Adaptierung der V2X-Kommunikation auf den Bahnsektor

Einsatz der Rail2X-Kommunikation im Hinblick auf das Digitale Andreaskreuz

CHRISTIAN WILLE | JAN AHLSWEDE

Derzeit gibt es nur wenige technische Hilfsmittel oder auch neuere Kommunikationstechnik, die es ermöglicht, zwischen Schienen- und Straßenfahrzeugen zu kommunizieren. Diese Kommunikation ist sehr wichtig, da auch hier die Automatisierung der Fahrzeuge voranschreitet. Der Beitrag zeigt, wie die Vehicle-to-Everything (V2X)-Kommunikation auch für den Eisenbahnsektor genutzt werden kann. Zuerst wurden zwei Reichweitenmessungen im Großraum Hamburg durchgeführt. Anschließend wurde ein möglicher Systemumbau einer Anrufschranke und eines Haltewunsches auf einer Teststrecke umgesetzt. Abschließend wurden zwei Bahnübergänge (BÜ) im Großraum Hamburg mit einem Digitalen Andreaskreuz ausgestattet.

Einleitung

Unfälle an BÜ werden hauptsächlich von Straßenverkehrsteilnehmern verursacht. Die Zahl der Unfälle ist in den letzten Jahren relativ konstant geblieben und konnte bisher nicht gesenkt werden. Daher besteht Handlungsbedarf, um die Verkehrssicherheit an BÜ nachhaltig zu erhöhen und die Zahl der Unfälle zu reduzieren. Der Einsatz des Digitalen Andreaskreuzes schafft Möglichkeiten, den Verkehrsfluss im Bereich von BÜ zu optimieren, indem die Informationen für die Verkehrsteilnehmer in der Umgebung deutlich verbessert werden [12]. Der Kommunikationsstandard IEEE 802.11p wurde zusammen mit einem extra dafür softwareseitigen Protokoll für den Informationsaustausch zwischen Fahrzeugen festgelegt [1]. Um mit der Infrastruktur zu kommunizieren, wird diese dann als Vehicle-to-Everything (V2X)-Kommunikation bezeichnet. Um den Austausch zwischen anderen Verkehrsteilnehmern und dem Schienenverkehr zu erhöhen, wäre eine mögliche Lösung, die Standardtechnologien (V2X) zu verwenden. In diesen Fällen wird das Intelligente Transportation System (ITS) aus einer Road Side Unit (RSU), die als feste Basisstation installiert ist, sowie einem fahrenden Fahrzeug, hier sei es ein Auto oder ein Zug, in dem eine On-Board Unit (OBU) installiert wird, ausgestattet [2].

Motivation

Derzeit kommt es durchschnittlich jährlich zu 500 schweren Unfällen an europäischen BÜ (Stand 2019). Dabei gibt es etwa zu 60 % Schwerverletzte oder sogar Tote [3]. 2017 wurden in Deutschland 157 Unfälle gezählt. Die Erfahrung der letzten Jahre zeigen jedoch, dass mehr als 95 % der Unfälle durch Verstöße gegen die Straßenverkehrsordnung verursacht werden. Diese Zahlen sind über die Jahre hinweg relativ konstant, und ein Rückschritt ist nur mit neuen Maßnahmen erreichbar. Ein BÜ ist nach § 11 der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (EBO) eine höhengleiche Kreuzung von Eisenbahnen mit Straßen, Wegen und Plätzen. In Deutschland gibt es allein im Bereich der Deutschen Bahn AG (DB) aktuell mehr als 16 541 BÜ, von denen etwa 60 % technisch gesichert sind [4] (Stand 2019). Somit bietet sich die Möglichkeit, mit der Rail2X-Technologie bzw. dem Digitalen Andreaskreuz an diesen BÜ einen Mehrwehrt für Komfort und Sicherheit des Straßenverkehrs zu schaffen [11].

