

Reduzierung der Betriebskosten für ERTMS Level 2 durch Implementierung einer standardisierten Stellwerksschnittstelle

Operational cost reduction for ERTMS Level 2 by implementing a standardised interlocking interface

Silvia Pascual | Frits Makkinga

Die ERTMS-Norm ist eine bekannte Referenz, die Interoperabilität zwischen den Eisenbahnsystemen in ganz Europa sicherstellen soll. Der Aspekt der Interoperabilität in der ERTMS-Norm regt nicht nur die Integration zwischen verschiedenen technologischen Systemen an, sondern hat sich auch als höchst vorteilhaft in vielen anderen Bereichen des Schienentransports erwiesen. Die Erweiterung des Interoperabilitätsaspekts auf verschiedene andere wichtige Sicherheitssysteme kann als natürliche Evolution und ausschlaggebender nächster Schritt betrachtet werden. Durch die Förderung einer Verwendung offener und standardisierter Lösungen kann unsere Branche Probleme der Überalterung verhindern. Auf diese Weise werden technologische Evolution und Kostenoptimierung sichergestellt, was zur Zukunftsfähigkeit des globalen Eisenbahnwesens beiträgt.

1 Einführung

Um die oben genannten Ziele zu erreichen, haben sich Indra und Movares zusammengetan, um ein gemeinsames Innovationsprojekt zu starten: die Entwicklung einer neuen ERTMS Level 2-Lösung. Dieses gemeinschaftliche Innovationsprojekt beinhaltet die Spezifikation und Implementierung einer neu erstellten Schnittstelle zwischen dem offenen Stellwerkssystem Eurolocking von Movares und dem InVITALRAIL RBC-System (Radio Block Center) von Indra. Für die vitale Kommunikation zwischen den beiden Sicherheitssystemen wurde das RaSTA-Protokoll [1] (Rail Safe Transport Application) verwendet. Um unsere Lösung in einem realistischen Umfeld zu testen, wurde eine vollständige Simulationsumgebung innerhalb eines Teils der Hochgeschwindigkeitsstrecke zwischen Madrid und Barcelona geschaffen. Die Strecke für die Machbarkeitsstudie befindet sich zwischen dem Bahnhof Alcolea del Pinar und Medinaceli und ist ca. 50 Kilometer lang. Das Eurolocking-System wurde von Movares mit einer eingeschränkten Version der spanischen Hochgeschwindigkeits-Stellwerkslogik entwickelt und implementiert, um sichere Routen für die Züge einzurichten. Der Status der Infrastrukturkomponente wurde dem von Indra entwickelten RBC-System über RaSTA mitgeteilt. Anhand dieser Statusinformationen berechnet das RBC-System die Bewegungsgenehmigungen (MA, Movement Authorities) ganz allgemein. Anschließend werden sie individuell an jeden Zug geschickt. In unserer Machbarkeitsstudie haben wir auch Eulynx ausgewertet, ein großes Standardisierungs- und offenes Entwicklungsprojekt mehrerer europäischer Eisenbahn-Infrastrukturbe-

The ERTMS standard is a well-known reference to ensure interoperability between railway systems across Europe. The aspect of interoperability of the ERTMS standard not only stimulates integration between various technological systems, but has also demonstrated itself to be highly beneficial to many other areas of railway transport. Extending the interoperability aspect to various other key safety systems can be seen as a natural evolution and a decisive next step. By promoting the use of open and standardised solutions, our sector can prevent obsolescence problems, thus ensuring technological evolution and cost optimisation, and thereby contributing to global railway sustainability.

1 Introduction

In order to achieve the aforementioned goals, Indra and Movares came together to initiate a joint innovation project: the creation of a new ERTMS Level 2 solution. That project includes the specification and implementation of a newly created interface between the open interlocking system Eurolocking from Movares and the InVITALRAIL RBC (radio block centre) system from Indra. The RaSTA [1] protocol (Rail Safe Transport Application) was used for the vital communication between the two safety systems. In order to test our solution in a realistic setting, a complete simulation environment was created over a part of the high-speed line between Madrid and Barcelona. The proof-of-concept line is located between the stations of Alcolea del Pinar and Medinaceli and is about 50 kilometres long. The Eurolocking system was developed and implemented by Movares with a limited version of the Spanish high-speed interlocking logic for setting safe routes for the trains. The status of the infrastructure element was communicated, through RaSTA, to the RBC system, which was developed by Indra. This status information is used by the RBC system to calculate the movement authorities (MAs) in general and is then sent to each train individually. In our proof of concept we have also looked at Eulynx, a large standardisation and open development project of several European railway infrastructure managers. Eulynx standardises all the technical interfaces with the interlocking system, such as the trackside equipment, traffic management and the RBC system. The article concludes with a summary on lessons learned from the open ERTMS Level 2 POC (proof of concept) and an indication of possible future developments.

treiber. Eulynx standardisiert alle technischen Schnittstellen zu den Stellwerken, z. B. die Streckenausrüstung, das Verkehrsmanagement, das RBC-System usw. Nachfolgend bietet der Artikel eine Übersicht über die Erfahrungen aus dem offenen ERTMS Level 2 POC (Proof of Concept, Machbarkeitsstudie) und einen Hinweis auf mögliche zukünftige Entwicklungen.

