahrt, Betriebsfahrt, Sonderfahrt, SEV, ...): Siehe Subrole

Verwendung: Für die Bevorrechtigung und Priorisierung einzelner Fahrzeuge an der LSA. Außerdem wird die Information im QM-System benötigt.

Iso3833VehicleType

Hier wird das Fahrzeug nach Iso3833 beschrieben. Nach OCA soll hiermit die Fahrzeuglänge übermittelt werden. Mit den Zahlen 0 bis 100 ergibt sich die Fahrzeuglänge, indem man die Zahl mit 2 multipliziert. (Hintergrund ist, dass Bahnen länger als 100 Meter sind) Beispiel: Stadtbus von mit 19 Meter Länge sendet die Zahl 10 in diesem Datenelement.

Datenquelle: Entweder manuell versorgt oder bei der HOCHBAHN anhand der Wagennummer abzuleiten.

Verwendung: Wird in Hamburg aktuell nicht benötigt.

HpmsType

Hier kann das Fahrzeug beschrieben werden. Dies wird in Hamburg nicht benötigt.

Regional (im Bereich Requestor)

Regionale Erweiterungsmöglichkeit der SREM, welche **in Hamburg** für die folgenden Datenfelder verwendet werden soll:

- **Fahrzeugnummer**
  Freitext als UTF8String mit bis zu 15 Zeichen für die Fahrzeugnummer des Busses.
  Datenquelle: Bordrechner.
  Verwendung: Wird im QM verwendet.
- **Betreiber**
  Freitext als UTF8String mit bis zu 8 Zeichen für den Namen der Betreiberfirma des Busses; für Hamburg z. B. HOCHBAHN oder VHH.
  Datenquelle: OBU.
  Verwendung: Zur Unterscheidung von Fahrzeugen mit der gleichen Fahrzeugnummer aber verschiedenen Betreibern im QM.
- **Liniennummer**
  Freitext als UTF8String mit bis zu 5 Zeichen für die aktuelle Liniennummer des Busses.
  Datenquelle: Bordrechner.
  Verwendung: Wird im QM verwendet.

Position

Position beschreibt mit **Latitude, Longitude und Elevation** die Position, an der sich das anfordernde Fahrzeug aktuell befindet. Dieses Feld wird in Hamburg verwendet, damit die Position aus der SREM als Alternative zur Position aus der CAM verwendet werden kann.

Datenquelle: GNSS der OBU oder GNSS-Signal von anderen Geräten auf dem Fahrzeug, um Antennen zu sparen.

Verwendung: Wird für die Bevorrechtigung verwendet, um aus dem Standort die Entfernung und damit die ETA bzw. Rfz berechnen zu können. Außerdem wird die Position im QM-System benötigt.

Regional (im Bereich position)

Wird in Hamburg nicht verwendet.

angle

beschreibt die Fahrtrichtung als Winkel in einem Vollkreis in 0,0125 Grad-Schritten unterteil. 0 bedeutet Fahrtrichtung Norden.

Datenquelle: OBU.

Verwendung: Es gibt bisher keinen Verwendungszweck.

TransmissionState

Beinhaltet den Status des Fahrzeuges und kann folgendes enthalten: Neutral, Parken, Vorwärts und Rückwärts.

Datenquelle: Eine geeignete Schnittstelle liefert, ob das Fahrzeug vorwärts oder rückwärts fährt.

Verwendung: Wird aktuell nicht verwendet.

Velocity

Beinhaltet die Geschwindigkeit in 0,02 m/s -Schritten und kann die Werte von 0 bis 8191 annehmen.

Datenquelle: Über GNSS oder FMS möglich. (Tests haben ergeben, dass die Geschwindigkeit des Bordrechners zu latenzanfällig ist).

Verwendung: Für die Rfz- bzw. ETA-Berechnung und für das QM-System.

DescriptiveName

Das Datenelement kann bis zu 63 Zeichen enthalten und wird in Hamburg für die Fahrzeugidentifikation nach dem folgenden Schema verwendet: Unternehmen (Eindeutige Kurzform) + Wagennummer. Beispiele: "HOCHBAHN3913" oder "VHH4912".

Datenquelle: Bordrechner übergibt die Wagennummer über die PTX-Schnittstelle an die OBU.

Verwendung: Wird für das QM-System für die Nachverfolgung eines Fahrzeugs und für C-Roads Konformität benötigt.

DescriptiveName (im Bereich routeName)

Sie kann 63 Zeichen enthalten und beinhaltet in Hamburg:

- Routennummer (4-stellig)
- Liniennummer (4- oder 5-stellig)
- Fahrtziel (Text, wie am Bus vorne vom Fahrtzielanzeiger angezeigt)

Datenquelle: Bordrechner.

Verwendung: Wird zur Nachverfolgung im QM-System und für C-Roads Konformität benötigt.

TransitVehicleStatus

Beinhaltet den aktuellen Status des Fahrzeugs, wie zum Beispiel loading (0), door open (3) oder charging (4).

Datenquelle: Bordrechner.

Verwendung: Zur Berechnung der Restfahrzeit/ETA, wenn das Fahrzeug in der Haltestelle steht. Auch andere Anwendungsfälle, wie zum Beispiel Informierung und Warnung anderer Verkehrsteilnehmer.

TransitVehicleOccupancy

Beinhaltet den Besetzungsgrad des Fahrzeugs nach den in der SAE standardisierten Stufen 0 bis 7 bzw. unbekannt bis voll.

Datenquelle: Fahrgastzählsystem des Fahrzeugs oder zentrale Datenplattform, wie zum Beispiel MOSAIC.

