

Die Evolution von CBTC

Karsten Rahn | Andreas Steingröver

Seit über zwei Jahrzehnten wurden die Grundlagen der kommunikationsbasierten Zugbeeinflussung (Communications-Based Train Control oder kurz CBTC) durch die bekannte Norm IEEE 1474.1 [1] festgelegt. CBTC-Systeme wurden zunehmend zum Standard für Zugbeeinflussungssysteme im städtischen Schienenbahnverkehr und sowohl für Neubaustrecken als auch bei der Modernisierung bestehender U-Bahn-Linien eingesetzt. Die Lösungen der verschiedenen Hersteller unterscheiden sich aber z. B. im Hinblick auf interne und externe Schnittstellen, Moving-Block-Algorithmen, Bereichskonzepte und die Einbindung von Peripheriesystemen. Dennoch sind die Grundprinzipien wie die Bestimmung der Zugposition durch das Fahrzeuggerät, die Erkennung des nächsten Gefahrenpunkts durch das Streckengerät – entweder aus der Positionsmeldung des vorausfahrenden Zugs oder aus dem Zustand des nächsten Feldelements – und die Überwachung der Fahrerlaubnis weitgehend unverändert geblieben. Neue Technologien bieten nun die Möglichkeit, die CBTC-Architektur weiterzuentwickeln und zu optimieren. Der vorliegende Beitrag bewertet die unterschiedlichen CBTC-Architekturen, spiegelt sie an den neuesten Technologietrends und berichtet über erste Schritte zur Umsetzung eines TRAIN2CLOUD-Ansatzes.

1 Evolution der CBTC-Architektur

Die grundlegende Architektur eines CBTC-Systems gemäß IEEE 1474.1 erlaubt eine relativ flexible Aufteilung der CBTC-Funktionen zwischen dem Streckengerät und dem Fahrzeuggerät. Verglichen mit früheren Signalsystemen auf Grundlage von Stellwerken mit Signalen und Fahrsperrern, führte die Einführung von CBTC zu einer weitreichenden Verschiebung von Streckenfunktionen von der Infrastruktur auf Fahrzeugrechner. Verschiedene Hersteller haben jedoch bereits leichte Veränderungen des ursprünglichen CBTC-Ansatzes gemäß IEEE 1474.1 vorgestellt. Ein Extrem ist eine ideale zugzentrierte Architektur, bei der alle Funktionen auf dem Fahrzeug konzentriert sind, gegenüber dem anderen Extrem einer idealen streckenzentrierten Architektur, bei der alle Funktionen an der Strecke konzentriert sind.

1.1 Idealer vollständig zugzentrierter Ansatz

Beim idealen vollständig zugzentrierten CBTC-Ansatz befindet sich keinerlei Logik an der Strecke. Das bedeutet auch, dass die Funktionen zur Sicherung des Fahrwegs, wie das Stellen von Weichen und die Reservierung und Auflösung von Gleisabschnitten, in der Fahrzeuglogik angesiedelt sind [3].

Die Züge verfügen über eine Streckendatenbank auf dem Fahrzeug, die eine Beschreibung des Streckenverlaufs einschließlich aller zu steuernden Streckenelemente enthält. Jeder Zug kommuniziert direkt mit den Streckenelementen, wie Weichen oder Bahnsteigtüren, sowie anderen Zügen in der Nähe.

Für eine Zugfahrt muss der Zug den Zustand der Streckenelemente, die in der Streckendatenbank als für den vorgesehenen Fahrweg notwendig aufgeführt sind, steuern, überwachen und sichern. Außerdem muss

The evolution of CBTC

The basic principles of Communications-Based Train Control systems (CBTC) have been defined in the well-known IEEE 1474.1 standard [1] for almost two decades now. CBTC systems have increasingly become the standard technology for urban rail train control systems and have been deployed both on newly built lines and when modernising existing underground railway commuter rail lines. However, the implementations from various vendors differ, for example, with respect to the internal and external interfaces, moving block algorithms, zoning concepts and integration with the peripheral systems. Nevertheless, the basic principles of the train's position being determined by the onboard controller, the next danger point being determined by the trackside controller based on either the preceding train's position report or the status of the next field element and the movement authority supervision have so far remained largely unchanged. However, new technologies provide the option of evolving and optimising CBTC architectures. This article aims to evaluate the different CBTC architectures, mirror them to recent technology trends and report on the initial implementation steps in the direction of a TRAIN2CLOUD approach..

1 The evolution of CBTC architecture

The basic architecture of a CBTC system as defined in IEEE 1474.1 still allows for the somewhat flexible distribution of the CBTC functions between trackside and onboard control units. The introduction of CBTC has provoked a significant shift in trackside functions to onboard computers compared to the former signalling system architectures based on interlockings with signals and trip stops. However, slight variations of the original CBTC approach as specified in IEEE 1474.1 have already been presented by various vendors. One extreme involves an ideal train-centric architecture with all the functions concentrated onboard as opposed to the other extreme of an ideal trackside-centric architecture with all the functions concentrated trackside.

1.1 The ideal full train-centric approach

The ideal full train-centric CBTC approach aims to omit any logic trackside. This also means the functions used to secure the path of travel, such as setting the points or reserving and releasing the track sections, are included in the onboard logic [3].

The trains have an onboard track database with a description of the track alignment, including all the trackside elements to be controlled. Each train communicates directly with the trackside elements, such as points or platform doors, and with the other trains in the vicinity.