2 Eurolocking – die neue offene Technologie für Stellwerke in den Niederlanden

Mitte 2004 rief Movares ein F&E-Projekt ins Leben, das das Ziel hatte, eine neue und offene Standardtechnologielösung für Stellwerkssysteme der Eisenbahn zu finden. Etwa zur selben Zeit kündigte ProRail ein großes Projekt für den Austausch alter relaisbasierter Stellwerke durch moderne elektronische Stellwerke an. ProRail, der niederländische Infrastrukturanbieter, forderte Engineering-Unternehmen in den Niederlanden und Systemanbieter aus der Industrie auf, neue Vorschläge und Lösungen zu unterbreiten. Zukünftige Stellwerkssysteme müssen umfangreiche ProRail-Anforderungen erfüllen: Eine Reduzierung der Lebenszykluskosten (LC) um 30 Prozent oder mehr, Wettbewerbsfähigkeit während der gesamten Betriebslebensdauer, keine Anbieterbindung, Implementierung einer neuen Funktionalität, Lösung mit handelsüblicher Hardware, Verwendung offener Standards für die Schnittstelle zur Streckenausrüstung (z. B. Weiche, Signal usw.), höchste Verfügbarkeit, Plug&Play-Austausch vorhandener Stellwerksinstallationen mit Schnittstellen zu Verkehrssteuerungssystemen, sowie viele I/Os, um große Stellwerkbereiche abzudecken. Neben diesen Anforderungen sollte das neue System eine bewährte Erfolgsgeschichte in anderen Sicherheitsbranchen aufweisen und muss SIL4-zertifizierbar gemäß CENELEC EN50126, EN50128 und EN50129 sein.

Der Schwerpunkt des F&E-Projekts von Movares war, eine Lösung mit handelsüblicher Hardware (COTS) zu finden, die alle diese neuen Anforderungen erfüllen kann. 2005 kontaktierte Movares das deutsche Unternehmen HIMA, welches im Umfeld sicherheitskritischer Prozessanwendungen tätig ist. HIMA stellt hochleistungsfähige Sicherheitssysteme gemäß IEC61508 her. Oberstes Ziel des F&E-Projekts war, zu untersuchen, wie die neue Lösung in Übereinstimmung mit den genannten CENELEC-Normen zertifiziert werden kann. Es dauerte fast drei Jahre, bis der TÜV Rheinland den CENELEC GPSC (Generic Product Safety Case) für diese COTS-Sicherheitssysteme unterzeichnete. Es war relativ einfach, die niederländische Sicherheitslogik für Stellwerke auf dem HIMA-System zu implementieren. Etwa 2007 wurde ProRail eine Machbarkeitsstudie basierend auf dem mittelgroßen Bahnhof Heerhugowaard demonstriert. Das Ergebnis dieser Demonstration war ein Pilotprojekt, das 2009 ins Leben gerufen wurde und das schließlich zu einer funktionsfähigen Installation auf der Hauptstrecke im Sommer 2012 führte. Nach einem umfangreichen Testzeitraum wurde das neue Stellwerk „Eurolocking“ im Dezember 2012 [2] zugelassen und kann für jedes neue Stellwerksprojekt in den Niederlanden benutzt werden.

Derzeit betreibt ProRail sieben Systeme auf der Hauptstrecke. Diese Systeme weisen bereits mehr als 100 000 Betriebsstunden auf. Bild 1 zeigt das System in der Praxis im Bahnhof Stanpoort Noord. Über einen Zeitraum von 5 Jahren wurden von dem Betriebsunternehmen keine größeren Probleme gemeldet. Die HIMax-Plattform von HIMA verwendet eine vollständig redundante Systemarchitektur, womit sie zu einer hervorragenden Lösung für ein modernes, zukunftssicheres Eisenbahnstellwerk wird. In den kommenden Jahren werden weitere Eurolocking-Systeme von ProRail auf der Hauptstrecke installiert.

2 Eurolocking, the new open technology interlocking in the Netherlands

In the middle of 2004, Movares initiated a R&D project with the aim of finding a new open standard technology solution for railway interlocking systems. At around the same time, ProRail announced a large project for replacing old relay-based interlocking installations with modern electronic ones. ProRail, the Dutch infrastructure manager, challenged Dutch engineering firms (such as Movares) and system suppliers from the industry to come up with new proposals and solutions. Future interlocking systems ought to fulfil a new set of ProRail requirements: a 30% reduction or more in life-cycle costs (LCC), competition during the whole live cycle, no vendor lock-in, implementation of new functions, commercial hardware solution, use of open standards for the interface with the trackside equipment (such as points and signals), high availability, plug-and-play replacement of existing interlocking installations with interfaces to traffic control systems, and a high number of I/Os to support large interlocking areas. In addition to these requirements, the new system was to have a proven in-use record in other safety industries and must be SIL4-certifiable in accordance with CENELEC EN50126, EN50128 and EN50129.

The focus of the Movares R&D project was to find a commercial off-the-shelf (COTS) hardware solution that would be able to fulfil all these new requirements. In 2005, Movares contacted the German company HIMA, a well-known player in the safety-critical process industry. HIMA produces high-performance safety systems in accordance with IEC61508. The first goal of the R&D project was to investigate how to certify the new solution according to the above-mentioned CENELEC standards. It took almost three years before TÜV Rheinland signed the CENELEC Generic Product Safety Case (GPSC) for this COTS safety system. It was relatively easy to implement the Dutch interlocking safety logic on the HIMA system. Around 2007, a proof of concept was demonstrated to ProRail based on the mid-size station of Heerhugowaard. As a result of this demonstration, a pilot project was started in 2009 and eventually resulted in an operational installation on the main line in the summer of 2012. After an extensive test period, the new “Eurolocking” interlocking system was approved in December 2012 [2] and can be used for any new interlocking project in the Netherlands.

Currently, ProRail has seven systems in operation on main lines. The total number of operational hours of these systems has passed 100 000 hours. Figure 1 depicts the system in operation in the station of Santpoort Noord. Over a period of 5 years, no major problems were reported from the maintenance organisation. HIMA's HIMax platform has a fully redundant system architecture, making it an excellent solution for a modern, future-proof railway interlocking system. In coming years, more Eurolocking systems are to be installed by ProRail on the main line.

3 InVITALRAIL RBC, Indra's solution for ERTMS Level 2 Trackside System

InVITALRAIL RBC is Indra's solution for interoperable and standard ERTMS Level 2 Trackside System, capable of both maximising railway traffic safety and optimising network capacity. This RBC permits the continuous and secure control of railway traffic, allowing for speeds of over 300 km/h. The RBC also improves the traffic capacity of the railway infrastructure (where it is applied), by minimising the safety distance between trains. The RBC receives the position report from the trains through the onboard GSM-R

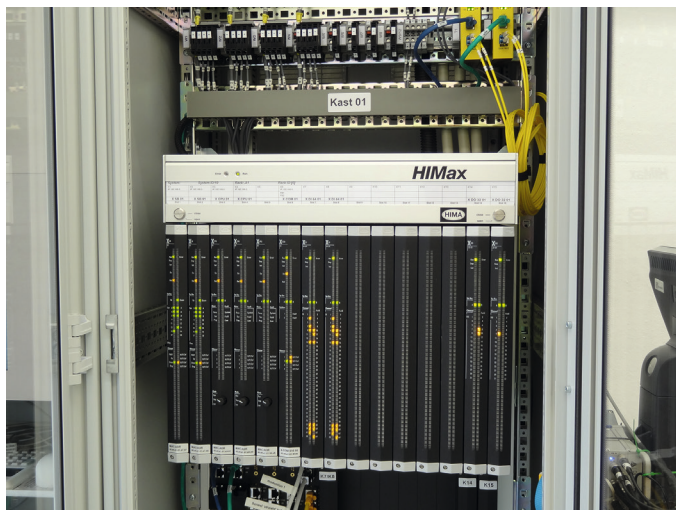


Bild 1: Eurolocking-Stellwerkssystem in Santpoord Noord
Fig. 1: Eurolocking Interlocking system in Santpoord Noord



Bild 2: InVITALRAIL RBC
Fig. 2: InVITALRAIL RBC

3 InVITALRAIL RBC für das ERTMS Level 2 Trackside System

InVITALRAIL RBC ist die Lösung von Indra für ein interoperables und standardmäßiges ERTMS Level 2 Trackside System, das in der Lage ist, die Sicherheit des Eisenbahnverkehrs zu maximieren und die Netzwerkapazität zu optimieren. Dieses RBC gestattet die stetige und sichere Kontrolle des Eisenbahnverkehrs, womit Reisegeschwindigkeiten von über 300 km/h möglich werden. Das RBC verbessert auch die Verkehrskapazität der Eisenbahninfrastruktur, indem die Sicherheitsdistanz zwischen den Zügen auf ein Minimum reduziert wird. Das RBC empfängt den Positionsbericht von den Zügen über die GSM-R-Ausrüstung an Bord sowie Infrastruktur-Statusinformationen von den Stellwerken, um die Bewegungsgenehmigung für die verwalteten Züge zu berechnen, festzulegen und einzurichten, und damit den Bereich zu identifizieren, in dem jeder Zug mit uneingeschränkter Sicherheitsgewährleistung fahren kann. Das RBC ist verantwortlich für einen Schutz gegen Geschwindigkeitsüberschreitungen und für die Überwachung und Sicherstellung der Konformität mit den vom Signalisierungssystem festgelegten Bedingungen. InVITALRAIL RBC wird in der InVITALRAIL OMSP (Open Modular Safety Platform)-Technologie bereitgestellt, unabhängig von etwaigen älteren Plattformen und Technologien, und mit einer offen und modular entworfenen Software. Diese Software läuft auf standardmäßigen Betriebssystemplattformen, was sowohl die Unabhängigkeit zwischen Software und Ausführungsplattform sicherstellt, als auch die Optimierung der technischen und funktionalen Evolution ermöglicht. Das RBC ist ein System mit einem hohen Maß an Sicherheitsintegrität, zertifiziert als SIL4 unter den anwendbaren Eisenbahnnormen EN50126, EN50128 und EN50129. Dank eines Designs, das auf einer klaren Unterscheidung zwischen dem generischen Produkt und seinen spezifischen Anwendungen auf bestimmte Eisenbahninfrastrukturen und -netzwerke basiert, kann es schnell und einfach an jedes Betriebsszenario und jede zugrundeliegende Signalisierungs-/Stellwerkstechnologie und Übergabeschnittstellen von unterschiedlichen Anbietern angepasst werden. Dieser Ansatz minimiert die Zeit, die für die Implementierung erforderlich ist und verkürzt damit die Zeit bis zum Markteintritt der globalen Eisenbahnsteuerungslösung. Eine unabhängige, benannte Stelle hat das System in Übereinstimmung mit den technischen Spezifikationen für Interoperabilität

equipment and infrastructure status information from the interlocking units in order to calculate, determine and establish the movement authorisation for the managed trains, thus identifying the area in which each train can travel with full safety assurance. The RBC is responsible for protecting train movements against excess speed, monitoring and ensuring compliance with the conditions established by the signalling system. InVITALRAIL RBC is deployed in Indra's InVITALRAIL OMSP (Open Modular Safety Platform) technology, totally free of legacy platforms and technological dependencies, and with open and modular designed software, running over standard operating system platforms that ensure the independence between software and execution platform and the optimisation of the technical and functional evolution. The RBC is a system with a high level of security integrity, certified as SIL4 under the applicable railway standards of EN50126, EN50128 and EN50129. As a result of a design based on a clear differentiation between the generic product and its specific applications to particular railway infrastructures and networks, it can be quickly and easily adapted to any operative scenario and any underlying signalling / interlocking technology and hand-over interfaces from different providers. Thus, Indra's approach minimises the time required to implement the service and, by extension, the time to market of the global railway control solution. The system is certified for interoperability by the independent notified body in accordance with the Technical Specifications of Interoperability (TSI) for railway control, management and signalling systems (CCS TSI) in accordance with the CB certification module of CMS 2012/88/UE. InVITALRAIL RBC offers a complete solution that facilitates and ensures the centralised and coordinated management of railway operations in ERTMS Level 2.