Verwendung: Wird zukünftig ggf. von der LSA für die Berechnung der Restfahrzeit ausgewertet, da beispielweise bei hoher Auslastung der Fahrgastwechsel länger dauern kann und sich damit die ETA verändert. Die Information über den Besetzungsgrad wird auch intern für die Priorisierung der Fahrzeuge untereinander verwendet, um das Datenelement RequestImportanceLevel zu füllen.

DeltaTime

Fahrplanlage im Wertebereich von –122 bis +121. Dabei wird die Verfrühung positiv und die Verspätung negativ angegeben. Die Einteilung der Werte erfolgt in 10-Sekunden-Schritten. Beispiel: -10 steht für 100 Sekunden Verspätung.

Datenquelle: Bordrechner über die PTX-Schnittstelle.

Verwendung: Wird von der LSA nicht ausgewertet, aber für die Priorisierung und die Berechnung des Datenelements RequestImportanceLevel genutzt. Im QM wird diese Information ebenfalls benötigt, um nachverfolgen zu können, wie sich die Fahrplanlage durch die LSA-Bevorrechtigung entwickelt und ob ein Fahrzeug beispielweise wegen seiner Verfrühung nicht bevorrechtigt wurde.

Regional

Die übergeordnete Regional extension wird in Hamburg nicht verwendet.

OCIT-Extension

Im Bereich SREM wird die OCIT-Extension, wie im OCIT-SREM-Profil beschrieben, für die R09-Telegramm-Inhalte verwendet, um die Übergangslösung mit der meldepunktbasierten LSA-Bevorrechtigung über C-ITS zu unterstützen. Da in Hamburg zwei verschiedene R09-Telegramme verwendet werden (R09.14 und R09.24) und historisch bedingt durch die Entwicklung eines neuartigen Qualitätsmanagementsystems diese R09-Telegramme teilweise vom Standard abweichend befüllt werden, müssen diese Besonderheiten für die Übergangslösung und damit auch in die SREM übernommen werden, da eine Anpassung auf der Infrastrukturseite nur mit großem Aufwand möglich ist.

ReportingPoint

Dieses Datenelement enthält die Meldepunktnummer des R09-Telegramms

Datenquelle: Bordrechner über PTX-Schnittstelle.

Verwendung: Für die Bevorrechtigung und das bestehende QM-System QUASIBUS.

PriorityLevel

Wird bei der HOCHBAHN nicht für die Priorität, sondern für die Berechnung der letzten Ziffer der Wagennummer verwendet. Siehe Datenelement "length". Wenn die letzte Ziffer der Wagennummer eine 7 oder kleiner ist, steht hier eine 0. Wenn die letzte Ziffer der Wagennummer eine 8 ist, steht hier eine 1. Wenn die letzte Ziffer der Wagennummer eine 9 ist, steht hier eine 2.

Datenquelle: Bordrechner über PTX-Schnittstelle.

Verwendung: Für die Bevorrechtigung mittels Übergangslösung und das bestehende QM-System QUASIBUS.

Length

Hier steht bei der HOCHBAHN die letzte Ziffer der Wagennummer. Die ersten 3 Ziffern der Wagennummer stehen im Datenelement "route". Wenn die letzte Ziffer der Wagennummer eine 8 oder 9 ist, steht in diesem Feld weiterhin eine 7 und die Zahl aus dem Datenelement priorityLevel muss addiert werden.

Datenquelle: Bordrechner über PTX-Schnittstelle.

Verwendung: Für die Bevorrechtigung mittels Übergangslösung.

Route

Hier werden die ersten 3 Ziffern der Wagennummern eingetragen.

Datenquelle: Bordrechner über PTX-Schnittstelle.

Verwendung: Für die Bevorrechtigung mittels Übergangslösung und das bestehende QM-System QUASIBUS.

Line

Hier steht die Liniennummer. (bis zu 4-stellig, wird ab der FEA allerdings nur 3-stellig übertragen)

Datenquelle: Bordrechner über die PTX-Schnittstelle.

Verwendung: QM.

Direction

Muss in Hamburg nicht unbedingt gefüllt werden. Die Richtung wird mit 1 oder 2 angegeben.

Datenquelle: Bordrechner.

Verwendung: Kann zukünftig für ein QM-System genutzt werden.

tour

Muss in Hamburg nicht unbedingt gefüllt werden.

Datenquelle: Bordrechner.

Verwendung: -

Version

Muss in Hamburg nicht unbedingt gefüllt werden.

Datenquelle: Bordrechner.

Verwendung: -

2.2. Beschreibung SSEM

Als Rückmeldung zur Priorisierungsanfrage in der SREM wird durch die LSA oder deren RSU eine Signal Status Extended Message (SSEM) generiert und ausgesendet. In diesem Abschnitt werden die SSEM und deren Datenelemente inklusive Datenquellen und deren Verwendung in Hamburg beschrieben. Als Grundlage wurde die SAE J2735 mit dem Stand September 2023 herangezogen.

Die SSEM beinhaltet alle Informationen, die das Fahrzeug benötigt, um die Nachricht seiner Anfrage zuordnen zu können sowie eine Rückmeldung zum Status der Priorisierungsanfrage. Im Folgenden wird beschrieben, welche Datenelemente es gibt, welche Informationen damit jeweils übertragen werden und wie die Datenquelle ist.

Datenelemente

StationID

Die StationID wird verwendet, um die RSU (=ITS-Station) zu identifizieren.

Datenquelle: RSU.