In order to enable movement, the train needs to be able to control, supervise and secure the status of the trackside elements that are listed in the track database as pertinent to the train's envisaged path. In addition, the positions of the other trains in

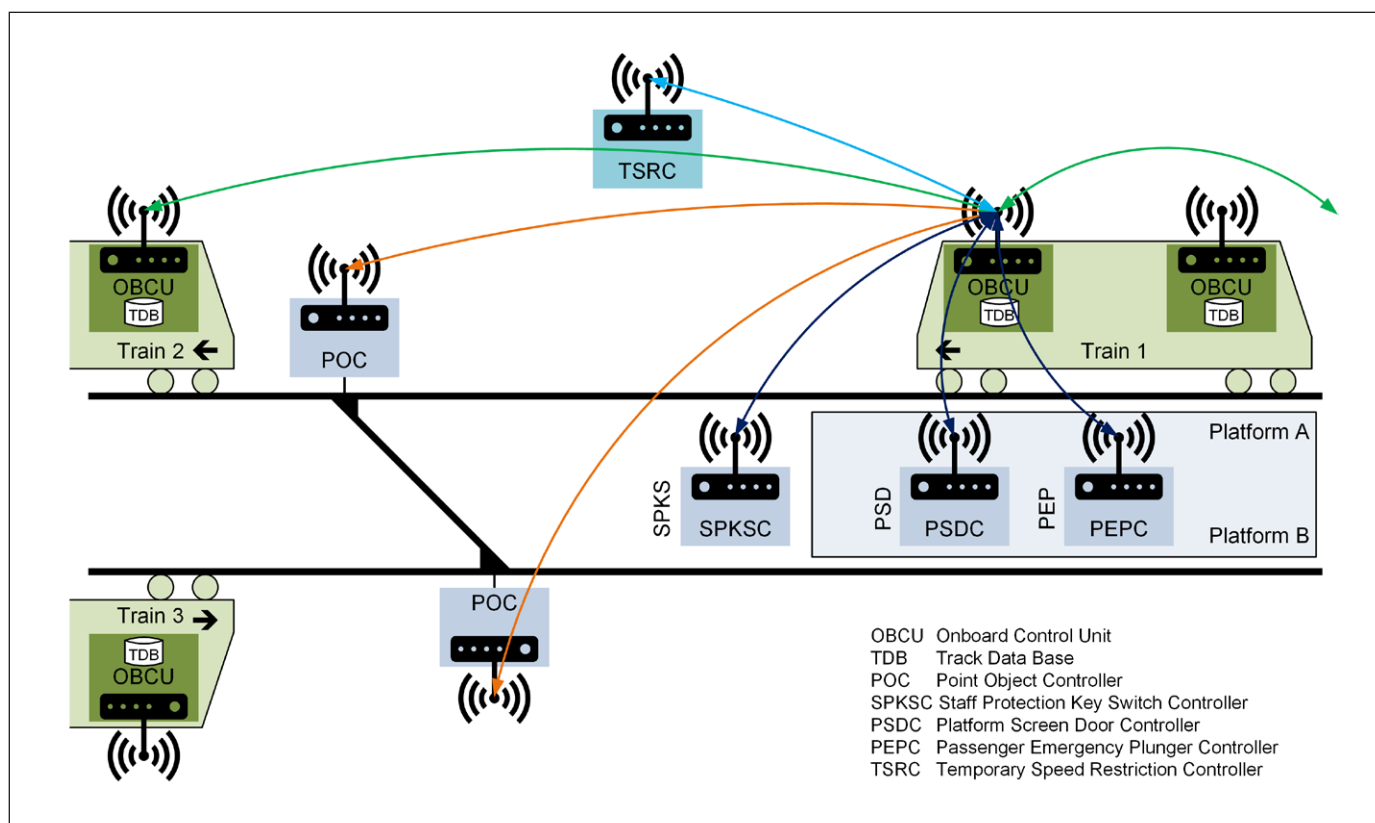


Bild 1: Kommunikation beim idealen zugzentrierten Ansatz

Fig. 1: Communication for an ideal train-centric approach

Quelle (alle Bilder) / Source (all images): Siemens Mobility

für eine sichere Zugabstandshaltung die Position der anderen Züge vor und hinter dem Zug berücksichtigt werden. Dann kann eine Art Fahrerlaubnis allein auf dem Fahrzeug berechnet werden. Nach der erfolgten Zugfahrt müssen die Streckenelemente unmittelbar wieder für andere Züge freigegeben werden. So wird z.B. eine Weiche nach vollständiger Überfahrt aufgelöst und kann dann vom folgenden Zug in eine andere Richtung gestellt werden.

Bild 1 zeigt die logischen Kommunikationsverbindungen für diesen idealen zugzentrierten Ansatz als farbige Linien. Es sind nur die Verbindungen für Zug 1 dargestellt. Wie aus der Darstellung ersichtlich, müssen jeder Zug und zum Teil auch Streckenelemente mehrere Verbindungen gleichzeitig aufbauen können.

So muss z.B. ein Zug, der von einem Bahnsteig abfährt, kontinuierlich mit verschiedenen Steuergeräten kommunizieren, wie der Steuerung der Bahnsteigtüren, um zu prüfen, ob die Türen geschlossen und verriegelt sind, sowie den Steuerungen von Fahrgastnothaltsschalter und Betriebssicherungsschalter, um zu prüfen, dass sie nicht aktiviert sind. Gleichzeitig muss er mit dem vorausfahrenden Zug, zur Überwachung von dessen Zugende, und mit dem folgenden Zug, zur Bereitstellung des eigenen Zugendes, kommunizieren. Die Dauer der Kommunikation ist individuell von jedem Kommunikationspartner abhängig, solange sich der Zug im jeweiligen Einflussbereich befindet. Für Bahnsteigelemente ist das der Fall, bis der Zug den Bahnsteig vollständig verlassen hat. Für Weichen im Fahrweg und für Flankenschutzweichen ist das der Fall, bis sie vollständig überfahren bzw. passiert wurden. Weichen müssen jedoch unter Umständen mit mehreren Zügen gleichzeitig kommunizieren. Bei Flankenschutzweichen geschieht das, wenn Zugfahrten auf beiden Gleisen stattfinden. Aber auch bei Zugfahrten auf demselben Gleis kann das bei dichter Zugfolge der Fall sein, wenn Folgezüge versuchen, eine vorausliegende Weiche umzustellen, die noch vom vorausfahrenden Zug besetzt bzw. als Flankenschutz gesichert ist.

front and behind need to be considered for the purposes of safe train separation. A kind of movement authority can then be calculated directly onboard. Once the train has passed, the trackside resources need to be released again, so as to make them available for other trains. For example, a set of points is released once it has been completely passed and the following train can then set it in another direction.

Fig. 1 illustrates the logical communication links for this ideal train-centric approach as coloured lines. Only the links for Train 1 are shown. As can easily be seen in the sketch, each train and partially also the trackside elements need to establish multiple communication links at the same time.