4 ERTMS Level 2

A significant development in Europe was the introduction of ERTMS Level 2, which aimed to increase capacity and safety. In 2014, Movares initiated a new R&D project to investigate the possibilities on how to realise an ERTMS level 2 system with Eurolocking. After an intensive market survey, Movares, supported by the software company InTraffic [3], teamed up with the Spanish company Indra. Indra had developed the standard InVITALRAIL RBC system for ERTMS Level 2 train control system. To demonstrate to the

(TSI) für Steuerungs-, Management- und Signalisierungssysteme der Eisenbahn (CCM TS) zertifiziert, ebenso wie in Übereinstimmung mit dem CB-Zertifizierungsmodul von CMS 2012/88/UE. InVITALRAIL RBC bietet eine vollständige Lösung, die das zentrale und koordinierte Management des Eisenbahnbetriebs auf Basis von ERTMS Level 2 vereinfacht und gewährleistet.

4 ERTMS Level 2

Eine maßgebliche Entwicklung in Europa war die Einführung von ERTMS Level 2, das die Kapazität und Sicherheit des Eisenbahnverkehrs erhöhen sollte. 2014 rief Movares ein neues F&E-Projekt ins Leben, um die Möglichkeiten zu untersuchen, wie mit Eurolocking ein neues ERTMS Level 2-System realisiert werden kann. Nach einer intensiven Markterforschung arbeitete Movares, unterstützt vom Softwareunternehmen InTraffic [3], mit dem spanischen Unternehmen Indra zusammen. Indra hatte das Standardsystem InVITALRAIL RBC für das Zugsteuerungssystem ERTMS Level 2 entwickelt. Um den Betreibern von Eisenbahninfrastruktur zu demonstrieren, dass ein ERTMS Level 2-Konzept mit einer standardisierten Stellwerksschnittstelle realisiert werden kann, haben wir eine neue Machbarkeitsstudie definiert. Der Stellwerksteil wird von dem Eurolocking-System übernommen, der RBC-Teil vom InVITALRAIL RBC-System. Bild 3 zeigt die offene Systemarchitektur für ERTMS Level 2. Außerdem zeigt Bild 3 auch einen Teil des Eulynx-Konzepts, einer europäischen Entwicklung, die vor kurzem von einer Gruppe von Eisenbahninfrastrukturbetreibern initiiert wurde. Eulynx ist eine neue Norm für die Schnittstelle zur Streckenausrüstung, die ein sicheres Datennetzwerk, ein Diagnosenetzwerk und ein Stromnetz verwendet.

5 Eulynx - Standardisierung für technische Schnittstellen

Eulynx bietet den Rahmen, in dem zehn europäische Betreiber von Eisenbahninfrastruktur zusammenarbeiten, um eine umfangreiche Spezifikationsmenge für die Standardisierung der Schnittstellen zur Streckenausrüstung zu schaffen. Der Hauptschwerpunkt der Initiative Eulynx [4] ist, die technischen Schnittstellen von Signalisierungssystemen zu standardisieren, um Märkte zu öffnen, Innovationen zu beschleunigen und Einsparungen durch Größenvorteile zu erzielen. Die Baseline 1.0 der Spezifikation wurde im Frühjahr 2017 veröffentlicht, Baseline 2.0 wird Ende 2017 veröffentlicht. Dies führt letztlich zu einem offenen und neuen wettbewerbsfähigen Markt mit vielen Anbietern. Durch die Anpassung des Eulynx-Standards können die Betreiber der Eisenbahninfrastruktur Probleme der Überalterung und die Abhängigkeit von einem bestimmten Anbieter lösen. Eulynx unterstützt außerdem das RaSTA-Protokoll für die gesamte Sicherheitskommunikation zwischen dem zentralen Stellwerk und allen seinen Objekt-Controllern. Dies war der Schlüssel für die Motivation zu untersuchen, ob das RaSTA-Protokoll in der neuen Machbarkeitsstudie ERTMS Level 2 verwendet werden kann.

6 RaSTA – offene Sicherheitskommunikation

Nach verschiedenen Untersuchungen haben sich Movares und Indra darauf geeinigt, das RaSTA-Protokoll für die sichere Kommunikation zwischen dem Eurolocking- und dem RBC-System zu verwenden und zu implementieren. RaSTA ist eine Industrienorm für die sichere Kommunikation in Übereinstimmung mit DIN EN 50159. Um die Verfügbarkeit der Kommunikation zu steigern, unterstützt das RaSTA-Protokoll Redundanz über zwei physische Netzwerkverbindun-