V2X-Kommunikation

V2X ist ein WLAN-ähnlicher Standard, der derzeit schon im Automobilbereich für den Informationsaustausch zwischen Fahrzeugen und der Infrastruktur angewandt wird. Über zwei Projekte hinweg wurde die Nutzung der V2X-Kommunikation für den Eisenbahnsektor evaluiert und in der Praxis erprobt. Ziel der Projekte war es, die Erforschung und Erweiterung von V2X als Rail2X in den Bahnbereich einzubringen, um den Komfort sowie die Effektivität und Wirtschaftlichkeit des Bahnbetriebs im Regionalverkehr zu steigern. Mittels mehrerer Anwendungsfälle konnte gezeigt werden, dass einerseits die Nutzung des V2X-Standards möglich und andererseits die Anwendung von kostengünstigen Standardkomponenten aus dem Automobilbereich auch im Bahnbereich zielführend ist. Die V2X-Nachrichten werden zwischen Empfängern über den erweiterten WLAN-Standard IEEE 802.11p [5] im 5-GHz-Frequenzbereich ausgetauscht. Während der Projekte wurden standardisierte V2X-Nachrichten des ETSI-Standards benutzt.

Reichweitenmessung

Da keine Reichweiteninformationen über die örtlichen Bedingungen in den verschiedenen Testumgebungen vorlagen, musste zunächst mithilfe von Reichweitenmessungen ermittelt werden, wie weit die V2X-Nachrichten gesendet und empfangen werden können. Die Reichweitenmessung wurde mit einer Cohda Wireless MK5 [8] RSU als Basisstation sowie mit einer Cohda Wireless MK5 OBU im Fahrzeug mit der letzten verfügbaren Firmware Version (Release 17; Stand 09/21) [8] durchgeführt. Die verwendeten Antennen sind die Originalantennen von Cohda Wireless. Die Aufzeichnung erfolgte mithilfe des Cohda-eigenen Messtools, das standardmäßig auf jeder Cohda OBU und RSU enthalten ist. Die Auswertung der erzeugten Dateien erfolgte mit einem eigens dafür entwickelten Werkzeug. Die verwendete Modulation war eine 12-QPSK (Vierphasen-Modulation), die die Reichweiten mit verschiedenen Paketlängen von 100, 400, 800 und 1500 Bytes berechnet. Für den ersten Anwendungsfall wurde ein tragbarer modularer Mast aufgestellt (um die optimale Höhe zu ermitteln), an dem die Antennen der RSU positioniert wurden. Abb. 1 zeigt den BÜ in der Mitte des Kreises. Hier befindet sich die RSU als Sendeeinheit in einer Höhe von 3 m. Auf der Ost-West-Achse ist eine Geschwindigkeitsbegrenzung von 50 km/h vorgeschrieben, während auf der nördlichen Straße eine Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h erlaubt ist.

Die Bewertung erfolgt auf der Grundlage der Paketfehlerrate (Packet Error Rate, PER), diese ist als farbliches Diagramm auf der rechten Seite abgebildet. Diese Fehlerrate bezieht sich auf die Datenpakete, die nicht empfangen wurden. Nicht empfangene Datenpakete lassen sich anhand der Nachrichten-ID herausfinden. Bei der Auswertung werden jeweils mehrere Nachrichten in einer vorher definierten Messstrecke zu einem Messpunkt zusammengefasst. Zur Unterteilung der PER an den Messpunkten wurden drei Kategorien definiert. Ein PER kleiner als 40 % gilt als bestmögliches Ergebnis und wird mit einem grünen Punkt in der Übersichtskarte gekennzeichnet. Ein PER zwischen 40 % und 60 % gilt als noch akzeptables Ergebnis, da hier bereits mit zunehmenden Paketverlusten gerechnet werden muss. Die letzte Kategorie ist ein PER von mehr als 60 %. Hier kann der Empfang einer Nachricht fast nicht mehr angenommen werden. In Einzelfällen kann der Empfang noch möglich sein, aber die Nachricht kann so fehlerbehaftet sein, dass sie nicht mehr verwendet werden kann. Diese Messpunkte sind in der Übersichtskarte mit einem roten Punkt markiert. Die anschließende Auswertung der Ergebnisse zeigt, dass in städtischen Gebieten aufgrund der Überdeckung durch Gebäude eine Reichweite von ca. 300 m erreicht wird bzw. noch eine V2X-Kommunikation aufrechterhalten werden kann. Dieses Ergebnis entspricht einer Kommunikationsreichweite von 21,6 Sekunden