For example, a train leaving the platform needs to continuously communicate with the PSDC platform door controller in order to check that the doors are closed and locked, with the PEPC passenger emergency plunger controller and with the SPKSC staff protection key switch controller in order to check that it has not been activated. At the same time, it also needs to communicate with the train in front to check its safe rear end and with the following train to provide the position of its own safe rear end. The duration of the communication is individual for each communication partner as long as the train is in the given area of influence. This is the case for the platform elements until the train has completely left the platform. This applies until any points on the train's path and any flank protection points have been passed. However, the points may need to communicate with several trains at the same time. This will be the case for flank protection points if there are train movements on both tracks. However, this may also happen in the case of train movements following on the same track with short headways, when the following train tries to

Bei diesem idealen zugzentrierten Ansatz müssen alle Züge mit CBTC ausgerüstet sein, um Zugbetrieb und Kommunikation zu gewährleisten. Ein Mischbetrieb mit nicht ausgerüsteten oder nicht kommunizierenden Zügen ist nicht möglich. Die Streckenelemente können zum Erreichen der geforderten Sicherheit und Zuverlässigkeit kontinuierlich durch ihre Steuergeräte überwacht werden. Für Langsamfahrstellen ist ein separates Streckengerät erforderlich. Es kann für einen Teil der Strecke oder sogar die gesamte Strecke zuständig sein. Daher muss es mit allen Zügen in dem entsprechenden Bereich kommunizieren, um eine Langsamfahrstelle oder andere streckenseitige Einschränkungen anzukündigen.

1.2 Idealer vollständig streckenzentrierter Ansatz

Beim idealen vollständig streckenzentrierten CBTC-Ansatz befinden sich die gesamte Logik und alle Algorithmen auf einem zentralen Server. Das entspricht inhärent dem allgemeinen Prinzip des U-Bahn-Betriebs mit zentraler Betriebssteuerung. Auf dem Fahrzeug werden dann nur noch die Informationen von Antennen und Wegmesssensoren gelesen und die Zugvollständigkeit geprüft sowie Antrieb, Betriebsbremse, Zwangsbremsen und Türen angesteuert. Die CBTC-Algorithmen und die Logik für Ortung, Geschwindigkeitsregelung, Geschwindigkeitsüberwachung und Türsteuerung werden in das zentrale Streckengerät verschoben. Der fahrzeugseitige Anteil besteht dann nur noch aus einem einfachen fahrzeugseitigen Steuergerät zur Abwicklung von Ein- und Ausgaben. Bild 2 zeigt den idealen streckenzentrierten Ansatz. Das Streckengerät steuert und überwacht alle Streckenelemente einschließlich der Zugfahrten. Dementsprechend braucht auch nur das Streckengerät die Streckendatenbank; zusätzlich benötigt es aber auch eine Fahrzeugdatenbank, die alle Eigenschaften jedes einzelnen Zugs enthält.

set a point in advance, while the point is still occupied by the previous train. In this kind of ideal train-centric approach, all the trains need to be equipped with CBTC in order to ensure train operations and communication. Hence, no mixed traffic with unequipped or non-communicating trains is possible. The trackside elements can be continuously supervised by their object controllers in order to achieve the required safety and reliability level. A separate trackside controller is necessary to cater for any temporary speed restrictions. It may cover part of the line or even the whole line. Therefore, it would need to communicate with all the trains in that area in case a temporary speed restriction or any other trackside restrictions are set.

1.2 The ideal full trackside-centric approach

The ideal full trackside-centric CBTC approach aims to concentrate all the logic and algorithms on a central server. This also inherently fits the general principle of underground railway operations with central traffic control. The onboard functions will then simply read the information from the antennae and odometer sensors and confirm the train's integrity, while also checking the traction, service brakes, emergency brakes and doors. The CBTC algorithms and the localisation, speed control, speed supervision and door control logic are moved to the central trackside control unit. The onboard equipment mutates to a simple onboard controller that merely handles the input and outputs. Fig. 2 illustrates the ideal trackside-centric approach. The trackside equipment controls and supervises all the trackside elements, including all the train movements. Accordingly, only the trackside needs a track database, but it additionally needs a train database with all the characteristics for each individual train.