TimeStamp

Dieses Feld beinhaltet den Zeitstempel mit der Minute des aktuellen Jahres. (Siehe Beschreibung des Datenelements MinuteOfTheYear in der SAE J2735)

Datenquelle: Die RSU erhält die aktuelle Uhrzeit über Global Navigation Satellite Systems (GNSS).

Verwendung: Zur Nachverfolgung u.a. im Qualitätsmanagement-System, zu welcher Zeit die Nachricht ausgesendet wurde.

Anforderung: Die Zeitsynchronität mit dem LSA-Steuergerät und dem Verkehrsrechner ist dadurch gewährleistet, dass sich beide mit der GNSS-Uhrzeit synchronisieren sollten. (Es ist zu beachten, dass in der FEA eine Quarzuhr verbaut ist.)

second

Dieses Feld beinhaltet die aktuelle Millisekunde der Minute des Zeitstempels/TimeStamp. (Siehe Beschreibung des Datenelements DSecond in der SAE J2735)

Datenquelle: Die RSU erhält die aktuelle Uhrzeit über GNSS.

Verwendung: Zur Nachverfolgung im Qualitätsmanagement-System, wann die Nachricht ausgesendet wurde.

Anforderung: Die Zeitsynchronität mit dem LSA-Steuergerät und dem Verkehrsrechner ist dadurch gewährleistet, dass sich beide mit der GNSS-Uhrzeit synchronisieren sollten.

sequenceNumber

Dies ist eine knotenpunktspezifische fortlaufende Nummer in der SSEM-Nachricht. Wenn der Inhalt der neu ausgesendeten SSEM identisch zur vorherigen ist, bleibt die sequenceNumber bzw. der Count gleich. Ansonsten wird er um eins erhöht. Sobald 127 erreicht ist, wird danach wieder die 0 (128 = 0, 129 = 1, ...) verwendet. Weitere Beschreibung: Siehe SAE oder OCIT-Profil.

Datenquelle: RSU.

Verwendung: Falls Nachrichtenpakete „verloren gehen" oder der Inhalt gleich bleibt, kann die selbe Nachricht mehrmals ausgesendet werden.

IntersectionReferenceID

Hier steht eine eindeutige globale ID für die LSA, an der die Priorisierung angefordert wird.

Datenquelle: RSU.

Verwendung: Hiermit wird eindeutig, von welcher LSA die SSEM gesendet wurde.

SignalRequesterInfo

Dies umfasst die Datenelemente, welche notwendig sind, damit ein Fahrzeug weiß, dass die Antwort SSEM an es gerichtet ist. Dies beinhaltet die folgenden Datenelemente der SREM (siehe Abschnitt 2.1. für deren Beschreibung)

- **StationID (oder TemporaryID)**
- **BasicVehicleRole**
- **RequestSubRole**
- **RequestImportanceLevel**
- **Iso3833VehicleType**
- **HpmsType**
- **Regional** (im Bereich Requestor)

Datenquelle: SREM.

Verwendung: Möglichkeit, damit sich das Fahrzeug die SSEM zuordnen kann.

InBoundLane

Mögliche Datenelemente: LaneID, ApproachID oder LaneConnectionID.

Anforderung: Bei der Entscheidung über das Datenelement müssen Fahrzeug und LSA dasselbe Datenelement verwenden (siehe Abschnitt 2.1).

Datenquelle: SREM oder Steuergerät.

Verwendung: Fahrbeziehung über den Knotenpunkt. Hier können die Daten aus der SREM übernommen werden. In einem Zukunftsszenario (z.B. im Kontext autonomer Fahrzeuge) könnte es aber auch denkbar sein, dass seitens der Infrastruktur durch die SSEM eine Empfehlung für das Verwenden einer anderen Fahrbeziehung an das Fahrzeug gesendet werden könnte.

OutBoundLane

Mögliche Datenelemente: LaneID, ApproachID oder LaneConnectionID

Anforderung: Bei der Entscheidung über das Datenelement müssen Fahrzeug und LSA dasselbe Datenelement verwenden. Ebenso sollte das gleiche Datenelement wie für InBoundLane verwendet werden, sofern es nicht hinfällig ist (im Fall der Connection).

Datenquelle: Analog zur InBoundLane.

Verwendung: Analog zur InBoundLane.

Datenelemente der Estimated time of arrival (ETA)

Falls die ETA bzw. Restfahrzeit in der LSA-Steuerung berechnet wird oder die fahrzeugseitige ETA korrigiert, verbessert oder angereichert wird, kann sie mit dem Datenelement ETA an das Fahrzeug gesendet werden. Die einzelnen Datenelementtypen der ETA sind dieselben wie in der SREM (**MinuteOfTheYear**, **Dsecond**, **Dsecond/Duration**) und werden daher nicht nochmal wiederholt.

Datenquelle: Steuergerät oder SREM.

Verwendung: Mitteilung an das Fahrzeug, welche ETA in der LSA-Steuerung angenommen wurde für QM-Zwecke.

status [PrioritizationResponseStatus]

Rückmeldung über den Status der Priorisierungsanfrage als Zahl im Wertebereich 0 bis 7. Die genauen Bedeutungen sind in der unten folgenden Tabelle erläutert.

Datenquelle: Steuergerät.

Verwendung: Auf Basis dieser Zahl kann im Fahrzeug eine Rückmeldung an die fahrende Person erstellt werden, damit sie über den Status informiert wird. Eine Möglichkeit hierfür ist ein digitales Quittierungssignal (A-Signal).