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Deutsches Zentrum für Luftund Raumfahrt e.V. / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

Abb. 1: Auswertung der PER in Sieverstücken *Quelle: DLR*

Abb. 2: Auswertung der PER im Hamburger Hafen *Quelle: DLR*

bei 50 km/h. Auf kleineren Zufahrtsstraßen sind oft nur Geschwindigkeiten von 30 km/h erlaubt, was zu einer Zeitspanne von 36 Sekunden führt, die für die Kommunikation zwischen RSU und OBU genutzt werden kann.

Der zweite beobachtete Anwendungsfall wurde im Hamburger Hafen protokolliert. Hier wurden Reichweiten von über 500 m gemessen, wie in Abb. 2 zu sehen ist. Bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h können 36 Sekunden verwendet werden, um eine V2X-Kommunikation aufzubauen. Die doch sehr großen Reichweiten von teils über 900 m sind teilweise auf einen Tunneleffekt zurückzuführen, da parallel zur Straße viele Kesselwagen abgestellt waren. Die Masthöhe, Modulation sowie die Stärke der Nachrichten wurden hierbei nicht verändert.

Systemaufbau am BÜ

Ein BÜ wurde exemplarisch, im Rahmen des Projektes [10] an der Teststrecke Annaberg-Buchholz – Schwarzenberg, mit Rail2X-Technik ausgerüstet. Der BÜ erhielt eine Schrankenanlage des Typs Wayguard DLX, damit der vorher nichttechnisch gesicherte BÜ vom Projekt benutzbar wurde. Außerdem wurden An- und Abmeldetaster als Backup, falls die V2X-Kommunikation ausfallen sollte, installiert. Als Schnittstelle für die Rail2X-Kommunikation wurde eine Siemens ESCoS RSU verwendet. Die Abb. 3 zeigt den aufgebauten Testaufbau. Die Steuerungslogik des BÜ befindet sich hier im Schrankenfuß.

Sobald sich ein mit V2X ausgerüsteter Straßenverkehrsteilnehmer dem BÜ nähert und eine Anfrage zur Querung stellt, wird die Kommu-

Abb. 3: Rail2X-BÜ auf dem digitalen Testfeld *Quelle: Siemens*

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Deutsches Zentrum für Luftund Raumfahrt e.V. / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

Abb. 4: Komponentendiagram am BÜ [13] *Quelle: Siemens*

nikation zur RSU aufgebaut und validiert. Die Kommunikation, die hierfür zwischen OBU des Fahrzeugs und der RSU des BÜ aufgebaut wird, geschieht durch das periodische Versenden der Fahrzeugposition als CAM-Nachricht (Cooperative Awareness Messages). Der BÜ empfängt diese Information und berechnet daraus die Entfernung des Kfz. Wird die Entfernung entsprechend kleiner und fällt unter einen definierten Radius, ist das Fahrzeug automatisch angemeldet, solange es regelmäßig CAM sendet und innerhalb dieses Radius bleibt. Durch die Anmeldung ist das Fahrzeug dazu berechtigt, eine Anfrage zum Überqueren des BÜ zu stellen. Dazu versendet es eine SREM-Nachricht (Signal Request Extended Message). Die SREM-Nachricht entspricht der Anfrage des Fahrzeugs zur Überquerung des BÜ. Die RSU leitet die Anfrage vom Fahrzeug an die M-COM (Modular Communication)-Einheit über die Xfer-Schnittstelle weiter, was in Abb. 4 schematisch dargestellt ist. Dabei handelt es sich um eine verschlüsselte Verbindung: Die M-COM verfügt über einen Sicherheitsschlüssel, der über ein auf der Firmware der RSU hinterlegtes Zertifikat erzeugt wird. Nach erfolgreicher Querung erfolgt die Abmeldung automatisch, sobald sich der Straßenverkehrsteilnehmer vom BÜ entfernt hat [7].