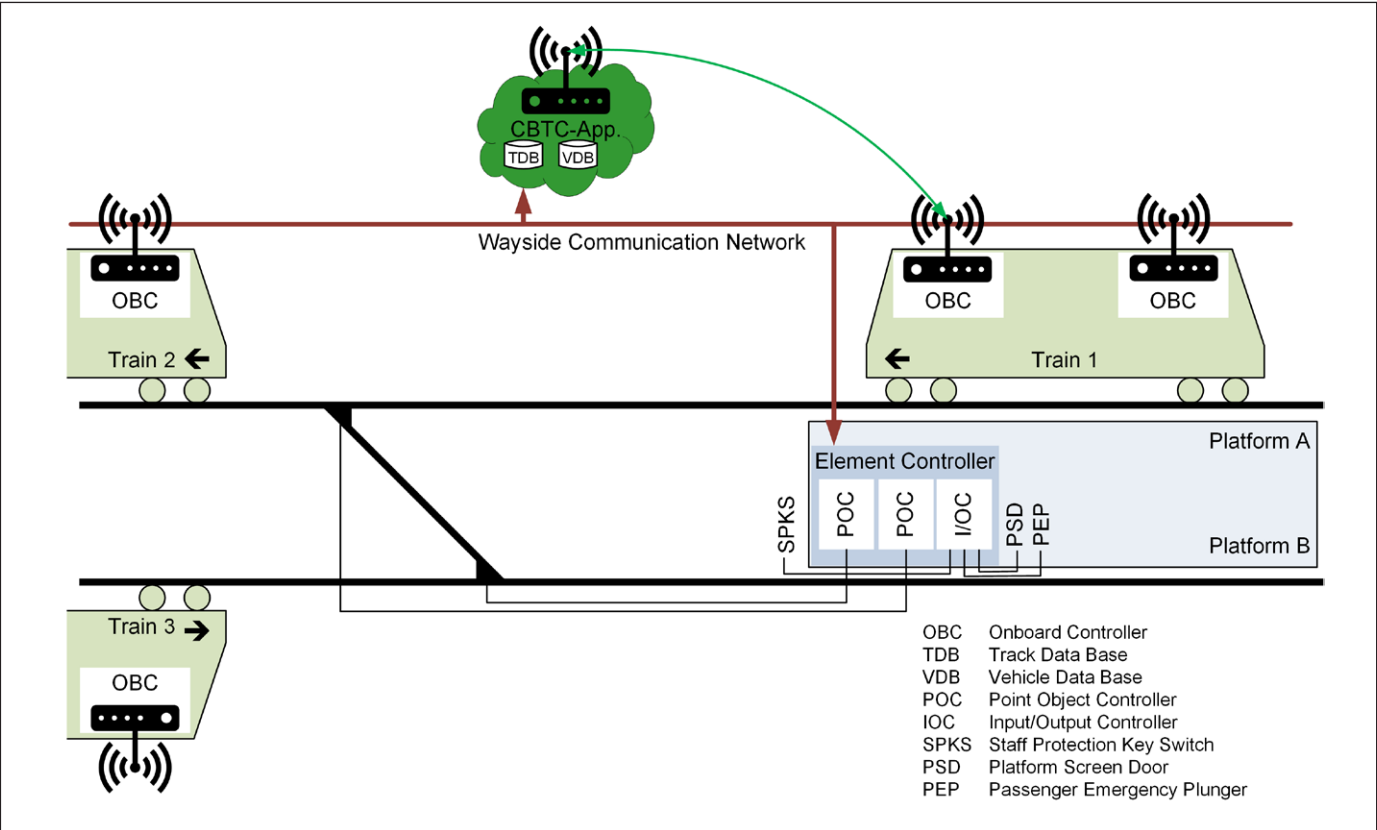


Bild 2: Streckenzentrierter Ansatz mit Cloud Services
Fig. 2: The trackside-centric approach with cloud service

Nicht zwingend notwendig, aber möglich und vorteilhaft, ist das Ausführen der streckenseitigen CBTC-Algorithmen in einer sicheren Cloud. Dies gewährleistet höchste Sicherheit, Leistungsfähigkeit und Hardware-Unabhängigkeit [4]. Außerdem ist die Verarbeitungszeit äußerst gering, da das fahrzeugseitige Steuergerät nur Schnittstellen zum Zug bereitstellt und die Übertragungsverzögerung moderner Funkkommunikation nur einige zehn Millisekunden beträgt.

Mit einer streckenseitigen sekundären Gleisfreimeldung, die mit diesem vollständig streckenzentrierten Ansatz kompatibel ist, ist darüber hinaus ein Mischbetrieb möglich. Im Idealfall könnte durch zusätzliche Gleissensoren an der Strecke die Zugposition noch genauer erfasst werden. Dafür wären Technologien zur Positionserfassung wie das Local Positioning Radar, das Fiber Optic Sensing und die Ultrabreitband-Kommunikation geeignet, die jedoch weitere elektronische Geräte an der Strecke, auch zwischen den Stationen und in Tunneln, erfordern.

1.3 Architekturvergleich

Moderne Funkdatenkommunikationssysteme unterstützen beide CBTC-Ansätze, sowohl den zugzentrierten als auch den streckenzentrierten. Gleiches gilt für moderne Rechnersysteme, die genügend Rechenleistung und Speicherkapazität zur Verfügung stellen.

Der ideale streckenzentrierte Ansatz ist jedoch vorteilhaft aufgrund seiner besonderen Eigenschaften und Möglichkeiten. Zentralisierte Lösungen können die Instandhaltung vereinfachen und die Verfügbarkeit erhöhen. Z.B. entfällt die Notwendigkeit, Aktualisierungen des Streckenatlas auf viele streckenseitige und fahrzeugseitige Komponenten zu verteilen und zu prüfen, vollständig.

Des Weiteren passt der streckenzentrierte Ansatz zum allgemeinen Paradigma des städtischen Schienennahverkehrs und insbesondere der U-Bahnen, bei denen alle Zugfahrten zentral gesteuert werden. Ein maximaler Streckendurchsatz wird nur erreicht, wenn alle Zugfahrten und Fahrgastwechsel koordiniert werden. Daher kommen in U-Bahn-Systemen zentrale Funktionen zur Fahrplan- und Zugfolge-regelung zum Einsatz.

2 Technologie-Trends in der Bahnindustrie

Die weltweiten Megatrends demografischer Wandel, Klimawandel, Urbanisierung und Globalisierung beeinflussen auch die Trends in der Bahnindustrie. Digitalisierung in alle Richtungen ist die Antwort auf diese globalen Herausforderungen. Die jeweiligen Technologiebereiche umfassen die folgenden Hauptaspekte:

- Rail Connectivity: Effiziente Zugbeeinflussung durch hochleistungsfähige Datenübertragung
- Internet of Things (IoT): Asset-Überwachung in Echtzeit durch Konnektivität bis hinunter auf die Komponentenebene
- Big Data Analytics: Zustandsorientierte Überwachung und vorausschauende Wartung durch die erweiterte Analyse großer Datenmengen
- Cloud Services: Nahtlose Erweiterung der Funktionalität und verbesserte Instandhaltbarkeit durch Apps in der Cloud
- Künstliche Intelligenz (KI): Optimierte Zugplanung und verbesserte Konfliktlösung durch maschinelles Lernen
- Bahnautomatisierung / autonome Züge: Erhöhung der Betriebszuverlässigkeit durch Einführung von Grade of Automation (GoA) 4
- Dekarbonisierung: Senkung des CO₂-Ausstoßes durch Effektivitätssteigerung und Energieeinsparungen.

Moderne Kommunikationstechniken wie 5G bieten sogar eine noch höhere Leistung und ermöglichen die Verbindung von mehreren Fahrzeugkomponenten und -sensoren mit streckenseitigen Datenzentralen (Data Centers). Das bedeutet, dass mehr Sensoren und

Trackside CBTC algorithms can be executed in vital cloud services for maximum reliability, performance and hardware independence [4]. While this not mandatory, it is obviously both possible and advantageous. A minimum processing time is achieved, because the onboard controller merely provides interfaces to the train and the communication delay of modern radio data communication is limited to some tens of milliseconds.

Still, mixed traffic is possible with trackside secondary train detection, which is compatible with this full trackside-centric approach. In an even more ideal case, the precise train detection could be moved from onboard to trackside using appropriate trackside sensors. Technologies such as local positioning radar, fibre optic sensing or ultra-wide band communication would be suitable for this, but this would require deploying further electronic devices trackside, including inside stations or tunnels.

1.3 A comparison of the architecture

Modern radio data communication systems serve both these CBTC approaches, i.e. the train-centric and the trackside-centric approaches. The same applies to modern computer systems that can provide sufficient computational performance and memory capacity.