In der Verkehrstechnik wird für den Status der Priorisierung ein Merker verwendet, welcher die Werte 0 („Bus ist nicht da“), 1 („Bus ist da und kann beschleunigt werden“), und 2 („Bus ist da, kann aber nicht beschleunigt werden“) ausweist.

Im meldepunkt-basierten System wird der fahrenden Person durch ein physisches A-Signal an der LSA mitgeteilt, dass ein Bus für die Priorisierung erfasst wurde – es wird damit aber nicht ausgedrückt, dass der eigene Bus auch priorisiert wird. Dementsprechend leuchtet aktuell das A-Signal an der LSA auf, sobald es einen Bus gibt, für den in der Logik des LSA-Steuergeräts der Bus-Merker Wert 1 oder 2 ermittelt wurde.

Prioritization Response Status	Bedeutung	Wert des Bus-Merkers	Vorschlag der Visualisierung als digitales A-Signal
0	unknown: Unbekannter Status, keine Daten vorhanden.	0	kein A
1	requested: SREM ist eingegangen.	0	weißes A
2	processing: Priorisierungswunsch wird verarbeitet, aber andere Verkehrsteilnehmende mit höherer Priorität werden zuerst versorgt.	2	weißes A
3	watchOtherTraffic: (eher für Einsatzfahrzeuge) Es kann keine vollständige Genehmigung erteilt werden, daher den anderen Verkehr beachten. Weitere Anfragen können vorhanden sein. Mögliche Ursachen: • Gegenverkehr auf konfliktierenden Phasen ist noch aktiv	2	weißes A

	• Laufende Fußgängerfreigabe blockiert die Priorisierung • Anderes Fahrzeug hat bereits Priorität erhalten • Mindestzeitpuffer vor Phasenwechsel noch nicht erreicht • Technische Einschränkung im Steuergerät		
4	granted: Anfrage hat höchste Priorität und wird durchgeführt	1	grünes A
5	rejected: Priorisierungsanfrage abgelehnt, keine gültige SREM	0	kein A
6	maxPresence: Zwangsabmeldung	0	A wird gelöscht
7	reserviceLocked: Vorangegangene Bedingungen haben zu einer erneuten Dienstsperre geführt: Das Steuergerät benötigt eine gewisse Zeit, bevor eine weitere ähnliche Anfrage akzeptiert wird.	-	kein A

Hierbei ist zu beachten, dass im Status requested die SREM in der RSU eingegangen ist, die Priorisierungsanfrage allerdings noch nicht im Steuergerät verarbeitet wurde. Dementsprechend wäre eine SSEM mit der Statusrückmeldung requested eine von der RSU versendete Meldung, welche nicht auf einer Rückmeldung aus der Steuergerätlogik beruht.

Weiter kann der Bus-Merker in der Logik während der Zufahrt des Busses schnell vom Wert 1 zum Wert 2 wechseln. Um Irritationen bei der fahrenden Person zu vermeiden, sollte das grüne A im digitalen A-Signal nur dann angezeigt werden, wenn sicher ist, dass die Priorisierung durchgeführt wird.

Im Fall der Übergangslösung mittels Konverter sind in Hamburg nur die Statusrückmeldungen unkown, requested und reserviceLocked umsetzbar, da für alle weiteren Fälle eine Anpassung der Bestandlogiken notwendig wäre, was dem Ansatz einer Übergangslösung mit möglichst geringem Aufwand widerspricht.

Regional (REGION.Reg-SignalStatusPackage)

Dies ist eine regionale Erweiterungsmöglichkeit der SSEM. Diese wird in Hamburg nicht benötigt und demnach nicht verwendet.

Regional (REGION.Reg-SignalStatus)

Dies ist eine regionale Erweiterungsmöglichkeit der SSEM. Diese wird in Hamburg nicht benötigt und demnach nicht verwendet.

Regional (REGION.Reg-SignalStatusMessage)

Dies ist eine regionale Erweiterungsmöglichkeit der SSEM. Diese wird in Hamburg nicht benötigt und demnach nicht verwendet.

2.3. Berechnung der ETA

Das mit der SREM versendete Datenelement "Estimated Time of Arrival“ (ETA) übermittelt die voraussichtliche Ankunftsuhrzeit des Fahrzeugs an der Haltlinie an die LSA, damit diese zur passenden Zeit den Bus bevorrechtigt. Die ETA soll im ersten Schritt von der OBU berechnet werden, weil diese die notwendigen Informationen wie Position, Geschwindigkeit, Fahrweg, Haltestellen, etc. hat. In der Zukunft ist auch eine Berechnung der Restfahrzeit aus den Grunddaten (wie z.B. Geschwindigkeit, Abstand zur Haltlinie, Prioritätszahl der Anfrage) in der Logik des Steuergeräts denkbar. Hierfür müssen die entsprechenden Daten, welche ebenfalls für das Qualitätsmanagement der Bus-Priorisierung relevant sind, über die SREM an das Steuergerät weitergeben werden (vergleiche Abschnitt 2.1 und Kapitel 3).

In Abbildung 3 ist ein gemeinsam im Projekt erarbeiteter Vorschlag einer Formel zur Berechnung der ETA erläutert.