Als BÜ wurde das Modell Wayguard DLX der Firma Siemens eingesetzt und für das Forschungsprojekt entsprechend angepasst. Entgegen der sonst eher üblichen Ausstattung von BÜ besaß der nun ausgerüstete BÜ weder eine Verbindung zum Stellwerk noch zu Sensoren für die Erkennung von Zugbewegungen. Auf diese Weise konnte ein aufwendiger Projektierungs- und Zulassungsprozess vermieden werden. Da der Fokus des Forschungsprojekts auf der Rail2X-Kommunikation lag, bedeutete dies deshalb keine Einschränkung bei der Bearbeitung der Forschungsfrage.

Systemaufbau Schienenfahrzeug – Verkehrsstation

Derzeit gibt es im deutschen Schienennetz viele Formen von Bedarfshalten. Im einfachsten Fall gibt es keine technische Unterstützung. Das bedeutet, dass sowohl Triebfahrzeugführer (Tf) als auch Fahrgast durch Beobachtung der Strecke bzw. der Station einen Bedarfshalt einleiten können. Ein Bedarfshalt im Personenverkehr bietet aus Sicht des Fahrgastes mehrere Vorteile. Zum einen verkürzen sich die Reisezeiten, da unnötige Halte entfallen. Je nach Streckenführung und Sichtbarkeit der Bedarfshalte bietet die Rail2X-Technologie den Vorteil, dass die Kommunikation zwischen Fahrgast und Tf deutlich verbessert wird. Nach einem erfolgten Haltewunsch kann der Tf eine Bestätigung zur Station senden (Abb. 5), damit dem Fahrgast

Abb. 5: Digitaler Schriftanzeiger (DSA) mit Schienenfahrzeug *Quelle: DLR*

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Deutsches Zentrum für Luftund Raumfahrt e.V. / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

Abb. 6: Aufbau der Systemkomponenten für den Haltewunsch *Quelle: DLR*

Abb. 7: Aufbau Digitales Andreaskreuz [13] *Quelle: Siemens*

auch vor Ort über einen Digitalen Schriftanzeiger (DSA) gezeigt wird, dass sein Haltewunsch erfolgreich entgegengenommen wurde.
Die schematische Systemübersicht einer Station mit Bedarfshalt ist in Abb. 6 dargestellt. Diese besteht aus den drei Bausteinen Systemeinheit am Bahnsteig, Systemeinheit Hopping-Station und der Systemeinheit im Zug. Die Systemeinheit am Bahnsteig und die Ausrüstung im Triebfahrzeug agieren über die Luftschnittstelle miteinander. Die Systemeinheit Hopping-Station dient zur Erhöhung der Reichweite und leitet alle eingehenden V2X-Nachrichten weiter, ohne sie zu verändern [6].