However, the ideal trackside-centric approach is advantageous and has the most favourable characteristics and features. Centralised services can ease system maintenance and improve reliability. For example, the need to check a track database update and distribute it to many trackside and onboard computers disappears completely.

In addition, the trackside-centric approach also fits the general paradigm of urban rail transportation and especially of underground railways that rely on centralised traffic control, where each train movement is stipulated by a central source. The maximum throughput on a railway line is only achieved when all the train movements and passenger exchanges are coordinated. This is the reason for the implementation of central timetable and headway regulation functions in underground railway systems.

2 Technological trends in the rail industry

The global megatrends in demographic change, climate change, urbanisation and globalisation are also influencing the rail industry's trends. Digitalisation in all directions is the answer to the global challenges. The technology areas in question cover the following main aspects:

- rail connectivity: efficient train control using high performance communication
- the Internet of Things (IoT): real-time asset monitoring using connectivity down to the component level
- big data & analytics: condition-based monitoring and predictive maintenance using advanced big data analytics
- cloud services: seamless extensions of functionality and improved maintainability provided by apps in the cloud
- artificial intelligence (AI): optimized train scheduling and improved conflict solving through machine learning
- rail automation / autonomous trains: enhanced reliability in train operations through the introduction of Grade of Automation (GoA) 4
- decarbonisation: the minimisation of CO₂ emissions by means of increased efficiency and energy savings.

Modern communication technologies such as 5G provide even higher performance and thus enable more onboard components and sensors to be connected to trackside data centres. This means that more sensors and more data can be efficiently pro-

mehr Daten effizient an der Strecke verarbeitet werden können. Dadurch ist eine erweiterte Analyse und selbst das Ausführen von CBTC-Algorithmen in der Cloud möglich. Insgesamt führen die Technologietrends natürlicherweise zu einem Train-to-Cloud-Ansatz.

3 Der TRAIN2CLOUD-Ansatz

Entsprechend den technologischen Trends erfordern auch zukünftigen CBTC-Systeme mehr Digitalisierung und Automatisierung. Als Antwort auf die globalen Trends in der Bahnindustrie verfolgt die Siemens Mobility GmbH eine klare Digitalisierungsstrategie für ihre Produkte.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse des Vergleichs verschiedener CBTC-Architekturen (siehe Kapitel 2.3) ergibt sich eine Evolution hin zum streckenzentrierten Ansatz als favorisierten Ansatz für die Zukunft.

Deshalb folgt Siemens für CBTC-Systeme dem streckenzentrierten und cloud basierten Ansatz TRAIN2CLOUD.

Die Züge werden durch zentralisierte Standard-Server-Hardware in einer bahnspezifischen Datenzentrale, dem sogenannten Rail Data Center, gesteuert und überwacht. Das bedeutet, dass die wichtigsten CBTC-Teilsysteme wie Streckengerät (Zugsteuerung und Zugbeeinflussung), Stellwerk und Betriebsleittechnik zentral in diesem Rail Data Center ablaufen.

Diese allgemeine Tendenz ist auch im Fernverkehr mit dem Infrastruktur-in-der-Cloud-Ansatz zu beobachten (siehe [5]), bei dem zentralisierte Stellwerke und ETCS-Streckenentralen jeweils für ein gesamtes Land eingeführt werden.

3.1 Was bedeutet TRAIN2CLOUD?

Der TRAIN2CLOUD-Ansatz bedeutet Digitalisierung und Virtualisierung des CBTC-Systems.

Standard-Cloud-Computing-Technologien sind für die geforderte Sicherheit (SIL4) und Verfügbarkeit nicht ausreichend. Daher müssen beispielsweise grundlegende Funktionen wie der Umgang mit gemischten Sicherheitsanforderungsstufen, Resource Pooling oder Rapid Elasticity durch besondere Middleware realisiert werden.

Mit der Evolution hin zu Cloud-Technologien ergeben sich neue Möglichkeiten für eine höhere Automatisierung, Virtualisierung und innovative Verbesserungen durch KI-basierte Funktionen.

Durch die Virtualisierung von Funktionen (z.B. Stellwerk, Streckengerät, Betriebsleittechnik) sind diese nicht mehr an feste Hardwarestandorte gebunden, sondern erlauben eine flexible Verteilung auf andere Standorte innerhalb des Systems. Dies erhöht die Flexibilität und Zuverlässigkeit der CBTC-Systeme durch Unterstützung multidimensionaler Redundanzmechanismen wie Georedundanz weiter.

Aus Sicht der Architektur entwickelt Siemens die CBTC-Systeme konsequent hin zum idealen streckenzentrierten Ansatz, welcher die besten Zukunftsaussichten bietet.

3.2 Kundennutzen von TRAIN2CLOUD

Der TRAIN2CLOUD-Ansatz bietet Kunden eine Reihe von Vorteilen:

- Die höhere Zentralisierung erfordert weniger Hardware für die Streckeneinrichtung, was zu einem geringeren Platzbedarf der CBTC-Systeme führt. Bei neuen Strecken reduziert das direkt den CO₂-Ausstoß durch kleinere Technikräume. Ein geringerer Platzbedarf ist auch bei Modernisierungsprojekten von Vorteil.
- geringere Lebenszykluskosten durch zentrale Updates und verbesserte Instandhaltung
- flexibles und modernes Release- und IT-Sicherheitsmanagement (z. B. Sicherheitspatches)

processed trackside. This allows advanced analytics and even CBTC algorithms to be computed in the cloud.

Altogether, the technological trends naturally lead to a train-to-cloud approach.

3 The TRAIN2CLOUD approach

Future CBTC systems need to provide much more digitalisation and automation. Siemens Mobility GmbH has adopted a clear digitalisation strategy for its products to respond to the global trends in rail industry.

In addition, the evolution towards a trackside-centric approach is most favourable for the future when considering the comparison of the CBTC architectures (see Chapter 2.3).

That is why Siemens has adopted the so-called TRAIN2CLOUD approach for CBTC systems.

The trains will be controlled and supervised by standardised and centralised server hardware located at a rail data centre. This means that the main CBTC subsystems such as ATS, IXL and WCU will be centralised at a rail data centre.

This general direction can also be seen in the long-distance traffic with the so-called “infrastructure in the cloud approach” (see [5]) where the goal is to introduce centralised interlockings and Radio Block Centres for an entire country.

3.1 What does TRAIN2CLOUD mean?

The TRAIN2CLOUD approach means the digitalisation and virtualisation of the CBTC system.

Standard cloud computing technologies are not sufficient to provide the requested level of safety (SIL4) and availability. Therefore, basic features such as the handling of mixed SIL, resource pooling or rapid elasticity need to be realised using a specific middleware.

The evolution towards cloud technologies will enable new opportunities for higher automation, virtualisation and innovative improvements using AI based functionalities.

The virtualisation of functionality (e.g. IXL, WCU, ATS) means that the functions are not connected to any special hardware locations and allows their flexible distribution to other locations within the system. This further improves the flexibility and reliability of the CBTC systems by supporting multi-dimensional redundancy mechanisms such as geographical redundancy.

From the architectural point of view, Siemens will consequently develop the CBTC systems in line with the ideal trackside-centric approach in the future, as it offers the most opportunities.

3.2 The customer benefits of TRAIN2CLOUD

The TRAIN2CLOUD approach provides customers with a lot of benefits:

- More centralisation leads to reduced hardware for the trackside equipment, which means reduced floor space demands for the CBTC systems. For new lines, this directly implies a reduction of CO₂ emissions due to the use of smaller equipment rooms. Reduced space demands also support the realisation of refurbishment projects.
- reduced lifecycle costs through centralised updates and improved system maintenance.
- flexible and modern release and IT security management (e.g. IT security patches).
- optimised obsolescence management due to more virtualisation and less hardware.
- support for future extensions:

- vereinfachtes Obsoleszenzmanagement durch mehr Virtualisierung und weniger Hardware
- Unterstützung zukünftiger Erweiterungen:
 - Bestehende Systemfunktionen können migriert werden.
 - Skalierbare Rechenleistung unterstützt zukünftige Erweiterungen (z. B. KI-Funktionen).
 - Die dichte Integration von Betreibersoftware und Signaltechnik zu einem Ökosystem wird durch integrierte und leicht zugängliche API unterstützt.

3.3 Umsetzung von TRAIN2CLOUD

Für eine erfolgreiche Umsetzung eines strategischen Ansatzes ist ein Migrationsweg von entscheidender Bedeutung, sodass die Umsetzung in mehreren Schritten und über einen längeren Zeitraum ermöglicht wird.

3.3.1 4G-/5G-Konnektivität

Eine hoch verfügbare und deterministische Kommunikation ist für CBTC-Systeme unentbehrlich. In aktuellen CBTC-Systemen sind Wi-Fi oder LTE-Funkkommunikationssysteme weit verbreitet. Die CBTC-Architektur von TRAIN2CLOUD ist nicht an eine bestimmte Art der Datenübertragung gebunden und profitiert so von den fortwährenden Leistungsverbesserungen der Kommunikationstechniken. Die Einführung von 5G als Kommunikationsstandard bedeutet, dass die öffentlich verfügbaren Funkssysteme der Mobilfunkbetreiber erstmals auch im großen Stil für industrielle Anwendungen und die Kommunikation in Kritischen Infrastrukturen verwendet werden können. Die Tatsache, dass 5G-Netze auch als Hybrid- oder vollständig private/öffentliche Lösungen aufgesetzt werden können, macht den Wechsel noch attraktiver, wenn es darum geht, einen ein-

- The migration of existing system functions is possible.
- Scalable computing power supports subsequent future extensions (e.g. AI functionalities).
- The close integration of operator software and signalling systems into one ecosystem will be supported by integrated and easily accessible APIs.

3.3 The implementation of TRAIN2CLOUD

A migration path is very important to the successful implementation of a strategic approach, so the realisation can be performed in several steps and over a longer time period.

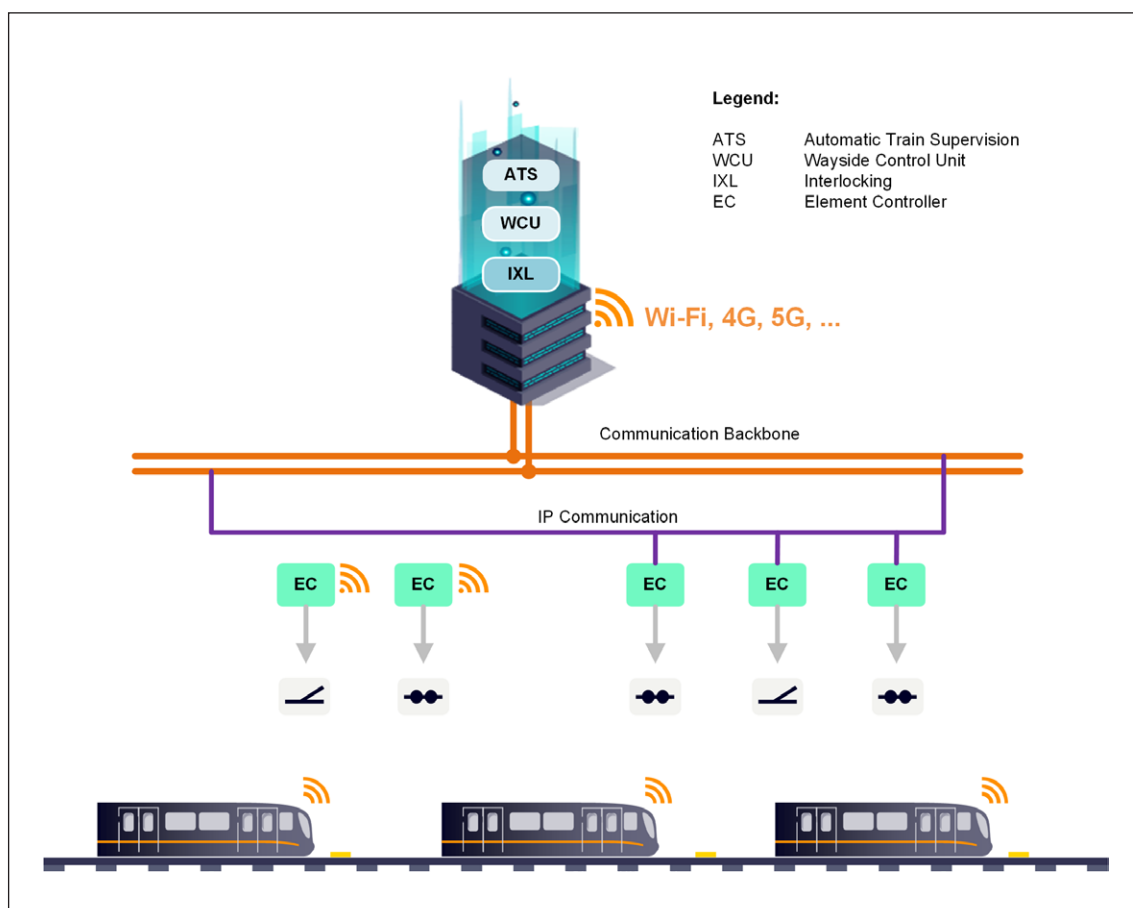
3.3.1 4G/5G Connectivity

Highly reliable and deterministic communication is essential for CBTC systems. The current CBTC systems make wide use of radio communication systems based on Wi-Fi or LTE.