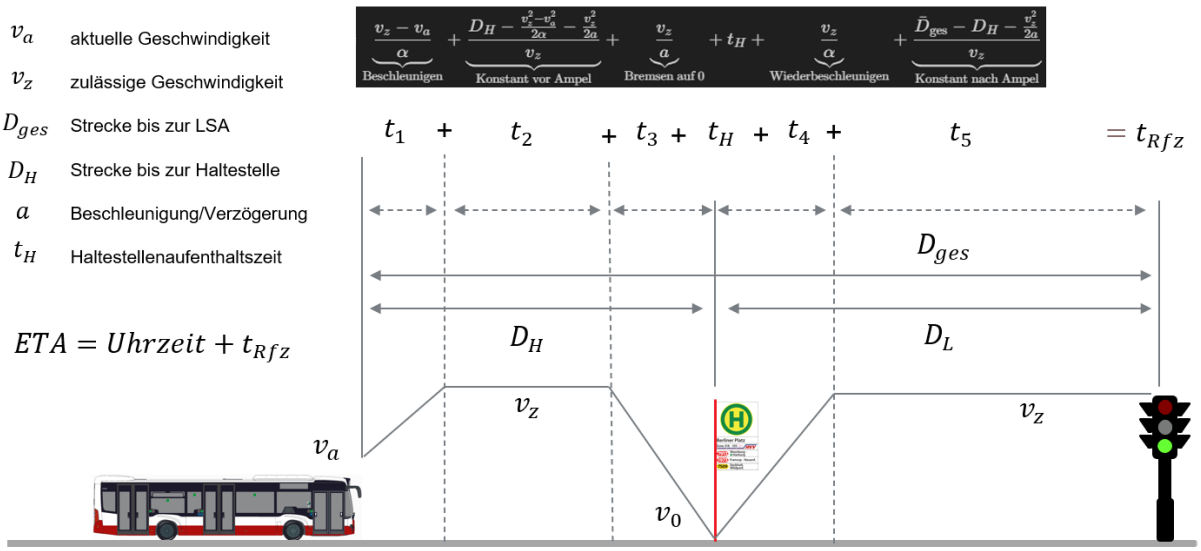

Abbildung 3: Schematische Darstellung der vorgeschlagenen Formel für die ETA-Berechnung.

Für die Berechnung der ETA wird zu jedem Zeitpunkt angenommen, dass das Fahrzeug auf die maximal zulässige Höchstgeschwindigkeit beschleunigen kann und diese anschließend konstant beibehält, bis der Zeitpunkt zum Abbremsen für die nächste Haltestelle oder zum Erreichen einer niedrigeren zulässigen Geschwindigkeit gekommen ist. Die Bremsung und Beschleunigung wird dabei jeweils mit 1 m/s² angenommen.

Die Haltestellenaufenthaltszeit t_H kann vorerst pauschal mit 10 Sekunden angenommen werden. Zukünftig werden die Haltestellenaufenthaltszeiten von den Verkehrsbetrieben bereitgestellt, aus der die jeweilige t_H in Sekunden für jede Haltestelle zu unterschiedlichen Tageszeiten pro Buslinie und Richtung entnommen werden kann.

Wenn auf dem aktuellen Fahrweg zur nächsten LSA keine Haltestelle mehr angefahren wird, soll wie in den Abschnitten t_4 und t_5 davon ausgegangen werden, dass der Bus noch auf die zulässige Geschwindigkeit beschleunigt und diese bis zum Erreichen der Haltlinie der LSA beibehält.

Die Berechnung der ETA soll entsprechend dem in der Abbildung dargestellten Schema erfolgen.

2.4. Prioritätszahl in der SREM

Im C-ITS-Kontext bedeutet die Priorität der Anforderung, wie wichtig es ist, dass ein bestimmtes Fahrzeug gegenüber anderen Fahrzeugen an der LSA eine zeitlich passende Freigabe erhält und dadurch geringe LSA-bedingte Verlustzeiten einfährt.

Die Möglichkeit, Fahrzeuge unterschiedlich zu priorisieren ist ein zentraler Vorteil der C-ITS-Technologie. Dadurch können einerseits bedarfsgerechte Eingriffsstärken bzw. Bevorrechtigungen an LSA erzielt werden und andererseits Bevorrechtigungskonzepte etabliert werden, die Fahrzeuge mit sich überschneidenden Fahrwegen an einer LSA individuell und bedarfsgerecht bevorzugen.

Einen tieferen Einblick zu dieser Thematik gibt das Dokument „Hinweise für den Technologiewechsel C-ITS an Lichtsignalanlagen“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV).

Vorgaben

Die Priorität wird gemäß dem Standard in der SREM in die Stufen 0 bis 15 eingeteilt. Die Stufe 0 wird standardmäßig verwendet, wenn keine Daten vorliegen oder das Fahrzeug nicht priorisiert werden soll. Die Stufe 15 ist für zukünftige Anwendungen (ggf. Militär) reserviert. Die Stufen 10 bis 14 sind nach Vorgabe des LSBG und in Anlehnung der C-ROADS-Abstimmungen für Einsatzfahrzeuge reserviert. Demnach ergibt sich für den ÖPNV der Zahlenbereich von 0 bis 9, wie in der folgenden Abbildung dargestellt.

SREM-Zahl	Zuordnung
0	Keine Daten oder keine Priorität (ÖPNV)
1	ÖPNV
2	ÖPNV
3	ÖPNV
4	ÖPNV
5	ÖPNV
6	ÖPNV
7	ÖPNV
8	ÖPNV
9	ÖPNV
10	Reserviert für Einsatzfahrzeuge
11	Reserviert für Einsatzfahrzeuge
12	Reserviert für Einsatzfahrzeuge
13	Reserviert für Einsatzfahrzeuge
14	Reserviert für Einsatzfahrzeuge
15	Reserviert für zukünftige Anwendungen

Konzeptionierung

Die für die Berechnung der Prioritätszahl ausgewählte Kriterien: Fahrtenart, Fahrplanlage und Randbedingungen vor der LSA.