Digitales Andreaskreuz

Im zweiten Forschungsprojekt [9] wurden zwei BÜ im Großraum Hamburg mit Technik für die Rail2X-Kommunikation ausgestattet. Auch hier steht die Vernetzung von BÜ und Straßenverkehrsteilnehmern im Forschungsschwerpunkt. Es wurden sowohl technisch gesicherte als auch nichttechnisch gesicherte BÜ in die Lage versetzt, ihren Standort sowie ihren Öffnungszustand per drahtloser Kommunikation an Straßenverkehrsteilnehmer in ihrer Umgebung zu senden [9]. Für die Informationsübermittlung wird der BÜ mit einer RSU ausgestattet, sodass eine Kommunikation mittels V2X ermöglicht wird. Die von den BÜ empfangenen Informationen werden automatisiert verarbeitet und den Verkehrsteilnehmern dargestellt (Abb. 7).
Durch die Nutzung des Digitalen Andreaskreuzes entstehen Möglichkeiten der Verkehrsflussoptimierung im Umfeld von BÜ, da sich die Informationslage für die Straßenverkehrsteilnehmer im Umfeld erheblich verbessert. Die Qualität der Ankunftsprognose für das Routing der Straßenverkehrsteilnehmer kann durch die Verwendung der zusätzlichen Informationen des BÜ optimiert werden. Staus bzw. Standzeiten an geschlossenen BÜ können reduziert werden. Ferner kann der Verkehrsfluss optimiert werden, indem durch die anonymisierte Auswertung der V2X-Signale der vorbeifahrenden Fahrzeuge das Verkehrsaufkommen in der Umgebung der jeweiligen BÜ besser prognostiziert werden kann. Dies führt zu einem besseren Verkehrslagebild für alle Verkehrsteilnehmer. [12]

Szenario Test und Ergebnisse

Die beschriebenen Kommunikationen wurde im Zusammenspiel mit einem V2X-fähigen Schienen- und Straßenfahrzeug getestet. Nach korrekter Implementierung des Standards ETSI ITS TS 103 301 [5] konnte die Kommunikation zwischen Straßenfahrzeug und BÜ aufgebaut sowie ein bedarfsgesteuertes Öffnen der Anrufschranke per Rail2X-Nachrichten realisiert werden. Das Straßenfahrzeug empfängt die Position des BÜ sowie dessen Sicherungszustand und ist somit in der Lage, nach einer Anmeldung am BÜ eine Überquerung zu beantragen. Auch die Abmeldung des Straßenfahrzeugs nach erfolgreicher Überquerung des BÜ wurde über Positionsmeldungen des Straßenfahrzeugs wie geplant durchgeführt.

Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des Rail2X-Projekts wurde gezeigt, dass die V2X-Kommunikation nicht ausschließlich auf den Automobilbereich beschränkt sein muss, sondern dass es auch Handlungsfelder für den Bahnsektor gibt. Der Einsatz der V2X-Technologie und ihr Potenzial ist riesig, da mittlerweile auch in der Automobiltechnik standardisierte und seriengefertigte Komponenten verbaut werden. Während des Projekts lag der Fokus auf dem Informationsaustausch zwischen dem schienengebundenen Fahrzeug und einem Kraftfahrzeug bzw. einem Infrastruktursystem. Andere Anwendungsfälle konzentrierten sich auf die Kommunikation zwischen Zug und Bedarfshalt sowie auf die Interaktion zwischen einem Kraftfahrzeug und einer Bahnübergangssicherungsanlage (BÜSA) zur Überquerung der Schieneninfrastruktur auf der Straßenseite. An den Anwendungsfällen konnte gezeigt werden, dass durch geringen technischen Aufwand Bestands-BÜ mit V2X-

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Deutsches Zentrum für Luftund Raumfahrt e.V. / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH

fähiger Hardware kostengünstig nachgerüstet werden können, um die Kommunikation von Schienenfahrzeug und Straßenverkehrsteilnehmer zu ermöglichen. An nichttechnisch gesicherten BÜ kann die Nachrüstung ebenfalls erfolgen. Benötigt wird aber immer eine zusätzliche Ausrüstung der beteiligten Schienenfahrzeuge mit einer OBU. Hier kann aber durch kostengünstige Lösungen aus der Automobilbranche Abhilfe geschaffen werden, damit der Komfort und die Gesamtsicherheit am BÜ in Zukunft erhöht werden können. ■