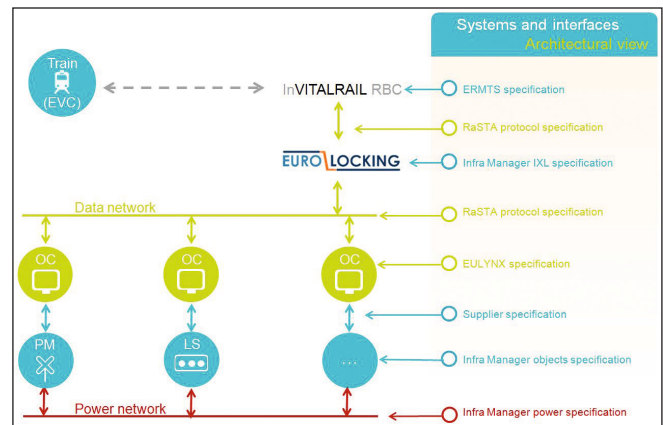


Bild 3: ERTMS Level 2-Architektur mit standardisierter Stellwerksschnittstelle

Fig. 3: ERTMS Level 2 architecture with standardised interlocking interface

rail infrastructure managers that an ERTMS Level 2 concept can be realised with a standardised interlocking interface, we defined a new proof of concept. The interlocking part is to be handled by the Eurolocking system and the RBC part by the InVITALRAIL RBC system. Figure 3 depicts the open ERTMS Level 2 system architecture. It also shows a part of the Eulynx concept, a recent European development initiated by a group of rail infrastructure managers. Eulynx is a new standard for the interface with the trackside equipment which uses a safety data network, diagnostic network and a power network.

5 Eulynx, standardisation of technical interfaces

Eulynx provides the framework in which ten European rail infrastructure managers are working together to create a comprehensive set of specifications for standardisation of the interfaces with the trackside equipment. The main focus of the Eulynx [4] initiative is to standardise the technical interfaces of signalling systems in order to open markets, accelerate innovations and gain economy-of-scale effects. Baseline 1.0 of the specification has been released in the spring of 2017 and baseline 2.0 will be released by the end of 2017. Eventually, this will lead to an open and new competitive market with many suppliers. By adapting the Eulynx standard, the rail infrastructure managers can solve problems with obsolescence and vendor lock-in. Eulynx also promotes the RaSTA protocol for all safety communication between the central interlocking and all its object controllers. This has been key to the motivation of Movares and Indra to investigate whether the RaSTA protocol can be used in their new ERTMS Level 2 proof of concept.

6 RaSTA, open safety communication

As a result of various investigations, Movares and Indra agreed to use and implement the RaSTA protocol for safe communication between the Eurolocking and the RBC system. RaSTA is an industry standard for safe communication in accordance with DIN EN 50159. To increase the availability of communication, the RaSTA protocol supports redundancy over two physical network connections. By choosing RaSTA, instead of developing a vendor proprietary safety protocol, we prevented the “yet another vendor lock-in” situation. That gives the rail infrastructure manager the opportunity of replacing the interlocking equipment separately from the

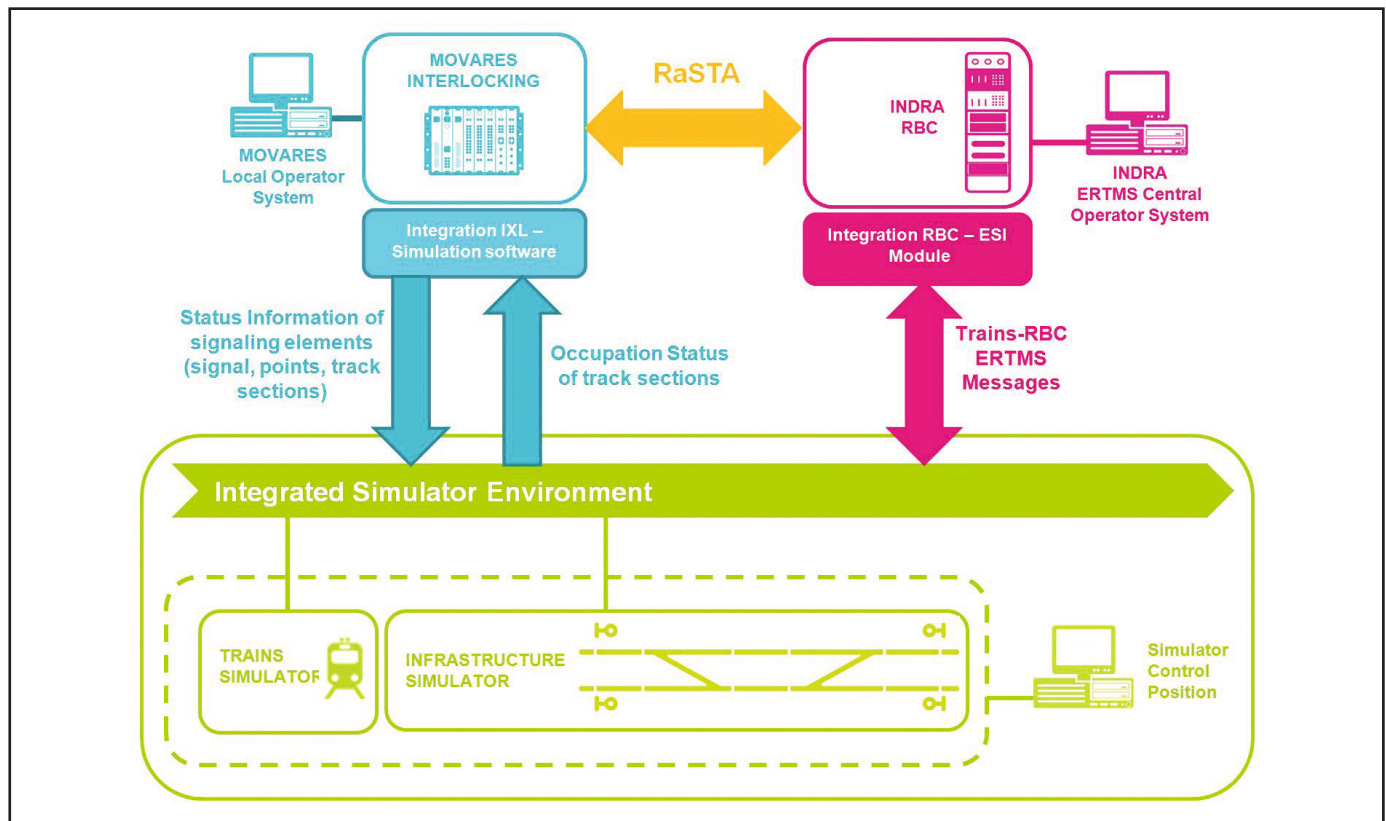


Bild 4: Simulationsumgebung für die Machbarkeitsstudie für ERTMS Level 2

Fig. 4: Simulation environment for ERTMS Level 2 proof of concept

gen. Durch die Entscheidung für RaSTA anstelle der Entwicklung eines anbieterspezifischen Sicherheitsprotokolls haben wir verhindert, dass noch eine weitere Abhängigkeit von einem bestimmten Anbieter entsteht. Damit erhalten die Betreiber der Eisenbahninfrastruktur die Möglichkeit, das Stellwerk unabhängig vom RBC-System und umgekehrt auszutauschen. Die Standardisierung dieser Schnittstelle reduziert auch die Betriebskosten.

7 Machbarkeitsstudie (POC) für offene ERTMS Level 2

Die schwierigste Schnittstelle innerhalb des POC-Umfangs ist die Schnittstelle zwischen dem Eurolocking-System und dem InVITALRAIL RBC-System. Wie oben beschrieben, haben wir uns für das RaSTA-Protokoll für diese Schnittstelle entschieden. Um ein offenes ERTMS Level 2-System zu implementieren, das auf zwei völlig unterschiedlichen SIL4-Eisenbahnsicherheitssystemen basiert und RaSTA für die Sicherheitskommunikation verwendet, haben wir die folgenden Hauptaktivitäten definiert:

- Das RaSTA-Protokoll muss auf beiden Systemen in einem sogenannten Safe Functional Module (SFM) implementiert werden, das als vitaler SIL4-Prozess ausgeführt wird (Bild 5).
- Um Daten über das Netzwerk auszutauschen, müssen beide Systeme in der Lage sein, UDP/IP-Nachrichten in einem sogenannten Communication Functional Module (CFM) zu senden und zu empfangen, das als nicht vitaler Prozess auf zwei unterschiedlichen (redundanten) Kommunikationskarten ausgeführt wird (Bild 5).
- Um die vitalen Applikationsdaten zwischen den Applikationsprogrammen auszutauschen, muss eine sogenannte „Vital Message Map“ definiert werden, die über das RaSTA-Protokoll an das andere System gesendet wird.

RBC system and vice versa. Standardisation of this interface will reduce the operational costs.

7 Open ERTMS Levels 2 proof of concept (POC)

The most challenging interface within the scope of the POC is the interface between the Eurolocking system and the InVITALRAIL RBC system. As described above, we chose the RaSTA protocol for this interface. To implement an open ERTMS Level 2 system, based on two completely different SIL4 railway safety systems and using RaSTA for safety communication, we defined the following main activities:

- The RaSTA protocol must be implemented on both systems in a so-called safe functional module (SFM) running as a vital SIL4 process (Fig. 5).
- To exchange data via the network, both systems must be able to send and receive UDP/IP messages in a so-called communication functional module (CFM) running as a non-vital process on two different (redundant) communication boards (Fig. 5).
- To exchange the vital application data between the application programs, a so-called ‘vital message map’ must be defined, which is sent through the RaSTA protocol to the other system.
- The application programs (IXL and RBC) need to have an interface to read and write the interlocking vital data in this vital map.
- The development of the signalling logic for the high-speed test track.
- The development of the RBC-specific application for the high-speed test track.
- The integration of a complete simulation environment, which uses the Eurolocking system, the InVITALRAIL RBC system

d) Die Applikationsprogramme (IXL und RBC) brauchen eine Schnittstelle, um die vitalen Stellwerksdaten in diese Vital Map zu schreiben und daraus zu lesen.

e) Entwicklung einer Signalisierungslogik für die Teststrecke innerhalb der Hochgeschwindigkeitsstrecke.

f) Entwicklung der RBC-spezifischen Applikation für die Teststrecke innerhalb der Hochgeschwindigkeitsstrecke.

g) Die Integration einer vollständigen Simulationsumgebung, die das Eurolocking-System, das InVITALRAIL RBC-System und die GUI für Befehle und Steuerung verwendet (Bild 4). Diese integrierte Simulationsumgebung (ISE, Integrated Simulator Environment) stellt dem Stellwerk einen Infrastruktursimulator mit Streckenkomponenten (Streckenschaltkreise, Weichen, Signale) zur Verfügung. Das Stellwerk steuert und empfängt den Status genauso wie die reale Streckenausstattung. Diese Simulationsumgebung modelliert außerdem das Zugverhalten, das in der simulierten Infrastruktur ausgeführt wird. Der Zugsimulator sendet und empfängt ERTMS-Nachrichten vom RBC über einen Euroradio-Simulator und unter Verwendung genau derselben ERTMS-Nachrichten wie in einer realen GSM-R-Kommunikation. Das Eurolocking-System (Movares Interlocking) IXL Application Program wird mit SILWorX programmiert. Um die Stellwerksfunktionalität für ein Eurolocking-System zu implementieren, wird ein Applikationsprogramm mit verfügbaren Funktionsblöcken erstellt. Grundlegende Funktionsblöcke sind AND-Gatter, ODER-Gatter, SELECTORS, TIMERS, INVERTORS usw. Außerdem kann man eigene Funktionsblöcke erstellen, z.B. für die Steuerung einer Weiche oder eines Signals. Eine weitere Option ist, einen Funktionsblock zu erstellen, der intern mit einem C++-Programm programmiert wird. Es gibt strenge Regeln, die festlegen, welche Elemente der Sprache C++ verwendet werden dürfen, und welche Sprachelemente verboten sind. Z.B. muss die gesamte Speicherreservierung statisch stattfinden, nicht dynamisch mit new und delete. Das vollständige RaSTA-Protokoll ist in einem C++-Funktionsblock implementiert, der die Eingabe von einer Vital Data-Struktur liest, die vitalen Daten verarbeitet, um eine RaSTA-Nachricht einschließlich der CRC-Werte zu erstellen, und diese Nachricht schließlich an den Ausgang schickt, damit sie von der Kommunikationskarte weiter verarbeitet wird (um die UDP/IP-Nachricht zu senden). Um die Kommunikation mit dem anderen System zu starten, sendet der RaSTA-Funktionsblock eine Verbindungsanforderung oder antwortet mit einer Verbindungsantwort an das Partnersystem. Außerdem kümmert sich dieser Funktionsblock um die Heartbeat- und erneut zu übertragende Nachrichten (Anforderung dieser Nachrichten oder Antwort darauf). Um die vitale Verarbeitung von der nicht vitalen Verarbeitung zu trennen, verwendet das Eurolocking-System einen eingebauten Dual-Port-RAM-Bereich (DPRAM). Die Kommunikationskarte (COM) innerhalb des Eurolocking-Systems ist eine nicht vitale Verarbeitungskarte. Diese COM-Karte bietet die Option, ein beliebiges Protokoll in der sogenannten Customer User Task (CUT) zu programmieren und hat außerdem Zugriff auf den DPRAM-Bereich für den Datenaustausch mit dem vitalen Verarbeitungsteil. Bild 5 zeigt die Software-Architektur für den Austausch von Sicherheitsdaten zwischen dem Stellwerk-Applikationsprogramm und dem RBC-Programm.

8 Ergebnisse der Machbarkeitsstudie

Die oben beschriebene Idee für eine Machbarkeitsstudie mit Eurolocking und dem InVITALRAIL RBC-System wurde auf der Innotrans 2014 in Berlin vorgestellt. Nach einer langwierigen Ver-

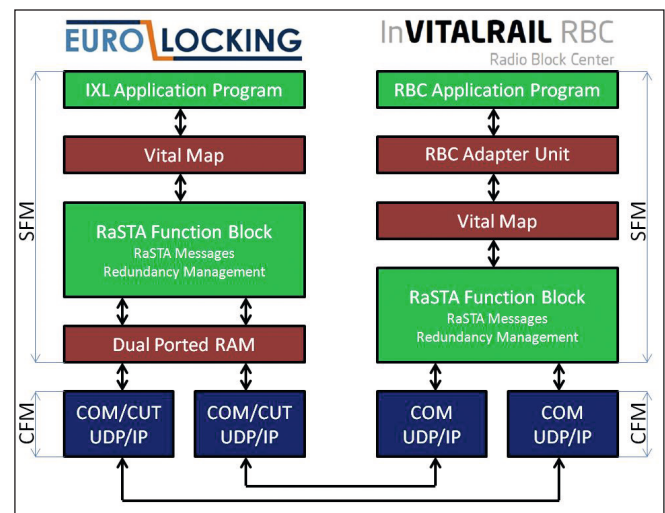


Bild 5: Softwarearchitektur

Fig. 5: Software architecture

and the GUI for command and control (Fig. 4). This integrated simulator environment (ISE) provides to the interlocking system with an infrastructure simulator with track elements (track circuits, points and signals). The interlocking system commands and receives the status in the exact same way as real trackside equipment. This simulation environment also models train behaviour that runs in the simulated infrastructure. The train simulator sends and receives ERTMS messages from the RBC through an Euroradio simulator, using exactly the same ERTMS messages as in real GSM-R communication. The Eurolocking system (Movares Interlocking) IXL application program is programmed with SILWorX. To implement the interlocking functionality for a Eurolocking system, an application program is created with available functional blocks. Basic functional blocks are AND gates, OR gates, SELECTORS, TIMERS, INVERTORS and so on. It is also possible to create one's own function blocks, for instance for controlling a point or signal. Another option is to create a function block which is internally programmed using C++. There are strict rules for determining which C++ language elements may be used and which language elements are forbidden. Example: All memory allocation must be done statically and not dynamically with New and Delete. The complete RaSTA protocol is implemented in one C++ function block, which reads the input from a vital data structure, processes the vital data to compose a RaSTA message, including the CRC values, and puts this message on the output for further processing by the communication board (to send the UDP/IP message). To start the communication with the other system, the RaSTA function block sends a connection request or replies with a connection response to the partner system. Moreover, the heartbeat and retransmission messages (request for or response to) are taken care of by this function block.

To separate vital processing from non-vital processing, the Eurolocking system has a built-in dual ported RAM (DPRAM) area. The communication board (COM) inside the Eurolocking system is a non-vital processing board. This COM board has the option of programming any protocol in the so-called customer user task (CUT) and also has access to the area for data exchange with the vital processing part. Figure 5 depicts the DPRAM software architecture for exchanging safety data between the interlocking application program and the RBC program.

handlungsperiode, einer Vereinbarung über die Zusammenarbeit, einer Spezifikation der Systemarchitektur für die Machbarkeitsstudie und einer Software- und Schnittstellenspezifikation haben wir das System mit zwei parallel arbeitenden Teams implementiert. Die ersten Ergebnisse gab es im April 2016, und das vollständige System war im Juni 2016 fertig. Bild 6 zeigt das offene ERTMS Level 2 Hardware-System in einem 19"-Schrank. Oben in dem Schrank sieht man das Eurolocking-System, in der Mitte die RBC- und RBC-Adapter-Einheit. Bei der Innotrans 2016 waren die Besucher sehr interessiert an unserer Demonstration des ersten offenen ERTMS Level 2-Systems mit standardisierter Schnittstelle zwischen einem RBC und einem Stellwerkssystem von unterschiedlichen Herstellern. Mit unserer Demonstration konnten wir zeigen, dass RaSTA auf beiden Hardware-Plattformen implementiert werden konnte, um das offene ERTMS Level 2-System basierend auf Eurolocking und dem InVITALRAIL RBC zu unterstützen.

9 Fazit und zukünftige Entwicklungen

Unsere Machbarkeitsstudie hat gezeigt, dass RaSTA für die vitale Kommunikation zwischen zwei völlig unterschiedlichen SIL4-Eisenbahnsicherheitssystemen verwendet werden kann. Ein offenes ERTMS Level 2-System mit standardisierten Schnittstellen besitzt mehrere Vorteile für die Betreiber von Eisenbahninfrastrukturen in ganz Europa. Um das Problem der Abhängigkeit von einem bestimmten Anbieter zu lösen, ist ein logischer nächster Schritt, ein Pilotprojekt in Zusammenarbeit mit einem Betreiber einer Eisenbahninfrastruktur zu definieren, der die Nutzung von offenen Systemen befürwortet, das Problem der Überalterung lösen will und niedrigere Betriebskosten bei der Migration auf ERTMS Level 2 erzielen will.

Wir haben das RaSTA-Protokoll bereits auf dem Eurolocking-System implementiert, deshalb kann dieses offene Stellwerkssystem auch verwendet werden, um die Eulynx-Spezifikation in einem jedoch noch zu definierenden Machbarkeitsstudienprojekt für Eulynx zu verifizieren. In den Niederlanden hat ProRail bereits einen ersten Schritt hin zu solchen Machbarkeitsstudienprojekten für Eulynx unternommen. Die ersten Ergebnisse ihres Projekts können im Frühjahr 2018 erwartet werden. Die zukünftige globale Bereit-

8 Results of the proof of concept

The above-mentioned idea for a proof of concept with Eurolocking and the InVITALRAIL RBC system was conceived at InnoTrans 2014 in Berlin. After an extensive period of negotiation, cooperation agreement, specification of the proof of concept system architecture and software and interface specification, we have implemented the system with two teams, who have worked in parallel. The first results were achieved in April 2016, and the complete system was ready in June 2016. Figure 6 depicts the open ERTMS Level 2 hardware system in a 19-inch cabinet. At the top of the cabinet is the Eurolocking system and in the middle of it are the RBC and RBC adapter unit. During InnoTrans 2016, visitors paid much attention to our demonstration of the first open ERTMS level 2 system with a standardised interface between an RBC and an interlocking system from different suppliers. With our demonstration we proved that RaSTA could be implemented on both hardware platforms to support the open ERTMS Level 2 system based on Eurolocking and the InVITALRAIL RBC.

9 Conclusion and future developments

Our proof of concept demonstrated that RaSTA can be used for the vital communication between two totally different SIL4 railway safety systems. An open ERTMS Level 2 system with standardised interfaces has several benefits for rail infrastructure managers across Europe. In order to avoid the vendor lock-in problem, a logical next step is to define a pilot project in cooperation with a rail infrastructure manager who endorses the use of open systems, wants to solve the obsolescence problem and achieve lower operational costs when migrating to ERTMS Level 2.

Because we have already implemented the RaSTA protocol on the Eurolocking system, this open interlocking system can also be used to verify the Eulynx specification in a, yet to be defined, Eulynx proof-of-concept project. In the Netherlands, ProRail has already taken a first step towards this kind of Eulynx proof-of-concept project. The first results of their project can be expected in spring 2018. The future global deployment



Bild 6: Offenes Hardware-System ERTMS Level 2

Fig. 6: Open ERTMS Level 2 hardware system

stellung offener und standardisierter Schnittstellen für jede in der Vergangenheit installierte Streckentechnologie wird einen maßgeblichen Einfluss haben. Die Interoperabilität zwischen RBC und Zügen, wie in der Norm ERTMS spezifiziert, könnte auch auf Streckensysteme angewendet werden, womit eine reale Koexistenz unterschiedlicher Technologien und Anbieter möglich wird. ■

of open and standard interfaces on any trackside technology installed in the past will have a significant impact. The interoperability between RBCs and trains specified in ERTMS Standard could be applied to trackside systems as well, making real coexistence of different technologies and providers possible. ■

LITERATUR | LITERATURE

- [1] Elektrische Bahn-Signalanlagen, Teil 200: Sicheres Übertragungsprotokoll RaSTA nach DIN EN50159 (VDE 0831-159)
- [2] Makkinga, F., Musters P., Bell T.: New SIL 4 PLC Interlocking reduces life-cycle costs, SIGNAL+DRAHT 7+8/2015
- [3] InTraffic Mastering mobility, www.intraffic.nl
- [4] Eulynx, fosters our vision for a digital railway, www.eulynx.eu

AUTOREN | AUTHORS

Silvia Pascual

ERTMS Product Manager Transportation

Indra

Anschrift/Adress: Mar Egeo, 4. 28830. San Fernando de Henares, Madrid. Spanien

E-Mail: spascual@indra.es

Dipl.-Ing. Frits Makkinga

Director Innovation & Business Development, Division Rail

Movares Nederland BV

Anschrift/Adress: Daalseplein 100, NL-3511 SX Utrecht

E-Mail: frits.makkinga@movares.nl