Berechnung bzw. Ermittlung der Prioritätszahl

Durch eine Vereinbarung mit der Stadt, wurde festgehalten, dass Busse auf „nicht produktiven Fahrten“, also Leerfahrten und Sonderfahrten außerhalb des Linienverkehrs nicht bevorrechtigt

werden sollen. Demnach erhält jeder Bus automatisch die Priorität 0, wenn er nicht auf einer Linienfahrt eingesetzt ist.

Wenn der Bus im Linienverkehr eingesetzt wird, kann er, abhängig der anderen Kriterien, die Stufen 0 bis 9 erhalten. Eine Ausnahme bildet hier der SEV. Dieser erhält automatisch die Priorität 9, da dieser ein schienengebundenes Verkehrsmittel, das meistens schneller durch den Stadtverkehr verkehrt, bestmöglich ersetzen soll.

In Workshops wurde festgehalten, dass es am wichtigsten ist, den Fahrplan einzuhalten. Deswegen ist die Fahrplanlage im zweiten Schritt ausschlaggebend für die Priorität. Busse mit Verfrühung erhalten automatisch keine Priorität, also Stufe 0. Pünktliche Busse und Busse mit einer Verspätung von mehr als 10 Minuten werden die Stufe bzw. Priorität 1 erhalten.

Die Einteilung der weiteren Prioritätsstufen erfolgt nach dem in der folgenden Abbildung dargestellten Prinzip. Busse mit 1 bis 2 Minuten Verspätung erhalten die Stufe 2. Busse mit 2 bis 3 Minuten Verspätung, Stufe 3 und so weiter.

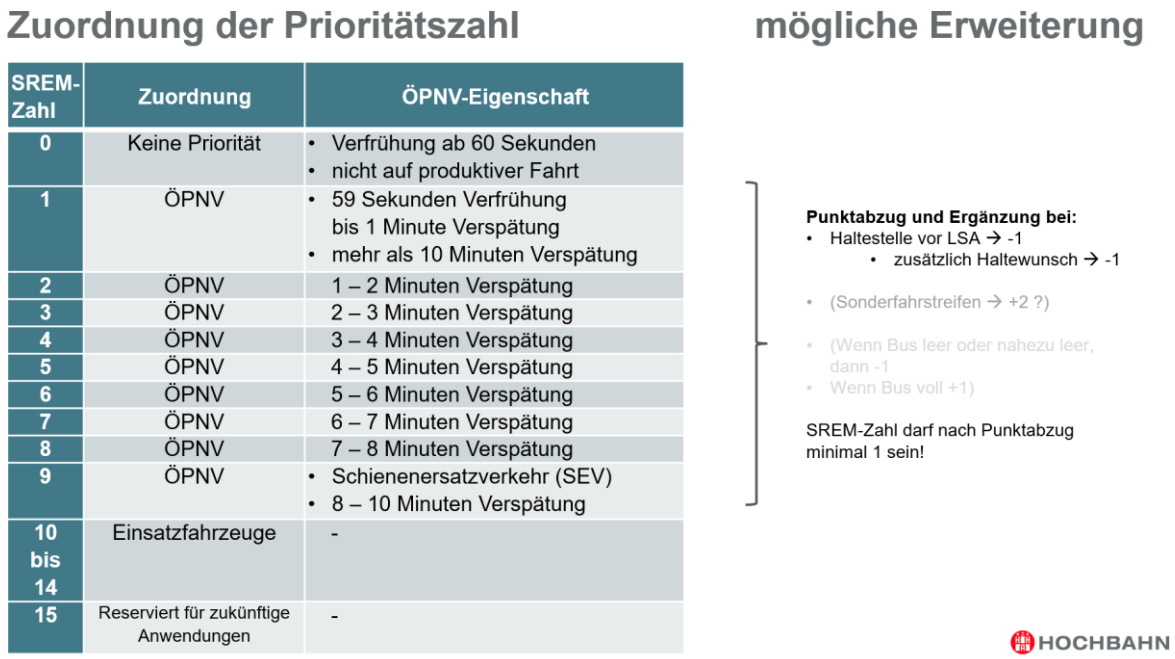

Abbildung 4: Übersicht der Prioritätszahlberechnung gemäß dem Konzept der Verkehrsbetriebe.

Anschließend kann ein Bus eine höhere oder niedrigere Priorität durch die Randbedingungen erhalten. Wenn er beispielsweise noch eine Haltestelle vor der LSA anfahren sollte, wird seine Priorität eine Stufe niedriger angesetzt. Wenn zusätzlich ein Haltewunsch besteht, wird die Priorität um eine weitere Stufe verringert.

Bei der Verringerung der Prioritätsstufe durch die Randbedingungen, muss beachtet werden, dass die Priorität nach Abzug minimal 1 und nicht 0 werden darf.

Weitere Randbedingungen könnten zukünftig berücksichtigt werden:

- Wenn der Bus auf einem Bussonderfahrstreifen fährt, soll seine Priorität um 2 Stufen erhöht werden.
- Zusätzlich könnte der Rollstuhltaster bei Betätigung die Priorität um eine Stufe verringern, da dadurch der Fahrgastwechsel voraussichtlich deutlich länger dauern wird.

- Außerdem könnte an dieser Stelle zukünftig der Besetzungsgrad oder die Anzahl der Fahrgäste bei Bedarf mit eingerechnet werden.