Rechtlicher Hinweis / Förderhinweis
Die hier vorgestellten Arbeiten wurden durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Programm mFund gefördert. Außerdem wurden Zuwendungen aus dem Bundeshaushalt 2020 für das „Verbundprojekt: RealLabHH – Reallabor „Nationale Plattform Zukunft der Mobilitat“ gefördert. Die vorliegenden Ergebnisse sind im Rahmen des Projektes Rail2X-Smart Services (19F2010) sowie des Reallabor Hamburg (01MM2006HH) entstanden.

QUELLEN

[1] EN 302 663 V1.2.0. 2012. Intelligent Transport Systems (ITS); Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency ban https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302600_302699/302663/01.02.00_20/en_302663v010200a.pdf (abgerufen am 10.01.2022 gegen 10:00)

[2] Schmidt, R. K.; Leinmüller, T.; Böddeker, B.: V2X Kommunikation: 17. Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik

[3] European Union Agency for Railways: Safety Overview, 2021 https://www.era.europa.eu/sites/default/files/library/docs/annual-overview-safety-2021_en.pdf (abgerufen am 21.12.2021 gegen 14:00)

[4] DN Netze: Fragen und Antworten Bahnübergang, 2017 https://www.deutschebahn.com/resource/blob/4370142/6a0608020edac44e5495b061fe52d0c0/FAQ-BUe-06-2019-data.pdf (abgerufen am 21.12.2021 gegen 14:00)

[5] ETSI TS 103 301 V1.3.1 (2020-02) Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Facilities layer protocols and communication requirements for infrastructure services https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/103300_103399/103301/01.03.01_60/ts_103301v010301p.pdf (abgerufen am 10.01.2022 gegen 10:00)

[6] Grünhäuser, M.; Hauck, R.; Meirich, C.; Schubert, L. A. (2019): Rail2X: Der Einsatz von V2X-Technologie im Eisenbahnbereich, SIGNAL+DRAHT (113), 7+8/2019, S. 53-59

[7] Meirich, C.; Grünhäuser, M.; Strub, L.; Pirl, L.; Schubert, L. A.; Wille, C.; Dralle, M.; Reisig, J.; Brack, J.; Weiß-Saomi, S.; Polze, A. (2020): Rail2X - Smart-Services (Projektabschlussbericht). Projektbericht. https://elib.dlr.de/135454/

[8] https://cohdawireless.com - Herstellerwebsite (abgerufen am 10.01.2022 gegen 10:00)

[9] https://reallab-hamburg.de/projekte/digitales-andreaskreuz/ - Projektwebsite (abgerufen am 10.01.2022 gegen 10:00)

[10] https://www.rail2x.berlin - Projektwebsite (abgerufen am 10.01.2022 gegen 10:00)

[11] Bundesrepublik Deutschland: Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung vom 08.05.1967 (BGBl. 1967 II S. 1563), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 05.04.2019 (BGBl. I S. 479) geändert worden ist

[12] Grippenkoven, J. D.: Wahrnehmung und Verhalten am Bahnübergang, Deine Bahn, 02/2017, S. 10-15, Bahn Fachverlag, ISSN 0948-7263. https://elib.dlr.de/111403/

[13] Ahlswede, J.; Braband, J.; Busse, R.; Gerber, J.: Bahnübergänge kommunizieren mit Straßenverkehr – Aus- und Nachrüstung der Rail2X-Technologie, SIGNAL+DRAHT (113) 11/2021, S. 45-54

Christian Wille M. Eng
Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR),
Institut für Verkehrssystemtechnik, Berlin
christian.wille@dlr.de

Jan Ahlswede, M. Sc.
Project Engineer
Siemens Mobility GmbH, Braunschweig
jan.ahlswede@siemens.com

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Deutsches Zentrum für Luftund Raumfahrt e.V. / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH