

Bahnübergänge kommunizieren mit Straßenverkehr – Aus- und Nachrüstung der Rail2X-Technologie

Level crossings communicate with road traffic – installing and retrofitting Rail2X technology

Jan Ahlswede | Jens Braband | Robert Busse | Julien Gerber

Die zukunftsichere Digitalisierung ist die Basis für eine zuverlässige Sicherung an Bahnübergängen (BÜ) und eine Grundvoraussetzung, um in den nächsten Jahrzehnten einen reibungslosen und pünktlichen Bahnbetrieb zu ermöglichen. Digitale Technologien am BÜ sind Innovationen, die dem Schienen- und Straßenverkehr nutzen. Der vorliegende Beitrag erläutert die neuen Funktionen, die mithilfe des sogenannten „Digitalen Andreaskreuzes“ realisiert werden können, und beschreibt deren Mehrwert für Komfort und Sicherheit des Straßenverkehrs. Den Kern dieses Ansatzes bildet die Kommunikation und Vernetzung zwischen der automatisierten Bahninfrastruktur und den Straßenverkehrsteilnehmern. Im Allgemeinen bezeichnet als Vehicle2X (V2X)-Kommunikation und aus Sicht der Bahnanlage hier spezifisch als Rail2X-Kommunikation definiert, steht in diesem Beitrag die Aus- und Nachrüstung von BÜ mit Komponenten für die Rail2X-Kommunikation im Mittelpunkt.

1 Das Rail2X-Projekt

„Rail2X-Smart Services“ (hier kurz mit Rail2X bezeichnet) war ein Förderprojekt aus dem Modernitätstonds mFUND des Bundesmi-

Future-proof digitalisation provides the basis for dependable safety and security at level crossings and is an absolute prerequisite for punctual, trouble-free rail operations in the coming decades. Innovative digital level crossing technologies promise benefits for rail and road traffic alike. This article explains the new functions that can be realised using the “digital warning cross” and describes the added value they bring to road traffic convenience and safety. The cornerstone of this approach involves communication and networking between the automated rail infrastructure and road users, which is generally referred to as Vehicle2X (V2X) communication or as Rail2X communication, when the focus is on the rail system as in this case. This article concentrates on the installation and retrofitting of level crossings with components for Rail2X communication.

1 The Rail2X project

“Rail2X Smart Services” (hereafter simply referred to as Rail2X), a development project backed by the German Federal Ministry of

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Siemens Mobility GmbH / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten genehmigt / © DVV Media Group GmbH



Bild 1: Rail2X-Testaufbau
Fig. 1: The Rail2X test setup

Quelle (alle Bilder) / Source (all fig.): eigene Darstellung / own illustration

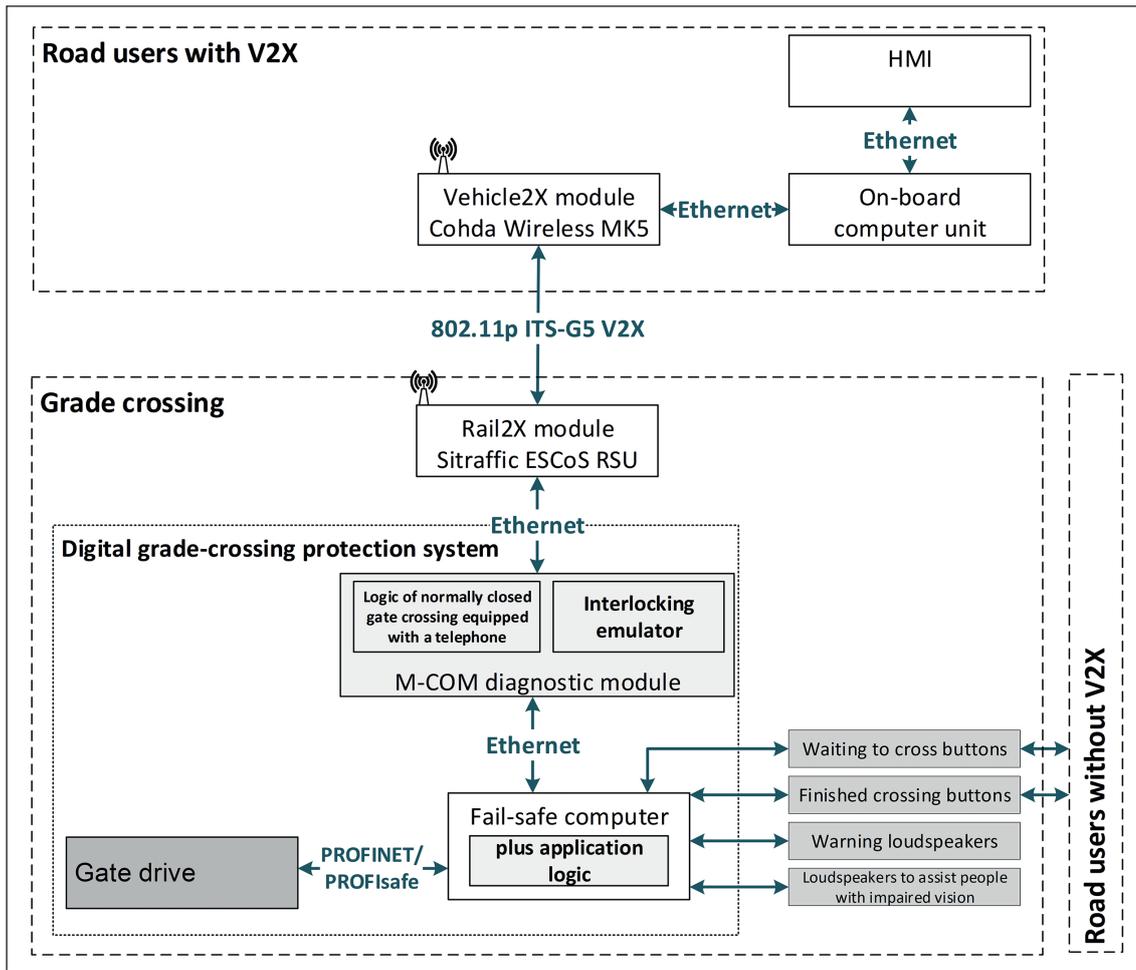


Bild 2: Use Case Anrufschränke – Lösungsarchitektur
 Fig. 2: The solution architecture for the “normally closed gate crossing equipped with a telephone” use case

nisteriums 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 [1]. Das Konsortium bestand aus den Partnern DB System, Siemens Mobility GmbH, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Hasso-Plattner-Institut (HPI) und Dralle Systementwicklungen. Das Digitale Testfeld der Deutschen Bahn im Erzgebirge (Strecke Annaberg-Buchholz – Schwarzenberg (BSg)) wurde dabei als Laborumgebung zur Erprobung genutzt. Rail2X demonstrierte am BÜ den Einsatzfall „Anrufschränke“ (Kfz fordert aktiv die Öffnung des BÜ an) [2]. Dieser Anwendungsfall wurde gewählt, da hier eine bidirektionale Kommunikation zwischen Kfz und BÜ notwendig war. 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 Fahrdienstleiter erhöht werden. Allen Einsatzfällen 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 Standardkomponenten aus dem Automotive-Bereich 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 sog. „Hopping“ weitergeleitet werden.

Transport and Digital Infrastructure’s mFUND research initiative that ran between 2017 and 2020, researched and trialed the use of WLAN communication (WLAN-p, IEEE 802.11p) in rail operations [1]. The project consortium’s partners were DB System, Siemens Mobility GmbH, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Hasso-Plattner-Institut (HPI) and Dralle Systementwicklungen. The Deutsche Bahn digital test facility in the Erzgebirge district of Germany (specifically the Annaberg-Buchholz – Schwarzenberg (BSg) line) was used as the laboratory environment for the trials. Rail2X demonstrated the “normally closed gate crossing equipped with a telephone” use case (the road vehicle actively requests the level crossing to be opened) at a level crossing [2]. This use case was chosen, because it requires bidirectional communication between the road vehicle and the level crossing. Many other use cases merely involve the level crossing broadcasting information in much the same way as a light signal. This chosen application also promises to enhance efficiency and convenience both for the road vehicle driver and the traffic controller. One feature common to all the applications is the use of WLAN-p from V2X communication. This technology has been adapted for use in rail operations without making any changes to the protocols or the products, meaning that standard automotive sector components can be used.

The advantages of this approach will become immediately obvious to anyone who uses a smartphone because, unlike services on the cellular network, WLAN can be provided free of charge. WLAN-p is particularly useful, because it supports direct communication between participating devices and the creation of ad hoc networks,

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Siemens Mobility GmbH /
 Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten
 genehmigt / © DVV Media Group GmbH

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.

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 sowie Warn- und Blindenlautsprecher erweitert. Als Rail2X-Ausrüstung wurde eine ESCoS RoadSide Unit (RSU) verwendet. Bild 1 zeigt den durchgeführten Testaufbau. Dazu stellt Bild 2 die Lösungsarchitektur des Rail2X-Testaufbaus als Komponentendiagramm dar.

Wichtig ist hier zu erwähnen, dass keine Kommunikation zu einem Stellwerk oder dem Fahrdienstleiter implementiert wurde, da der Testaufbau nicht in ein Stellwerk integriert war. Darum wurde diese Funktionalität im Testaufbau simuliert bzw. emuliert. 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 die M-COM direkt mit der Sicherungsanlage kommunizieren kann. Dies stellt sozusagen einen vorteilhaften Neu-Ausrüstungsfall dar, wie er zum Beispiel beim Ersatz oder bei der Neueinrichtung eines BÜ vorkommen könnte. In diesem Fall bietet der „digitale BÜ“ schon eine Standardschnittstelle, an die ein Rail2X-Modul angeschlossen werden kann.

2 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 Bahnübergangssicherungsanlage (BÜSA) (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 diesen 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.

Der BÜ wird nur mit minimaler zusätzlicher Hardware ausgestattet. Die Sitraffic ESCoS RSU von Siemens (Bild 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 empfan-

meaning that messages can be forwarded by means of what is known as “hopping”. There are also protected frequency bands for transport applications that allow the use of higher power outputs than in the case of public WLAN. Ranges from 500 to 1000 m are possible with WLAN-p, depending on the propagation conditions and the topology. It helps if the stations have a direct line of sight to each other. Another factor in favour of WLAN-p is the fact that it already incorporates a strong security functionality.

A level crossing on the Annaberg-Buchholz – Schwarzenberg test line was equipped with Rail2X for the project. The crossing, which had previously had no technical safety measures, was transformed into a modern digital level crossing with a barrier system, waiting-to-cross buttons and finished-crossing buttons as a fallback level, warning loudspeakers and loudspeakers to assist people with impaired vision. An ESCoS RoadSide Unit (RSU) was used as the Rail2X system. Fig. 1 shows the test setup installed. Fig. 2 shows the solution architecture of the Rail2X test setup in the form of a component diagram.

It is important to mention that no communication link to an interlocking or to the traffic controller was established in this case, as the test setup was not integrated into an interlocking. As such, this functionality had to be simulated / emulated in the test setup. A non-interactive connection between the M-COM communication and diagnostic module and the digital level-crossing protection system was established using an Ethernet interface. This digital interface proved particularly advantageous as M-COM is able to communicate directly with the protection system. This effectively amounts to an advantageous new equipping case, such as could arise when replacing or reconfiguring a level crossing, for example. In this case, the “digital level crossing” offers an existing standard interface to which a Rail2X module can be connected.