The CBTC architecture of TRAIN2CLOUD is agnostic with regard to any specific kind of data communication and profits from the ongoing performance improvements to communication technology.

The standardisation of 5G means that the publicly available radio standard (provided by mobile network operators) can offer an opportunity for use on a large scale by industrial applications and for critical infrastructure communications for the first time. The fact that private 5G networks can also be established using hybrid or completely private/public approaches makes this change even more attractive, when the aim is a single common communication channel in a CBTC system. This allows flexible solutions depending on customer configurations (see [6]).

Bild 3: TRAIN-2CLOUD-Ansatz
Fig. 3: The TRAIN-2CLOUD Approach



zigen gemeinsamen Kommunikationskanal in einem CBTC-System zu nutzen. Dadurch sind flexible Lösungen, abhängig von den Kundenkonfigurationen, möglich (siehe [6]).

5G bietet bereits wertvolle Vorteile und hebt die Kommunikation in der Bahninfrastruktur auf ein neues Level, auch weil sich die Art und Weise, wie die Industrie Kommunikation anbietet und nutzt, ändern wird.

Auch TRAIN2CLOUD wird die 4G-/5G-Technik für die CBTC-Systeme nutzen. 2022 wurde die Siemens Mobility GmbH beauftragt, das U-Bahn-Netz in Oslo mit dem CBTC-System Trainguard MT zu modernisieren. Bei diesem Projekt wird als bidirektionaler Kommunikationskanal ein öffentliches 4G-Netz von zwei Mobilfunkbetreibern (Telia und ICE) genutzt.

2021/2022 hat Siemens auch einen 5G-Prototypen in Quanzhou (China) realisiert. Die 5G-Funkkommunikation wurde innerhalb des CBTC-Systems Trainguard MT implementiert. Neben der hochleistungsfähigen bidirektionalen Kommunikation vom Zug zur Strecke wurde auch die Datenübertragung zwischen den streckenseitigen Stellteilen erfolgreich mit 5G umgesetzt.

Es hat sich gezeigt, dass selbst mit einer festen Streckenkommunikation zwischen den Stellteilen und dem Stellwerk die Datenübertragung über 5G robust und leistungsfähig genug für ein CBTC-System ist und als wertvolle Option angesehen werden kann (Bild 3).

3.3.2 Zentralisierung im Rail Data Center

Der Bahnmarkt ist dringend auf Technologien angewiesen, die schnell einsatzfähig sind, denn die Digitalisierung übt ständigen Druck auf die Bahnindustrie aus. Der vermehrte Einsatz von bereits auf dem Markt verfügbaren Standard-Technologien und -Komponenten führt zu kostengünstigeren und schnelleren Markteinführungen.

Sicherheitsrelevante Anwendungen werden dann auf Standard-Multicore-Prozessoren anstatt auf speziell entwickelter Hardware ausgeführt. Die Verwendung handelsüblicher COTS-Industrie-

5G is already offering valuable benefits and taking rail infrastructure communication to a new level. This is also due to the fact that the way the industry offers and consumes communication is about to change.

TRAIN2CLOUD also aims to enable 4G/5G technology for CBTC.

In 2022 Siemens Mobility GmbH was awarded the contract for the refurbishment of the Oslo underground railway network with the Trainguard MT CBTC system. The public 4G networks of two mobile network operators (Telia and ICE) have been used as the bi-directional communication channel for this project.

In 2021/2022, Siemens also realised a 5G prototype installation in Quanzhou (China). 5G radio communication was implemented within the Trainguard MT CBTC system. In addition to high performance, bi-directional train to trackside communication, communication between the trackside element controllers was also successfully established via 5G.

It has been shown that the communication via 5G is robust and sufficient for a CBTC system, even for the fixed trackside communication between the element controllers and the IXL application, and therefore can be seen as a valuable option (fig. 3).

3.3.2 Centralisation at the data centre

The rail market is in urgent need of technology that is quickly deployable, because digitalisation is placing the industry under constant pressure. The increased use of standardised technologies and components that are already available in the market will guide the way to more cost-efficient and faster rollouts. Safety-related applications will have to be deployed on standard multicore processors instead of proprietary hardware. The use of COTS (commercial-off-the-shelf) industrial servers under the highest safety criteria (SIL4) meets the increasing demands for cost-efficient and sustainable solutions.

