

„Digitales Andreaskreuz“ – Bahnübergänge mit Rail2X- Technologie

Jan Ahlswede, Jens Braband, Robert Busse und Julien Gerber

1 Einleitung

Eine zukunftssichere Digitalisierung ist die Basis für eine zuverlässige Sicherung von Bahnübergängen (BÜ) und eine Grundvoraussetzung, um in den nächsten Jahrzehnten einen reibungslosen Bahnbetrieb zu ermöglichen. Digitale Technologien am BÜ sind Innovationen, die dem Schienen- und Straßenverkehr nutzen.

Der vorliegende Beitrag erläutert die neue Funktion eines „digitalen Andreaskreuzes“ und beschreibt dessen Mehrwert für Komfort und Sicherheit des Straßenverkehrs. Den Kern dieses Ansatzes bildet die Kommunikation zwischen Infrastruktur und Straßenverkehrsteilnehmern, im Allgemeinen als Vehicle2X-Kommunikation (V2X) und hier spezifisch als Rail2X-Kommunikation bezeichnet. Sie stellt eine wichtige Voraussetzung dar, um die Sicherheit der Straßenverkehrsteilnehmer durch Automatisierung zu erhöhen.

2 Bahnbetrieblicher Hintergrund zum Anwendungsfall

Anrufschranken sichern einen straßenseitig wenig genutzten BÜ mit Schranken, die in Grundstellung geschlossen sind und somit die Querung des BÜ durch den Straßenverkehr unterbinden. Dieser Zustand wird bei Öffnungswunsch seitens des Straßenverkehrsteilnehmers geändert und die Schranken werden durch den zuständigen, meist entfernt befindlichen Fahrdienstleiter (FdI)/BÜ-Wärter geöffnet. Möchte ein Verkehrsteilnehmer den BÜ passieren, so meldet er sich über eine Wechselsprechanlage beim BÜ-Bediener an. Dieser prüft den Streckenabschnitt und kündigt das Öffnen über die Wechselsprechanlage an.

Der Gefahrenraum kann dabei üblicherweise nicht vom zuständigen Bediener eingesehen und somit auch nicht visuell überwacht werden. Da der BÜ-Bediener den Gefahrenraum nicht einsehen kann, wird der Verkehrsteilnehmer aufgefordert, die Räumung des Gefahrenraumes per Wechselsprechanlage zu bestätigen. In Ausnahmefällen darf der BÜ-Bediener über die Geräusche am BÜ die Räumung des Gefahrenraumes ableiten und die Schranken wieder schließen. Bevor er die Schran-

ken schließt, kündigt er das Schließen wieder über die Wechselsprechanlage an. Selten sind bei den Anrufschraken Kamerasysteme installiert, um mehr Sicherheit zu gewährleisten. Die Kommunikation an Anrufschraken gestaltet sich somit oft umständlich und aufwendig.

Hinsichtlich der Zentralisierung im Bahnnetz ist es zukünftig wünschenswert, den Schrankenwärter bzw. den Fdl von der Bedienungsfunktion der Anrufschrake zu entlasten. Die Vorteile einer Anrufschrake sind dennoch vorhanden. So zum Beispiel, dass es derzeit nicht erforderlich ist, eine technische Gefahrenraumfreimeldung vorzusehen und dass die Anforderungen an den Straßenbau eher gering einzustufen sind. Aus diesen Gründen sind technische Lösungen zum Erhalt der betrieblichen Funktion bei gleichzeitiger Entlastung des Bedieners anzustreben [1].

Hier bietet Rail2X einen Lösungsansatz, indem der Kommunikationsweg zwischen BÜ-Steuerung und Verkehrsteilnehmer automatisiert wird. Durch automatisierte An- bzw. Abmeldung der Straßenverkehrsteilnehmer und darüber hinaus die automatisierte Räumungserkennung wird diese Funktion deutlich vereinfacht. Dieser vereinfachte Betrieb einer Anrufschrake verbessert in direkter Folge deren Wirtschaftlichkeit.

Auch für die Straßenverkehrsteilnehmer erhöht die Kommunikation mit Rail2X den Komfort, weil sie nicht vor der Schranke anhalten müssen. Dadurch gestaltet sich der Verkehrsbetrieb flüssiger und die Wartezeit der Straßenverkehrsteilnehmer kann verringert werden. In Deutschland befinden sich noch ca. 700 Anlagen mit Anrufschraken in Betrieb. Die Technologie ist für alle Überwachungsarten herstellerunabhängig einsatzbereit.

3 Das Rail2X-Projekt

„Rail2X-Smart Services“ (hier kurz mit Rail2X bezeichnet) war ein Förderprojekt aus dem Modernitätsfonds mFUND des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), das von 2017–2020 den Einsatz von WLAN-Kommunikation (WLAN-p, IEEE 802.11p) im Kontext des Eisenbahnbetriebs erforscht und erprobt hat [2]. Das Konsortium bestand aus den Partnern DB System, Siemens Mobility GmbH, DLR, HPI und Dralle Systementwicklungen. Das Digitale Testfeld der Deutschen Bahn AG (DB) im Erzgebirge (Strecke Annaberg-Bucholz–Schwarzenberg (BSg)) wurde dabei als Laborumgebung zur Erprobung genutzt.

Rail2X demonstrierte drei Einsatzfälle: den Einsatzfall „Services und Diagnose“ (Zug sammelt Wartungsdaten von Feldelementen, wie Weichen, Signalen etc.), den Einsatzfall „Anrufschrake“ (Kfz fordert aktiv die Öffnung des BÜ an) sowie den Einsatzfall „Bedarfshalt“ (Fahrgast auf Bahnsteig übermittelt Haltewunsch an Zug). Allen drei Fällen gemeinsam ist die Benutzung von WLAN-p aus der V2X-Kommunikation. Diese wurde dabei für den Einsatz im Eisenbahnbetrieb adaptiert – ohne Protokolle und

Produkte zu ändern. D. h. es können Standard-Komponenten aus dem Automotivebereich verwendet werden.

Die Vorteile dieses Ansatzes sind jedem Smartphone-Nutzer sofort offensichtlich, denn im Gegensatz zum Mobilfunk kann WLAN kostenlos angeboten werden und insbesondere mit WLAN-p ist direkte Kommunikation zwischen den Geräten möglich, und es können sogenannte adhoc-Netzwerke aufgebaut werden, d.h. Nachrichten können per sogenanntem „Hopping“ weitergeleitet werden. Für Verkehrsanwendungen gibt es zudem geschützte Frequenzbänder, in denen mit höheren Leistungen gearbeitet werden kann als im öffentlichen WLAN. Je nach Ausbreitungsbedingungen und Topologie sind mit WLAN-p Reichweiten von 500–1000 m möglich, wobei direkte Sicht zwischen den Stationen vorteilhaft ist. Ein weiterer Pluspunkt besteht darin, dass bei WLAN-p schon eine starke Security-Funktionalität vorgesehen ist.

In diesem Artikel liegt der Schwerpunkt auf dem Einsatzfall „Bahnübergang“, der in Rail2X anhand einer Anrufschränke implementiert wurde. Man mag sich wundern, warum gerade dieser Einsatzfall gewählt wurde, wo die Anrufschränke unter den technisch gesicherten BÜ doch eher selten vorkommt? Aus technischer Sicht handelt es sich jedoch um den anspruchsvollsten Fall, da hier eine bidirektionale Kommunikation zwischen Kfz und BÜ notwendig ist. In vielen anderen Einsatzfällen verteilt der BÜ lediglich Informationen im Broadcast so wie eine Lichtsignalanlage. Außerdem können hier sowohl die Effektivität als auch der Komfort sowohl für den Autofahrer als auch für den Fdl erhöht werden.

Im Rail2X-Projekt wurde eine Anrufschränke betrachtet, die in Grundstellung geschlossen ist und sich nur bei straßenseitigem Bedarf und bei bahnseitiger



Abb. 1: Rail2X-Testaufbau

Quelle aller Abb.: Siemens Mobility GmbH

Freigabe öffnet. Es wurde eine bidirektionale Kommunikation zwischen Straßenverkehrsteilnehmer und der Bahnübergangssicherungsanlage (BÜSA) durch Rail2X realisiert. Dabei versendet der BÜ seine Position und seinen Öffnungszustand per V2X. Straßenverkehrsteilnehmer melden sich beim BÜ an und können im Falle eines Überquerungswunschs eine Öffnung beantragen. Nach der Überquerung wird der Straßenverkehrsteilnehmer wieder abgemeldet, wodurch die Schließung der Schranken veranlasst wird.

Im Rahmen des Projektes wurde ein BÜ der Teststrecke Annaberg-Buchholz – Schwarzenberg mit Rail2X ausgerüstet. Der zuvor technisch nicht gesicherte BÜ wurde um einen modernen digitalen BÜ mit Schrankenanlagen, An- und Abmeldetaster als Rückfallebene und Warn- und Blindenlautsprecher erweitert. Als Rail2X-Ausrüstung wurde eine ESCoS RoadSide Unit (RSU) verwendet. Abb. 1 zeigt den durchgeführten Testaufbau.

Abhängig davon, ob Straßenverkehrsteilnehmer mit einer V2X-Komponente ausgerüstet sind, unterscheidet sich deren Interaktion mit der BÜSA:

3.1 Straßenverkehrsteilnehmer mit V2X

Der mit Rail2X ausgerüstete Straßenverkehrsteilnehmer besitzt eine On Board Unit (OBU), welche eine Rail2X-Kommunikation mit der BÜSA ermöglicht. Dabei dient die RSU auf Seiten des BÜ als Schnittstelle. Wenn die Route zur Überquerung des BÜ eindeutig ist, erfolgt die Anfrage des Straßenverkehrsteilnehmers zur Überquerung ab einer bestimmten Entfernung zur Anrufschanke automatisch. Wenn die Route nicht eindeutig ist, bspw. durch eine Kreuzung vor der Anrufschanke, muss der Straßenverkehrsteilnehmer seinen Überquerungswunsch über ein Human Machine Interface (HMI) anmelden. Die Abmeldung nach erfolgter Überquerung erfolgt automatisch, sobald sich der Teilnehmer, bspw. ein Kfz, wieder vom BÜ entfernt hat.

3.2 Straßenverkehrsteilnehmer ohne / mit gestörtem V2X

Hierbei handelt es sich um Verkehrsteilnehmer ohne V2X-Schnittstelle. Dies können sowohl nicht-motorisierte Verkehrsteilnehmer (Fußgänger oder Fahrradfahrer) als auch motorisierte Fahrzeuge (Pkw, Lkw, Motorrad) ohne OBU sein. Weiterhin bildet diese Bedienung eine Rückfallebene bei Ausfall der Rail2X-Schnittstelle. Über Anmeldetaster wird der Überquerungswunsch angemeldet, mit den Abmeldetastern können sich Straßenverkehrsteilnehmer nach erfolgter Überquerung wieder abmelden.

Dazu stellt Abb. 2 die Lösungsarchitektur des Use Case 2 als Komponentendiagramm dar.

Wichtig ist hier zu erwähnen, dass keine Kommunikation zu einem Stellwerk oder

dem FdI implementiert wurde, sondern diese Funktionalität simuliert bzw. emuliert wurde. Die Schnittstelle des Kommunikations- und Diagnosemoduls M-COM zur digitalen BÜSA erfolgte rückwirkungsfrei über eine Ethernet-Schnittstelle. Diese digitale Schnittstelle erwies sich als besonders vorteilhaft, da das Diagnosemodul M-COM direkt mit der Sicherungsanlage kommunizieren kann.

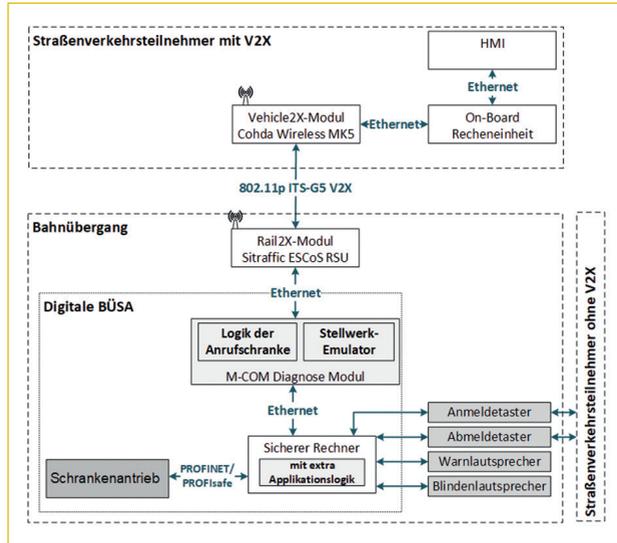


Abb. 2: Lösungsarchitektur des Use Case Anrufschanke

4 Kommunikation mit V2X-Technologie am BÜ

Die V2X-Technologie beinhaltet die Kommunikation von Verkehrsteilnehmern untereinander. Der Fokus liegt hierbei in den Inhalten des Informationsaustauschs, beispielweise Beeinträchtigungen auf der Straße, Staus oder auch den Zustand einer BÜSA – also geschlossen oder offen. Durch die Kenntnis dieser Information kann sich der Fahrer auf die Beeinträchtigung vorbereiten oder sie meiden.

Die V2X-Nachrichten werden zwischen Verkehrsteilnehmern über den erweiterten WLAN-Standard IEEE 802.11p im 5,9-GHz-Frequenzbereich ausgetauscht. In Europa ist für die Schaffung dieser weltweit anwendbaren V2X-Standards vorrangig das European Telecommunications-Standard Institut (ETSI) zuständig.

Bisherige Forschungsschwerpunkte lagen überwiegend im Straßenverkehrssektor, weshalb die Definition der Schnittstellenbeschreibungen hier weit fortgeschritten ist. Im Bereich der Bahntechnik bietet sich die Option, den Standardisierungsprozess aktiv zu begleiten und basierend auf unseren Erkenntnissen zu formen. Oberstes Gebot ist dabei immer, die vollständige Kompatibilität zu anderen Verkehrsteilnehmern zu gewährleisten. Um den Zustand des BÜ mithilfe der V2X-Technologie dem Verkehrsteilnehmer verfügbar zu machen, bedarf es einer einfachen und schlichten Nachrüstung des BÜ. Siehe hierzu die genannten Möglichkeiten im Unterkapitel 4.1 „Kommunikation mit dem BÜ“.

Der BÜ wird nur mit minimaler zusätzlicher Hardware ausgestattet. Die Sitraffic ESCoS RSU von Siemens (Abb. 3) wird zu diesem Zweck in der Nähe des BÜ installiert, um als Sender und Empfänger für die V2X-Nachrichten zu fungieren. Bislang gibt es zwei unterschiedliche Verbreitungsstrategien, nämlich einen dezentralen Ansatz in der Form des WLAN-P/V2X und einen zentralen Ansatz in der Form des LTE/C-V2X. Im Hinblick auf redundante Rückfallebenen bietet die Hardware die Möglichkeit, mit beiden Technologien zu senden und zu empfangen und ist somit bestens geeignet für die Kommunikation am BÜ.



Abb. 3: Siemens Sitraffic ESCoS RoadSide Unit

4.1 Kommunikation mit dem BÜ

Da die installierte RSU zunächst keine direkte Schnittstelle mit dem bestehenden BÜ besitzt, können verschiedene Wege genutzt werden, um die benötigten Informationen zu erlangen. Um die BÜ mit der V2X-Technologie ausrüsten zu können, werden zwei Beispiele anhand des technisch gesicherten und nicht technisch gesicherten BÜ vorgestellt.

4.1.1 Möglichkeit 1: Technisch gesicherter BÜ am Beispiel des WayGuard Simis LC

Das Simis LC-System besitzt für Wartungs- und Diagnosezwecke ein Diagnosemodul. Mithilfe einer einfachen TCP/IP-Ethernet-Socket-Verbindung wird der aktuelle Status des BÜ aus dem Diagnosemodul rückwirkungsfrei an eine dahinter geschaltete Auswertelogik gesendet (Abb. 4). Im Rahmen des Teilprojektes „Digitales Andreaskreuz“ des Real-Lab Hamburgs wurde dieses System in Hamburg erprobt [3].

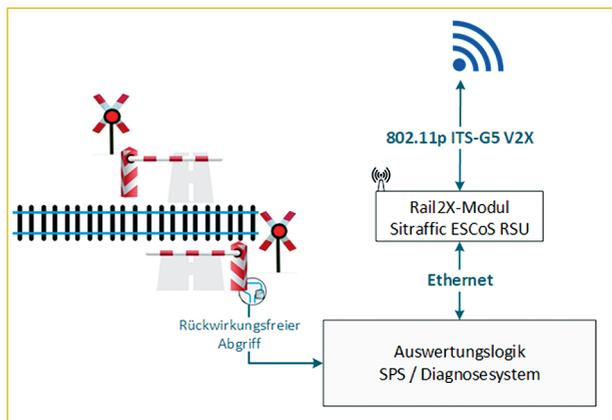


Abb. 4: Auswertung des technisch gesicherten BÜ

Der Auswertungslogik wird der Status des bereits vorhandenen Diagnosemoduls mittels TCP/IP-Schnittstelle übermittelt und anschließend durch die Auswertungslogik in V2X-Nachrichten umgewandelt. Sollte ein Diagnosemodul nicht vorhanden sein, gibt es weitere Möglichkeiten, den Status des BÜ rückwirkungsfrei abzugreifen. Näheres dazu in Abschnitt 5 „Nachrüstung von BÜ mit Rail2X-Technologie“.

4.1.2 Möglichkeit 2: Nicht technisch gesicherter BÜ

Da es mindestens genauso viele nicht technisch gesicherte BÜ gibt, müssen für diese ebenfalls Lösungen gefunden werden. Hier kann nicht auf einen technischen Abgriff gesetzt werden. Aus diesem Grund wird die Möglichkeit erforscht, den Zug mit einer OBU auszurüsten. Diese Technik erlaubt es dem Zug, regelmäßig eine Nachricht mit Positionsdaten sowie dessen Geschwindigkeit auszusenden. Empfängt nun die RSU am BÜ diese

Nachrichten, kann sie den Abstand zu der eigenen Position auswerten und den BÜ frühzeitig als „belegt“ oder „geschlossen“ melden (Abb. 5).

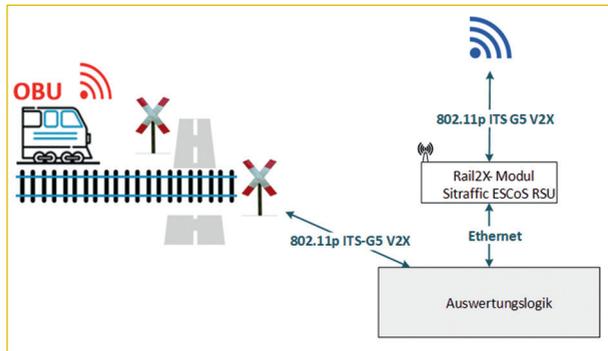


Abb. 5: Auswertung des nicht technisch gesicherten BÜ

Nachrichten, kann sie den Abstand zu der eigenen Position auswerten und den BÜ frühzeitig als „belegt“ oder „geschlossen“ melden (Abb. 5).

4.2 Nachrichtenformate

Damit die Nachrichten von möglichst vielen Verkehrsteilnehmern verstanden werden können, werden der bestehende ETSI V2X-Standard und dessen Nachrichtencontainer MAP (topology) Extended Message (MAPEM), Signal Phase and Timing Extended Message (SPATEM) und Cooperative Awareness Message (CAM) verwendet.

Mithilfe der MAPEM-Nachricht wird die Straßentopologie nahe dem BÜ abgebildet, sodass ausschließlich Verkehrsteilnehmer in der Nähe des BÜ den Status des BÜ angezeigt bekommen. In Abb. 6 ist eine beispielhafte MAPEM-Topologie am BÜ Sieversstücken dargestellt.

Das Nachrichtenformat CAM wiederum wird von dem herankommenden Zug ausgesendet. Dieses Nachrichtenformat beinhaltet die Datencontainer für die GPS-Position sowie die Geschwindigkeit und Länge des Zuges. Mit diesen Informa-

tionen ist die RSU mithilfe der Auswertungslogik in der Lage, die Entfernung des Zuges zu ermitteln und den entsprechenden Status des BÜ auszusenden. Der Status des BÜ wird mithilfe der SPATEM-Nachricht übermittelt.

Im Eingang wurde darauf hingewiesen, dass der Schnittstelle Pkw und Zug am BÜ wenig Beachtung geschenkt wurde. Da es für den SPATEM-Nachrichtencontainer keine vordefinierten Signale für den Status eines BÜ gibt, wird aktuell die Adaption der Ampel als Fahrtfreigabe für den Status des BÜ verwendet.

Im Falle des technisch gesicherten BÜ werden die beiden Nachrichtenevents „stop and remain“ für den Fall, dass der BÜ geschlossen ist, gesendet und „protected movement allowed“ wird im Falle des geöffneten BÜ gesendet. Sollte keine Aussage über den Status des BÜ getroffen werden können, wird das Nachrichtenevent „unavailable“ ausgesendet.

Für den nicht technisch gesicherten BÜ werden die Nachrichtenevents „caution conflicting traffic“ für den Fall des herankommenden Zuges und „permissive movement allowed“ für den Fall, wenn kein sendender Zug in Reichweite ist, versendet. In Zukunft sollen für genau solche Fälle konkrete Eventnachrichten in den Standard mit aufgenommen werden.

5 Nachrüstung von BÜ mit Rail2X-Technologie

Im Netz der DB befinden sich aktuell etwa 10000 technisch gesicherte BÜ. Unter diesem Gesichtspunkt stellt die Nachrüstbarkeit bereits bestehender Anlagen einen wichtigen Punkt in Hinblick auf die flächendeckende Einführung dieser Technologie dar. Bei streckenseitiger Sicherheitstechnik handelt es sich um langlebige Systeme. Daher stellt bei der Nachrüstung bestehender Anlagen die Möglichkeit des rückwirkungsfreien Signalabgriffs bei unterschiedlichen Technologien eine besondere Herausforderung dar.

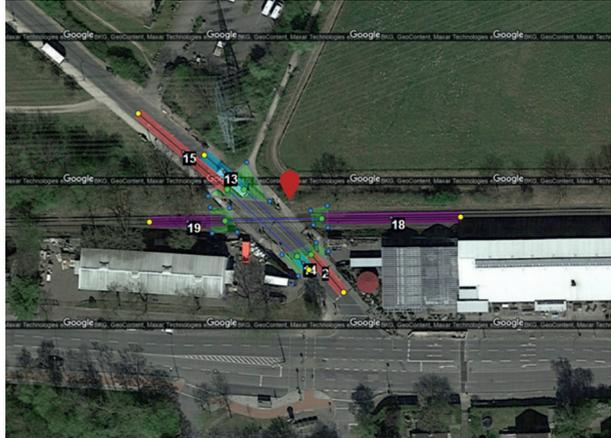


Abb. 6: MAPEM-Topologie eines BÜ in Hamburg
Sieversstücken

Der Aufbau des V2X-Systems folgt dabei immer dem gleichen Schema (Abb. 4). Die gesammelten Zustandsinformationen werden durch eine Auswertungslogik (in der Regel eine SPS) analysiert, in die entsprechende V2X-Information gewandelt und über ITS-G5 versendet. Mehrere Projektgruppen arbeiten weltweit an Lösungen, unsere ESCoS RSU an die nationalen Technologien anzupassen. Der einfachste Anwendungsfall ist natürlich derjenige, bei dem der BÜ schon eine digitale Schnittstelle zum Abgriff des Zustands bereitstellt, wie z. B. im Erzgebirge bei Rail2X (Abb. 2) oder in Sieversstücken an einer SIMIS LC BÜSA (Abb. 4) demonstriert werden konnte.

Gute Erfahrungen konnten bereits bei der Anbindung an Relais-Stellwerke eines australischen Bahnbetreibers erzielt werden. Zustandsinformationen von sicherheitskritischen Relais können hier durch zusätzliche Relais rückwirkungsfrei gespiegelt und im Anschluss verarbeitet und verbreitet werden. Feldtests ergaben, dass die Warnung des erst später sichtbaren BÜ insbesondere für Lkw eine spürbare Verringerung der Unfallgefahr nach sich zieht.

Eine universelle und bereits erprobte Lösung zur Nachrüstung ist die Nutzung von Hallensensoren. Diese können Stromflüsse in den Signalleitungen detektieren. Somit können ganze Signalbegriffe identifiziert und über V2X versendet werden.

Das Besondere an dieser Methode ist, dass die Hallensensoren bei nahezu jeder Sicherungstechnik einsetzbar sind und keinen Eingriff in die Bestandstechnik benötigen. Die Montage erfolgt, ohne Kontakte oder Verbindungen zu manipulieren. Gerade bei älterer Technik bietet dies die Option der rückwirkungsfreien Nachrüstung, ohne die Gefahr einer Neubegutachtung.

Jedoch beschränken wir uns nicht nur auf BÜ, sondern erforschen auch weitere Einsatzmöglichkeiten und deren Umsetzbarkeit. So konnten beispielsweise alle Signalzustände eines KS-Signals rückwirkungsfrei detektiert, digitalisiert und versendet werden (Abb. 7). Gerade in Terrain mit kurzen Sichtlinien kann dies dem Lokführer zusätzliche Informationen bieten, um sich auf den neuen Signalbegriff vorzubereiten. Dieses Szenario zeigt, wie vielfältig die Potenziale der V2X-Technologie auch im Rahmen der Bahntechnik sein können.



Abb. 7: Signalabgriff an einem KS-Signal

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Verwendung von V2X-Technologien birgt für die Eisenbahn ein großes Potenzial, da hiermit für die Automobiltechnik standardisierte und in großer Stückzahl gefertigte Komponenten auch im Bahnbereich genutzt werden können, und zwar auf eigenen Frequenzen. Damit ergeben sich nicht nur für BÜSA neue Möglichkeiten, den Komfort und auch die Sicherheit für die Straßenverkehrsteilnehmer zu erhöhen.

Dazu ist es notwendig, dass BÜSA rückwirkungsfrei nachgerüstet werden können. Dies konnte in verschiedenen Studien und Projekten erfolgreich demonstriert werden, sodass eine Nachrüstung von BÜSA für fast alle Bauarten angeboten werden kann.

Quellen

- [1] Pelz, M.: Optimierung der Bahnübergangssicherung für bedarfsgesteuerte Schranken, Dissertation, TU Braunschweig, 2012
- [2] Meirich, C. et al.: Rail2X Smart Services, Projektabschlussbericht, erschienen in: Berichte aus dem DLR Institut für Verkehrssicherungstechnik, Band 36, 2020
- [3] RealLabHH: Digitales Andreaskreuz, <https://reallab-hamburg.de/projekte/digitales-andreaskreuz/>, letzter Abruf 17.6.2021

Förderhinweise

Die hier vorgestellten Arbeiten wurden vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Programm mFUND im Rahmen des Projektes Rail2X Smart Services sowie des Teilprojekts Digitales Andreaskreuz (DiAK) des Reallabor Hamburg Digitale Mobilität gefördert.



Jan Ahlswede M. Sc.
Projektingenieur
jan.ahlswede@siemens.com



Prof. Dr. Jens Braband
Principal Expert RAMS
jens.braband@siemens.com



Dipl.-Ing. Robert Busse
Vertriebsleiter BÜSA
robert.busse@siemens.com



Julien Gerber M. Sc.
Projektingenieur
julien.gerber@siemens.com

Alle Autoren:
Siemens Mobility GmbH,
Braunschweig