2 Communication with V2X technology at a level crossing

V2X technology enables road users to communicate with each other. The focus here rests on the contents of the exchanged information, for example problems on the road, congestion or even the status (closed or open) of a level-crossing protection system. A driver in possession of this information can prepare for or avoid any problems ahead.

The V2X messages are exchanged between road users via the IEEE 802.11p extended WLAN standard in the 5.9 GHz frequency band. In Europe, responsibility for the creation of this globally applicable V2X standard rests primarily with the European Telecommunications Standards Institute (ETSI).



Bild 3: Siemens Sitraffic ESCoS RSU
Fig. 3: The Siemens Sitraffic ESCoS RSU

gen und ist somit bestens geeignet für die Kommunikation am BÜ.

3 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.

3.1 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 (Bild 4).

Die Auswertelogik erstellt mithilfe eines Zustandsautomaten den Inhalt für die zu versendenden V2X-Nachrichten. Es wird eine statische MAPEM (MAP Extended Message, d.h. eine Nachricht mit topologischen Umgebungsinformationen zum BÜ) einmal pro Sekunde gesendet sowie eine SPATEM (Signal Phase And Timing Extended Message) mit den Zuständen stop-and-remain für den Fall, dass die Lichtzeichen des BÜ rot sind sowie die Schranken geschlossen. Für den Fall, dass der BÜ offen ist, wird der Zustand protected-movement-allowed gesendet.

Der Zustandsautomat wechselt zwischen den vier Hauptzuständen Off, Defect, Closed und Opened in Abhängigkeit von der Input-Variablen, welche aus der Meldung des Diagnosemoduls generiert wird. Der initiale Hauptzustand ist Off. Der Zustand Defect kann entweder erreicht werden, wenn eine entsprechende Nachricht vom Dia-

Past research activities have largely centred on the road transport sector, so the interface descriptions are already quite well defined in this area. One obvious option for the rail sector is to follow the standardisation process actively and to work to shape it on the basis of these findings and insights. The overriding objective in all respects must, of course, always be to ensure full compatibility with other road/rail users. Making the level crossing status available to road/rail users through V2X technology requires nothing more than some straightforward retrofitting work at the level crossing. The amount of additional hardware that has to be provided at the level crossing is minimal. The Sitraffic ESCoS RSU from Siemens (fig. 3), which functions as a transmitter and a receiver for the V2X messages, is installed close to the level crossing for this purpose.

There have been two different communication strategies to date: a decentralised approach in the form of WLAN-P/V2X and a centralised approach in the form of LTE/C-V2X. The hardware is capable of transmitting and receiving using both technologies, making it ideal for level crossing communication, as well as opening up the possibility of redundant fallback levels.

3 Communication with the level crossing

The installed RSU initially has no direct interface with the existing level crossing, so various ways can be used to obtain the required information. Two examples of ways of equipping level crossings with V2X technology are presented here based on a level crossing with technical protection and one without technical protection.

3.1 Option 1: A level crossing with technical protection using WayGuard SIMIS LC

The SIMIS LC system has a diagnostic module for maintenance and diagnostic purposes. The diagnostic module sends the level

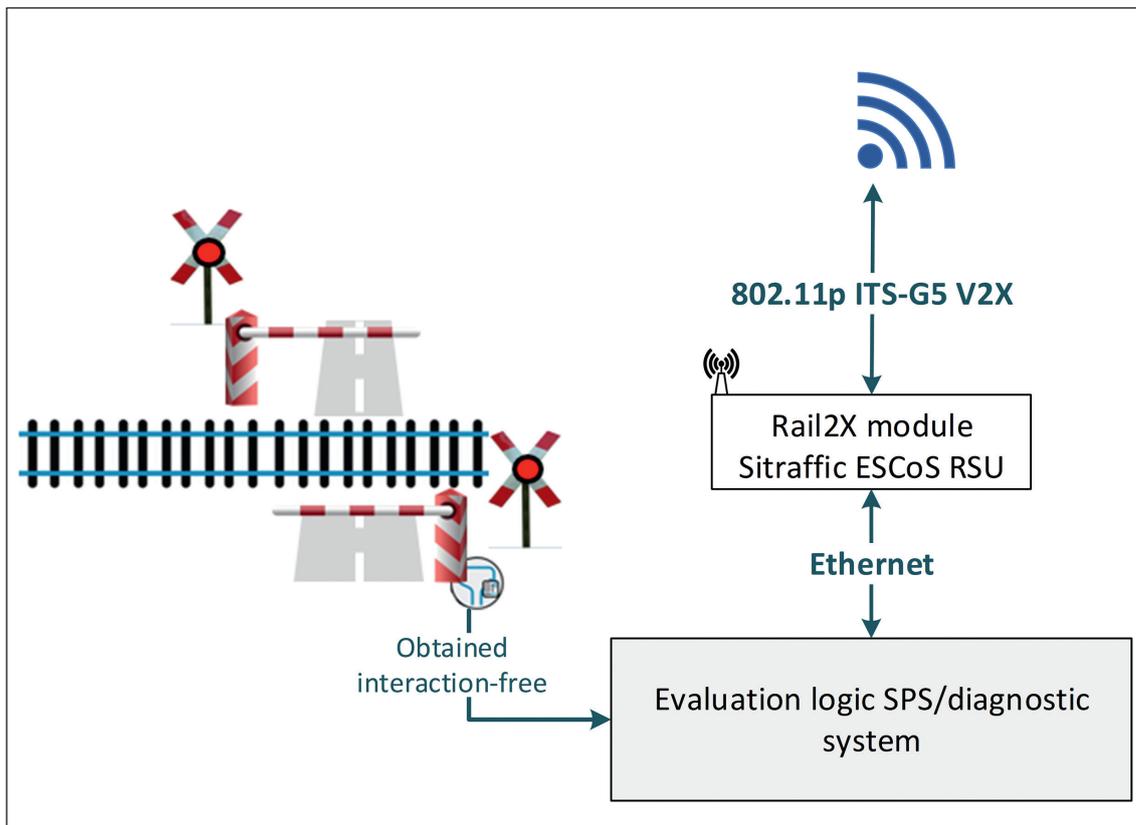


Bild 4: Auswertung des technisch gesicherten BÜ
 Fig. 4: The evaluation of a level crossing with technical protection

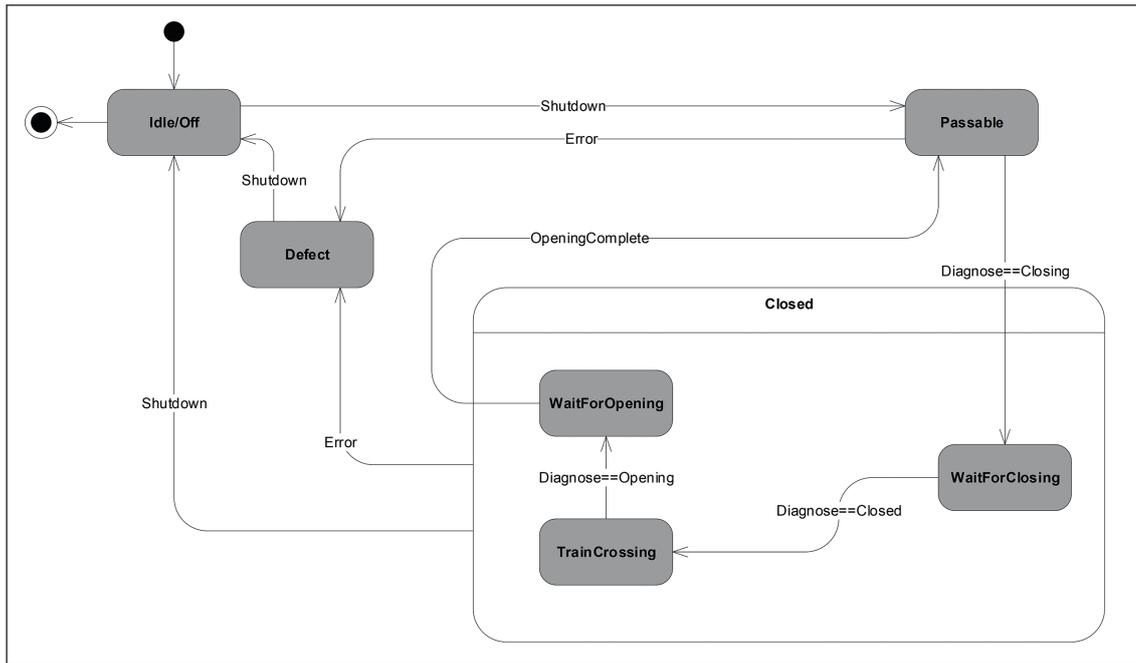


Bild 5: Zustandsautomat für den technisch gesicherten BÜ
 Fig. 5: The state machine for a level crossing with technical protection

gnosemodul empfangen wurde bzw. wenn das Nachrichtenformat nicht bekannt ist, oder wenn zehn aufeinanderfolgende Versuche, eine Verbindung mit dem Diagnosemodul herzustellen, missglückt sind. Im Normalfall wird nur zwischen den Zuständen Passable und Closed gewechselt, wobei letzterer Zustand weitere Unterzustände, WaitForClosing, TrainCrossing und WaitForOpening enthält. Während der beiden Zustände Passable und Closed wird durch eine weitere Routine kontinuierlich die zu versendende V2X-SPATEM-Nachricht mit dem passenden Zustand stop-and-remain bei Closed bzw. protected-movement-allowed bei Passable erstellt und versendet. Im Rahmen des Teilprojektes „Digitales Andreaskreuz“ des RealLab Hamburg wurde dieses System in Hamburg erprobt [3]. Der Auswertungslogik wird der Status des bereits vorhandenen Diagnosemoduls mittels TCP / IP-Schnittstelle übermittelt und anschlie-

crossing's current status to a downstream evaluation logic in a non-interactive manner using a simple TCP/IP Ethernet socket link (fig. 4). The evaluation logic creates the message for the V2X messages to be sent with the assistance of a state machine. A static MAPEM (MAP Extended Message, i.e., a message with topological environmental information about the level crossing) is sent once every second and a SPATEM (Signal Phase And Timing Extended Message) is sent with the stop-and-remain status, if the level crossing's traffic light signals are red and the barriers are closed. If the level crossing is open, the protected-movement-allowed status is sent. The state machine changes between four main states (Off, Defect, Closed and Open) as a function of the input variable generated from the message sent by the diagnostic module.

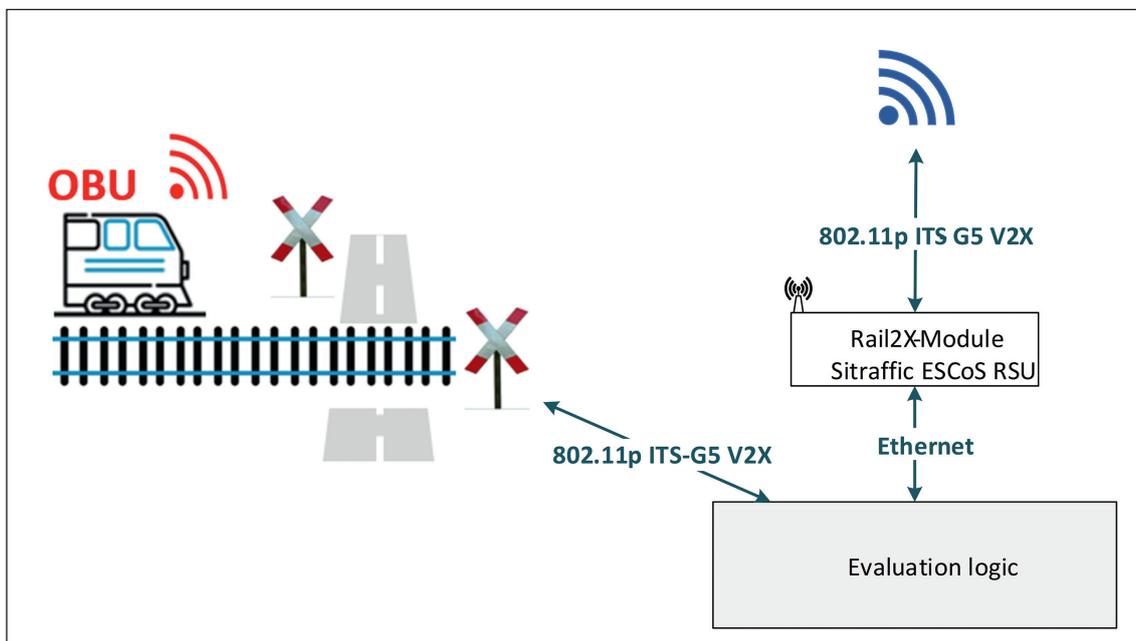
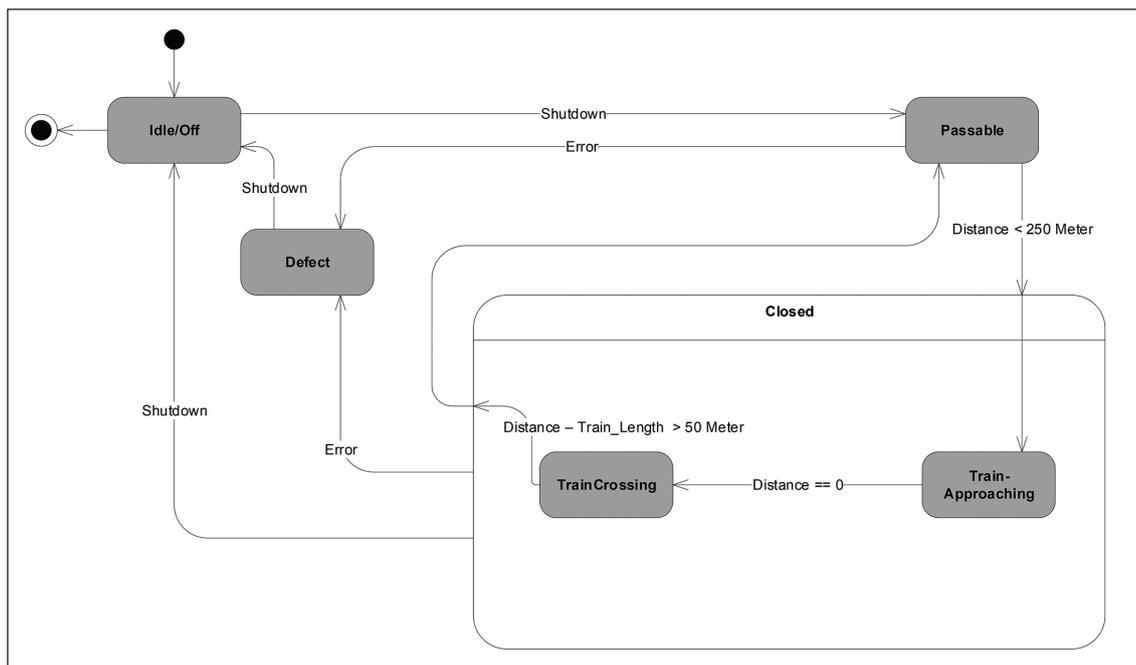


Bild 6: Auswertung des nicht technisch gesicherten BÜ
 Fig. 6: The evaluation of a level crossing without any technical protection

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Siemens Mobility GmbH /
 Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten
 genehmigt / © DVV Media Group GmbH

Bild 7: Zustandsautomat für den nicht technisch gesicherten BÜ
 Fig. 7: The state machine for a level crossing without any technical protection



ßend, wie im oberen Absatz beschrieben, 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 im Abschnitt „Nachrüstung von BÜ mit Rail2X-Technologie“.

3.2 Möglichkeit 2: Nicht technisch gesicherter BÜ

Da es mindestens genauso viele nicht technisch gesicherte BÜ gibt, müssen für diese ebenfalls Lösungen gefunden werden. Es sollte allerdings nochmal erwähnt werden, dass es sich auch hier um eine Assistenzfunktion handelt, die Komfort und Sicherheit erhöht, die Sicherheitsverantwortung bleibt unverändert. Hier kann nicht auf einen technischen Abgriff gesetzt werden. Aus diesem Grund wird im RealLab Hamburg die Möglichkeit erforscht, den Zug mit einer OBU (On Board Unit) auszurüsten. Diese Technik erlaubt es dem Zug, regelmäßig eine Nachricht mit Positionsdaten sowie dessen Geschwindigkeit auszusenden. Dies kann z.B. mit einer sehr einfach aufgebauten OBU erreicht werden, und es können dafür ebenfalls Komponenten aus der Automobiltechnik verwendet werden.

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. Dazu muss natürlich auch erkannt werden, dass sich der Zug wirklich dem betroffenen BÜ nähert. Dies ist auf Regionalstrecken einfacher als in der Nähe von Bahnhöfen oder Rangieranlagen.

Auch im nicht technisch gesicherten Fall sorgt ein Zustandsautomat in der Auswertungslogik dafür, dass die korrekten V2X-Nachrichten ausgesandt werden. Im Gegensatz zu dem technisch gesicherten BÜ werden hier die Zustände nicht durch ein Diagnosemodul, sondern durch die Entfernung des Zuges gesteuert. Sobald sich der Zug in einer bestimmten Entfernung zum BÜ befindet, z.B. < 250 m, wechselt der Status des Zustandsautomatens von Passable zu Closed, und die entsprechenden V2X-Nachrichten werden an die Verkehrsteilnehmer ausgesendet. Hat der Zug nach Überfahren des BÜ einen entsprechenden Abstand zum BÜ erreicht, wird wieder zum Status Passable gewechselt.

The initial main state is Off. The Defect state can arise, if a message to this effect is received from the diagnostic module, if the message format is unknown or if ten successive attempts to establish a connection with the diagnostic module have failed. Ordinarily, the state machine only switches between the Passable and Closed states, the latter of which includes the WaitForClosing, TrainCrossing and WaitForOpening sub-states.

While the Passable and Closed states are in effect, an additional routine continuously creates and sends a V2X SPATEM message with the appropriate stop-and-remain state in the case of the Closed status or protected-movement-allowed in the case of the Passable status.

This system has been trialled in Hamburg as part of the RealLab Hamburg subproject “Digital warning cross” [3].

The existing diagnostic module’s status is sent to the evaluation logic via a TCP/IP interface and is then, as described in above, converted into V2X messages by the evaluation logic. There are other ways of obtaining the level crossing status in a non-interactive manner, if no diagnostic module is available. Further information on this can be found in the section headed “Retrofitting level crossings with Rail2X technology”.

3.2 Option 2: A level crossing without any technical protection

There are at least as many level crossings that do not have any technical protection and solutions also need to be found for them. It should, however, be mentioned once again that here too the technology simply provides an assistance function in order to enhance convenience and safety and that the responsibility for safety remains unaffected.

In this scenario, there is no existing technical system that can provide the necessary information. The possibility of equipping a train with an OBU (On Board Unit) is therefore being investigated at RealLab Hamburg. This approach would enable the train to transmit a regular message containing its position information and speed. This can be achieved with a very simply installed OBU, for example, and here too it is also possible to use components from the automotive sector to do the job.

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Siemens Mobility GmbH /
 Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten
 genehmigt / © DVV Media Group GmbH

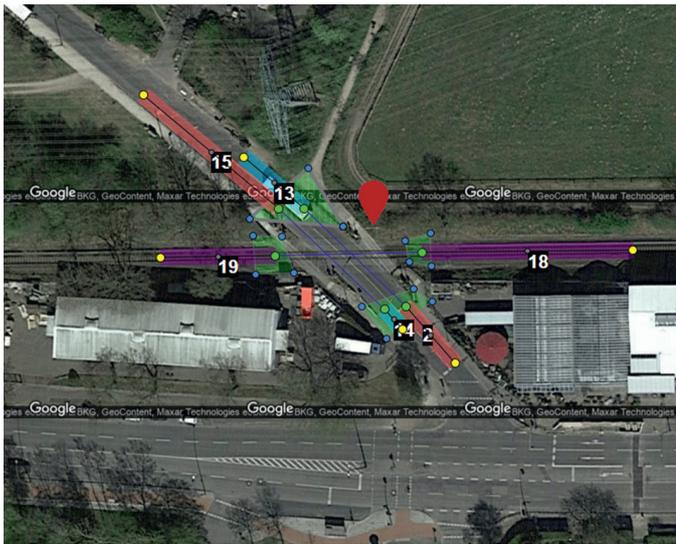


Bild 8: MAPEM-Topologie eines BÜ in Hamburg Sieversstücken
 Fig. 8: The MAPEM topology of a level crossing at Hamburg Sieversstücken

3.3 Nachrichtenformate

Damit die Nachrichten von möglichst vielen Verkehrsteilnehmern verstanden werden können, wird der bestehende ETSI-V2X-Standard und dessen Nachrichtencontainer MAPEM, 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 dessen Status angezeigt bekommen. In Bild 8 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 Informationen 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 Kommunikationsschnittstelle des Zugs zum Pkw 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.

Ein wichtiger Aspekt ist hier, dass im ETSI-Standard schon weitreichende Security-Funktionalitäten spezifiziert sind, die auch für Bahnanwendungen ausreichend sein sollten. Allerdings ist hier zu betrachten, dass zu dieser Funktionalität auch eine spe-

If the RSU receives these messages, it can determine the distance to its own location and report the level crossing as being “occupied” or “closed”. This also requires, of course, the possibility of establishing whether the train is genuinely approaching the level crossing in question. This is simpler on regional lines than in close proximity to stations or marshalling yards.

A state machine in the evaluation logic ensures that the correct V2X messages are sent, just as in the case of a level crossing with technical protection. However, the states are not controlled not by a diagnostic module in level crossings without any technical protection, but by how far away the train is. As soon as the train comes within a certain distance of the level crossing, for example < 250 m, the state machine’s status changes from Passable to Closed and the corresponding V2X messages are sent to the road/rail users. The status then changes back to Passable once the train has passed the level crossing and moved the appropriate distance from it.

3.3 Message formats

The existing ETSI V2X standard and its MAPEM, SPATEM and Cooperative awareness message (CAM) message containers are used to ensure that the messages can be understood by as many road/rail users as possible.

The street topology in the vicinity of the level crossing is mapped with the aid of the MAPEM message, so that the level crossing status is only displayed for road/rail users that are close to the level crossing. Fig. 8 shows an example of the MAPEM topology at the Sieversstücken level crossing.

The CAM message format is transmitted by the oncoming train. This message format contains the data container for the GPS position and the speed and length of the train. This information enables the RSU to determine how far away the train is using the evaluation logic and to transmit the corresponding level crossing status.

The level crossing status is transmitted using a SPATEM message. The introduction mentioned that little attention has been paid to the train’s communication interface with the road vehicle.

There are currently no predefined signals for the SPATEM message container covering the level crossing status, so the adaptation of the traffic light as permission to proceed is being used for the level crossing status.

In the case of a level crossing with technical protection, the two “stop and remain” (when the level crossing is closed) and “protected movement allowed” (when the level crossing is open) message events are sent. The “unavailable” message event is transmitted, if it is not possible to reach a conclusion as to the status of the level crossing.

In the case of a level crossing without any technical protection, the “caution conflicting traffic” (when the train is approaching) and “permissive movement allowed” (when there is no transmitting train within range) message events are sent.

The intention is to incorporate specific event messages into the standard in the future for cases such as these.

It is important to realise that the ETSI standard already specifies extensive security functionalities that should be sufficient for railway applications as well. It should, however, be noted that this functionality already includes a specific public key infrastructure with key management. The rail components need to support this standard as well in order to be able to communicate with automobiles. Should secure communication with other rail components also be required, it may be necessary to implement additional communication protocols.

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Siemens Mobility GmbH /
 Rechte für einzelne Downloads und Ausdrücke für Besucher der Seiten
 genehmigt / © DVV Media Group GmbH

zielle Public-Key-Infrastruktur inkl. eines Schlüsselmanagements gehört. Um mit Automobilteilnehmern kommunizieren zu können, müssen auch die Bahnkomponenten diesen Standard unterstützen. Falls dann noch gesicherte Kommunikation mit anderen Bahnkomponenten notwendig sein sollte, sind ggf. weitere Kommunikationsprotokolle zu implementieren.

4 Nachrüstung von BÜ mit Rail2X-Technologie

Im Netz der Deutschen Bahn AG (DB) befinden sich aktuell mehr als 10 000 technisch gesicherte BÜ [4]. Insgesamt kommt es jährlich zu etwa 150 Unfällen an BÜ. In Europa werden von der Europäischen Eisenbahn-Agentur (ERA) jährlich durchschnittlich 500 schwere Unfälle an BÜ gemeldet, wobei es durchschnittlich zu etwa je 300 Toten sowie Schwerverletzten kommt. Dies bedeutet, dass BÜ-Unfälle etwa 30% der schweren Bahnunfälle in Europa ausmachen [5].

Auch wenn diese Unfälle fast ausschließlich von Straßenverkehrsteilnehmern verursacht werden, so sind die Folgekosten, aber auch die durch die Unfälle verursachten Verspätungen immens. Die ERA schätzt die Folgekosten aller schweren Eisenbahnunfälle jährlich mit über 3 Mrd. EUR ein, bei etwa 1500 solcher Unfälle jährlich wären das ca. 2 Mio. EUR pro Unfall. Unter diesem Gesichtspunkt stellt die Nachrüstbarkeit bereits bestehender Anlagen einen wichtigen Punkt in Hinblick auf die flächendeckende Einführung dieser Technologie dar.

Bei streckenseitiger Sicherheitstechnik wie BÜ handelt es sich um langlebige Systeme. Daher stellt bei der kostengünstigen Nachrüstung bestehender Anlagen die Möglichkeit des rückwirkungsfreien Signalabgriffs bei unterschiedlichen Technologien eine besondere Herausforderung dar.

Der Aufbau des V2X-Systems folgt dabei immer dem gleichen Schema (vgl. Bild 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, die ESCoS RSU an die nationalen Technologien anzupassen.

Der einfachste Anwendungsfall ist derjenige, bei dem der BÜ schon eine digitale Schnittstelle zum Abgriff des Zustands bereitstellt, wie z. B. im Erzgebirge bei Rail2X (vgl. Bild 2) oder in Sieversstücken im RealLab Hamburg an einer SIMIS LC BÜSA (vgl. Bild 4) demonstriert werden konnte.

Gute Erfahrungen konnten auch bereits bei der Anbindung an Relais-BÜ 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 deutliche Verringerung der Unfallgefahr nach sich zieht.

Eine weitere universelle und bereits erprobte Lösung zur Nachrüstung ist die Nutzung von Hallsensoren. Diese können Stromflüsse in den Signalleitungen detektieren. Hier ist ebenso die Rückwirkungsfreiheit zu gewährleisten. Damit können ganze Signalbeurteilungen identifiziert und über V2X versendet werden.

Das Besondere an dieser Methode ist, dass die Hallsensoren 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.

4 Retrofitting level crossings with Rail2X technology

There are currently more than 10,000 level crossings with technical protection on the Deutsche Bahn network [4]. There are about 150 accidents at level crossings in a typical year. The European Union Agency for Railways (ERA) reports an average of 500 serious accidents at level crossings in Europe every year, with an average of 300 instances of death or severe injury. This means that accidents at level crossings account for around 30% of all serious rail accidents in Europe [5].

Although almost all of these accidents are caused by road users, their impact is immense in terms of both the resulting costs and delays. The ERA estimates that the annual cost of all serious rail accidents runs to more than 3 billion EUR, which, given that there are around 1500 such accidents every year, indicates a figure of approximately 2 million EUR per accident. That being the case, the ability to retrofit existing systems is of central importance for the blanket introduction of the technology.

Lineside safety systems such as those used at level crossings have a long service life, so retrofitting existing systems cost-effectively to obtain signal information in a non-interactive manner across different technologies poses a particular challenge.

The structure of the V2X system always follows the same pattern (cf. fig. 4). The collected state information is analysed by the evaluation logic (usually an SPS), converted into the corresponding V2X information and sent via ITS-G5. A number of project groups around the world are working on solutions to adapt ESCoS RSU to their national technologies.

The most straightforward use case is the one where the level crossing already has a digital interface to obtain the state, such as has been demonstrated with Rail2X at the Erzgebirge site (cf. fig. 2) and with the SIMIS LC level-crossing protection system at Sieversstücken / RealLab Hamburg (cf. fig. 4).

A project involving connections with an Australian rail operator's relay level crossings has also already provided some valuable experience. The state information of the safety-critical relays can be mirrored here in a non-interactive manner by additional relays and subsequently processed and distributed. Field tests have shown that level crossing warnings that only come into view from the road at a relatively short distance can reduce the accident risk significantly, especially for trucks.

Another universal retrofitting solution that has already been trialled involves the use of Hall effect sensors, which are able to detect current flows in signalling circuits. Here too, it must be ensured that the Hall effect sensors operate in a non-interactive manner. The use of this method enables complete signal aspects to be identified and sent via V2X.

The stand-out feature of this approach is that the clamp-on sensors can be used with virtually any signalling and safety system and can be installed without interfering with the existing technology: there is no need to access any contacts or connectors. This non-interactive retrofitting option that does not pose the risk of needing a new formal assessment is particularly useful when working with older technology.

5 Summary and outlook

V2X technologies harbour great potential for rail applications, as they make it possible to use components that have been standardised for the automotive sector and are already manufactured on a large scale in the rail sector as well – including on separate frequencies. This opens up new possibilities for enhanced road



Bild 9: Link zum Rail2X-Film (<https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/rail/automation/signaling-on-board-and-crossing-products/crossings-overview/crossings-train-detection.html>)

Fig. 9: The link to the Rail2X clip (<https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/rail/automation/signaling-on-board-and-crossing-products/crossings-overview/crossings-train-detection.html>)

5 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, seien es eigene Produkte oder fremde Anlagen, angeboten werden kann. In diesem Beitrag wurden dafür vier verschiedene Lösungsmöglichkeiten beschrieben, die alle auch schon pilotiert wurden.

Zusätzlich kann auch eine Ausrüstung technisch nicht gesicherter BÜ erfolgen, die aber eine zusätzliche Ausrüstung der beteiligten Eisenbahnfahrzeuge mit einfachen OBU erfordert.

Mit diesen Lösungen kann der Komfort, die Verfügbarkeit und die Gesamtsicherheit von BÜ mit kostengünstigen Lösungen aus der Automobiltechnik in Zukunft deutlich gesteigert werden, nicht nur in Deutschland, sondern weltweit. ■

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 Teilprojektes Digitales Andreaskreuz (DiAK) des Reallabor Hamburg Digitale Mobilität gefördert.

Unter dem Link in Bild 9 wird die Funktionsweise von Rail2X an einem BÜ in einem Film demonstriert.

LITERATUR | LITERATURE

- [1] Meirich, C. et al.: Rail2X Smart Services, Projektabschlussbericht, erschienen in: Berichte aus dem DLR Institut für Verkehrssicherungstechnik, Band 36, 2020
- [2] Pelz, M.: Optimierung der Bahnübergangssicherung für bedarfsgesteuerte Schranken, Dissertation, TU Braunschweig, 2012
- [3] RealLabHH: Digitales Andreaskreuz, <https://reallab-hamburg.de/projekte/digitales-andreaskreuz/>, letzter Abruf 17.6.2021
- [4] DN Netze: Fragen und Antworten Bahnübergang, 2017
- [5] European Union Agency for Railways: Safety Overview, 2021

user convenience and safety in connection with level-crossing protection systems and in other areas as well.

These possibilities can only be exploited, if level-crossing protection systems can be retrofitted in a non-interactive manner. Various studies and projects have demonstrated that this can be achieved and it is therefore possible to offer the retrofitting of almost all types of level-crossing protection systems irrespective of their vendor. This article has described four different solution options for this purpose, all of which have already been piloted. It is also possible to equip level crossings without any technical protection, although this does require the rail vehicles involved to be additionally equipped with a simple OBU.

These solutions have the potential to significantly improve the convenience, availability and overall safety of level crossings in the future through the use of economical products from the automotive sector and not just in Germany, but worldwide. ■

Development guidance

The activities presented here have been supported by the German Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure through the mFUND program as part of the Rail2X Smart Services project and the Digital warning cross (DiAK) sub-project of Reallabor Hamburg Digitale Mobilität.

The Rail2X functionality is demonstrated at a level crossing under the link in fig. 9.

AUTOREN | AUTHORS

Jan Ahlswede, M. Sc.

Project Engineer
Siemens Mobility GmbH
Anschrift/Address: Ackerstraße 22, D-38126 Braunschweig
E-Mail: jan.ahlswede@siemens.com

Prof. Dr. Jens Braband

Principal Key Expert
Siemens Mobility GmbH
Anschrift/Address: Ackerstraße 22, D-38126 Braunschweig
E-Mail: jens.braband@siemens.com

Dipl.-Ing. Robert Busse

Sales Manager BÜSA
Siemens Mobility GmbH
Anschrift/Address: Kieffholzstraße 44, D-12435 Berlin
E-Mail: robert.busse@siemens.com

Julien Gerber, M. Sc.

Project Engineer
Siemens Mobility GmbH
Anschrift/Address: Ackerstraße 22, D-38126 Braunschweig
E-Mail: julien.gerber@siemens.com