Ort der Bestimmung der Prioritätszahl

Weil die Daten zur Bestimmung der Prioritätszahl bei den Verkehrsbetrieben liegen, die Zahl ein Datenelement der SREM ist und die Entscheidung über die Priorität einzelner Fahrzeuge den Verkehrsunternehmen obliegt, wurde mit allen Projektpartnern abgestimmt, dass die Prioritätszahl auf der Seite der Verkehrsunternehmen bestimmt wird.

Im Kontext der finalen Systemarchitektur inklusive dem Strategierechner ist es aber denkbar, dass dort eine Anpassung der Prioritätszahl nach einem mit den Verkehrsbetrieben abgestimmten Prinzip erfolgt, in welche noch weitere Daten, die nicht lokal im Fahrzeug verfügbar sind, eingehen können.

3. Anforderungen seitens der Verkehrstechnik

Durch die Einführung der C-ITS Technologie wird ein deutliches Optimierungspotenzial für die LSA-Steuerungen erwartet und insbesondere für die Bevorzugung von ÖPNV- sowie Einsatzfahrzeuge. Vor allem der sekündliche Datenaustausch zwischen Fahrzeug und Infrastruktur soll insgesamt zu einer bedarfsgerechteren LSA-Schaltung beitragen. Dieses Potenzial soll für das Versorgen, Planen, Testen, Justieren und Pflegen der LSA-Steuerungen sowie für das LSA-Qualitätsmanagement optimal genutzt werden. Dabei sollen einzelne Aufgaben und das gesamte System wirtschaftlich, transparent und unkompliziert gestaltet werden.

Dazu sollen LSA-Steuerungslogiken bzw. Logikmodule möglichst standardisiert, skalierbar und modular einsetzbar sein. Die Bestandssteuerungen (altes Meldepunktsystem) sollen für eine Migrationsphase in das neue System zur Priorisierung an einer LSA aufwandsminimiert integrierbar sein.

Zur verbesserten bedarfsgerechteren Berechnung des Buseingriffs in die LSA-Steuerung soll eine bessere Berücksichtigung der Haltestelle vor der LSA gegeben sein.

Durch die qualitativ und quantitativ verbesserte Datenverfügbarkeit auf der gesamten Annährungsstrecke können negative Auswirkungen auf Reisezeiten und Wartezeiten aller Verkehrsmodi besser als im Bestandssystem vermieden werden. Insbesondere sollen lange Wartezeiten für Fußgänger nicht auftreten. Auch die Konfliktsituationen zwischen einzelnen konkurrierenden Busanforderungen sollen besser gelöst werden. Darüber hinaus sollen auch Einsatzfahrzeuge mit der ITS-Technologie eine optimierte Berücksichtigung mit entsprechender Prioritätsstufe in der LSA-Verkehrssteuerung bekommen.

Wichtige Daten aus verkehrstechnischer Sicht

Wenn die LSA-Steuerung die Restfahrzeit eigenständig ohne Verwendung der fahrzeugseitigen ETA berechnet wird oder für die Nachvollziehbarkeit im Kontext des Qualitätsmanagements (QM) der Priorisierung von Bussen an einer LSA, müssen die folgende Daten vom Bus an die LSA übermittelt werden:

- **Koordinaten/Position** bzw. **der Abstand zur Haltlinie** (Hamburger Regional Extension)**.** Die Position wird zur Ermittlung des Abstands zur Haltlinie mit Hilfe der MAP verwendet.

Der Abstand zur Haltlinie (welcher theoretisch auch direkt von der OBU an die RSU übermittelt werden kann) wird für die weitere Verarbeitung in der Logik und dem QM der Priorisierung von Bussen verwendet.

- **InBoundLane/OutBoundLane.** Daraus ergibt sich nach vorheriger Verarbeitung die angeforderte Signalgruppe, für welche eine Priorisierung in der Logik umgesetzt werden soll.
- **Geschwindigkeit/Speed.** Für die Berechnung bzw. Überprüfung im QM der Restfahrzeit.
- **Prioritätszahl/RequestImportanceLevel.** Durch die Verschneidung der Priorität einzelner Fahrzeuge und ihrer Restfahrzeiten in der Steuerlogik, kann die situationsabhängige Beschleunigung von konkurrierenden Fahrzeugen abgebildet werden.
- **Fahrtrichtung/Heading.** Diese Information kann verwendet werden, um festzustellen, ob sich ein Fahrzeug auf die LSA zu oder weg bewegt.
- **Fahrzeugstatus/TransitVehicleStatus.** Für die weitere Verarbeitung zur Beachtung von Haltestellenaufenthaltszeiten in der Priorisierung.

Die Werte zur Bildung der Restfahrzeit-Variable sollten der Verkehrstechnik am besten sekündlich zur Verfügung stehen.

Eine wichtige Anforderung der Verkehrstechnik ist, dass zur Sicherung der Verkehrsqualität Nachvollziehbarkeit bei der Berechnung der Restfahrzeit bzw. der ETA des Fahrzeugs gegeben ist. Zusätzlich muss der Zugriff auf die Bildung der Variable auch nach Inbetriebnahme der LSA-Steuerung möglich sein, z.B. zwecks Nachjustierung.

In der finalen Systemarchitektur ist ein zentraler Strategierechner vorgesehen, welcher nicht-zeitkritische Informationen des Fahrzeugs verarbeiten soll. Da in dieser zentralen Instanz weitere Datenelemente berücksichtigt werden können, um z.B. eine präzisere Prioritätszahl unter Beachtung globaler Einflüsse zu bestimmen, werden im Folgenden Datenelemente, die in die zentrale Strategie eingehen oder genauer ermittelt werden können, gelistet:

- **Fahrzeug-Nummer und OBU-Nummer/VehicleID und StationID.** Um die zentrale Verarbeitung mit den lokalen Daten verknüpfen zu können, ist es notwendig, in den zentral eingehenden Informationen auch eine ID zur Identifikation des Fahrzeugs vorliegen zu haben.
- **Fahrplanlage/TransitSchedule.** Für eine Bestimmung bzw. Anpassung der Prioritätszahl im zentralen Strategierechner, muss die Fahrplanlage zur Verfügung stehen.
- **Besetzungsgrad/TransitOccupancy.** Für eine zentrale Betrachtung der Prioritätszahl könnte die Prozentzahl der Befüllung des Fahrzeugs mit dem Fahrzeugtyp verschnitten werden, um eine Aussage zur groben Anzahl der Fahrgäste machen zu können.

SSEM

Die wichtigste Anforderung an die SSEM ist, dass Maßnahmen des Fahrpersonals, welche durch die SSEM eingeleitet werden (wie z.B. das längere Offenhalten der Tür), keinen kontraproduktiven Einfluss auf den Verkehrsablauf nehmen dürfen. Die mögliche Rückmeldung an das Fahrpersonal soll keinen Einfluss auf das Fahrverhalten haben. Insbesondere soll sie das Fahrpersonal nicht ablenken und nicht motivieren schneller zu fahren, um eine LSA entgegen der Rückmeldung noch bei Grün zu passieren.

Hinweis

Mit dem flächendeckenden Einsatz der C-ITS-Technologie in der Priorisierung des ÖPNV geht auch der Bedarf eines neuen Qualitätsmanagementsystem zur Ermittlung der Verlustzeiten und somit der Qualitätsstufen einher.

4. Public-Key-Infrastructure

Für die Kommunikation zwischen LSA und Fahrzeugen sowie zwischen Fahrzeugen untereinander ist es wichtig, dass ein sicherer und vertrauenswürdiger Austausch von Informationen gewährleistet wird. Eine Public-Key-Infrastructure (PKI) ermöglicht eine Authentifizierung der Priorisierungsanfrage eines Fahrzeugs sowie der Rückmeldung der LSA an die Fahrzeuge . Hierdurch wird sichergestellt, dass ausschließlich autorisierte Fahrzeuge priorisiert werden und dass nicht Dritte das Priorisierungssystem für Ihre Zwecke ausnutzen oder die verkehrsabhängige Steuerung durch vorgetäuschte Daueranforderungen ineffizient machen. Insbesondere wird durch die PKI eine Manipulation durch falsche Nachrichten verhindert. Durch die PKI wird das Vertrauen in die C-ITS-Nachrichten des Busses und der LSA geschaffen, sodass eine Priorisierung effektiv durchgeführt werden kann. Weiter ist eine gesicherte Kommunikation zum Beispiel im Kontext des Schutzes vulnerabler Verkehrsteilnehmender oder des automatisierten und autonomen Fahrens wichtig. Sie stellt sicher, dass keine verkehrssicherheitskritischen Situationen durch Entscheidungen entstehen, welche auf Informationen falscher Absender basieren. Daher zahlt eine PKI positiv auf die Verkehrsstrategien der FHH ein und es ist keine Option, ohne eine PKI im Roll-Out der C-ITS-Priorisierung zu agieren. Die Bedeutung für die Verkehrsbetriebe ist auch in der VDV-Mitteilung 4022 festgehalten.

Eine C-ITS PKI ist ein kryptografisches System mit einheitlichen Regeln für das Ausstellen, Verteilen, Prüfen und ggf. Revozieren von Zertifikaten zum Signieren von C-ITS-Nachrichten wie zum Beispiel der SREM oder SSEM. Mit der Signatur kann sichergestellt werden, dass der Sender vertrauenswürdig ist und die Nachricht nicht manipuliert wurde. Für die notwendige Sicherheit muss eine PKI gemäß den EU-Regelwerken (https://cpoc.jrc.ec.europa.eu/) nach einer Zertifikatsrichtlinie (Certificate Policy) arbeiten und zertifiziert sein. Analog müssen Feldstationen, abhängig von Trust Level der PKI, gemäß europäischer Vorgaben zertifiziert sein und nach dem sogenannten Protection Profile arbeiten.

Für die Umsetzung einer PKI im Feld, müssen die OBU und RSU auf einer PKI registriert sein. Falls zwei Feldgeräte auf verschiedenen PKI-Systemen registriert sind, muss sichergestellt sein, dass zwischen den beiden PKI-Systemen ein Vertrauensverhältnis geschaffen ist. Ohne gegenseitiges Vertrauen werden empfangene C-ITS-Nachrichten verworfen und nicht weiterverarbeitet.

Insbesondere ist das Hamburger PKI-System ein essenzieller Teil der zukünftigen ÖPNV-Priorisierung mittels C-ITS-Technologie und dient generell als Absicherung der C-ITS-Kommunikation zwischen Infrastruktur und Fahrzeugen auf Basis der RICHTLINIE (EU) 2023/2661 Absatz (15)[1].

[1] „RICHTLINIE (EU) 2023/2661 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 22. November 2023 zur Änderung der Richtlinie 2010/40/EU zum Rahmen für die Einführung intelligenter Verkehrssysteme im Straßenverkehr und für deren Schnittstellen zu anderen Verkehrsträgern“, Amtsblatt der Europäischen Union, 30.11.2023