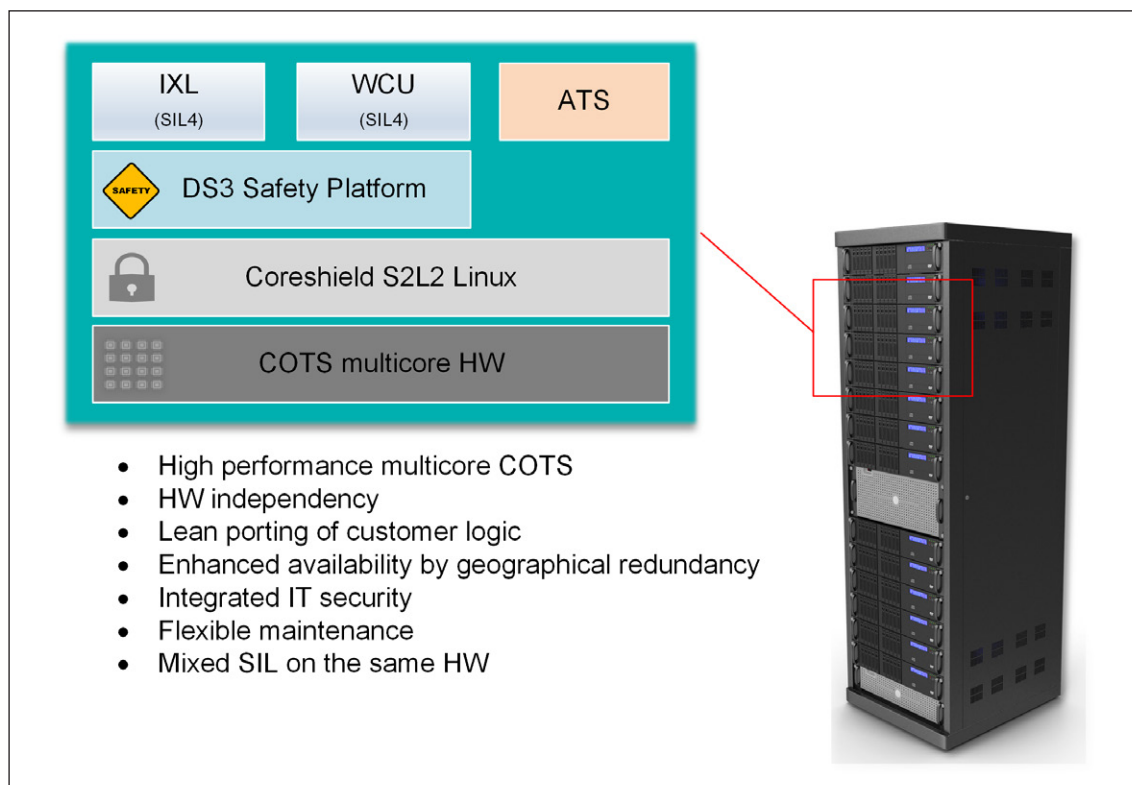


Bild 4: Rail Data Center von TRAIN2CLOUD mit integrierter IT-Sicherheitsschicht
Fig. 4: A TRAIN2CLOUD Rail Data Centre with an integrated IT Security Layer

Server für die höchsten Sicherheitskriterien (SIL4) erfüllt die steigende Nachfrage nach kostengünstigen und nachhaltigen Lösungen.

TRAIN2CLOUD beruht auf einem aus COTS-Komponenten aufgebauten Rail Data Center zur Bündelung der Sicherungslogik und der sicherheitsrelevanten Bahnanwendungen wie Stellwerk, Streckengerät und Betriebsleittechnik.

3.3.3 Sicherheitsplattform DS3

Die skalierbare Sicherheitsplattform DS3 (Distributed Smart Safe System) ist der Grundbaustein für die Realisierung eines Rail Data Centers und ein wesentlicher Bestandteil des TRAIN2CLOUD-Ansatzes.

Die DS3-Plattform wurde erstmals für Stellwerksanwendungen eingeführt und ging im November 2020 erfolgreich in Achau (ÖBB) in Betrieb (siehe [4]). Aktuell läuft der Schattenbetrieb in anderen Projekten (z. B. Barcelona FGC), und weitere Anlagen sind geplant.

Die DS3-Plattform unterstützt in vollem Umfang die strategische Ausrichtung von TRAIN2CLOUD mit höherer streckenseitiger Zentralisierung und Virtualisierung der Funktionen.

Bild 4 zeigt die verschiedenen Schichten eines Rail Data Centers. Die DS3-Plattform erlaubt eine vollständige Hardware-Abstraktion auf Multicore-Rechnern (COTS-Servern) durch Sicherstellung der höchsten Sicherheitsstufe (SIL4). Die gewählte Hardware kann an die Projektanforderungen angepasst werden (z. B. Leistungsfähigkeit, Redundanz) und stellt so eine hochskalierbare Lösung dar.

Die DS3-Plattform ermöglicht das Ausführen von sicherheitsrelevanten und nicht sicherheitsrelevanten Anwendungen auf derselben Hardware. Dadurch können auch nicht sicherheitsrelevante Anwendungen wie die Betriebsleittechnik auf derselben Hardware-Plattform integriert werden.

Als unterlagertes Betriebssystem verwendet die Siemens Mobility GmbH ein gehärtetes Linux-Betriebssystem, Siemens S2L2 Linux (Secure Super Long-Life Linux), und die dazugehörigen Bausteine für IT-Sicherheit. Die eingebaute IT-Sicherheit unterstützt IT-Sicherheits- und -Überwachungsmechanismen bis zur IT-Sicherheitsstufe SL3, einschließlich dem Remote-Update von Software oder Daten auf der COTS-Hardware.

Zur Gewährleistung der Sicherheit überwacht die DS3-Plattform kontinuierlich die parallele und sichere Ausführung der Anwendungen auf mindestens zwei physischen Servern durch ein intelligentes Mehrheits-Voting, das sich an die Anzahl der laufenden, angehaltenen und neu gestarteten Anwendungen anpasst. Diese der DS3-Plattform inhärenten Sicherheitsprinzipien unterstützen die Georedundanz des Rail Data Centers, was wiederum die Verfügbarkeit der Signaltechnik erhöht (Bild 5).

3.3.4 Schlanke Migration

Mit TRAIN2CLOUD werden Streckenfunktionen wie Stellwerk, Streckengerät und Betriebsleittechnik zunehmend in einem Rail Data Center zentralisiert.

Die DS3-Plattform unterstützt durch Bereitstellen der notwendigen Schnittstellen eine schlanke Migration bestehender Anwendungen auf die neue Sicherheitsplattform. Die externen Schnittstellen bleiben unberührt. Das erlaubt eine schrittweise Überführung bestehender Anwendungen und bewährter CBTC-Funktionen in die TRAIN2CLOUD-Architektur.

Dadurch ist eine stabile Evolution der CBTC-Architektur ohne Änderung der Grundprinzipien gewährleistet, was das Risiko für Kundenprojekte, welche TRAIN2CLOUD umsetzen, reduziert.

TRAIN2CLOUD aims at using a COTS-based rail data centre to concentrate the signalling logic and any safety-related rail-way applications such as IXL, WCU and ATS.

3.3.3 The DS3 safety platform

The scalable DS3 (Distributed Smart Safe System) safety platform is the basic building block for implementing a rail data centre solution and is an essential part of the TRAIN2CLOUD approach.

The DS3 platform was successfully introduced to interlocking applications and publicly commissioned in Achau (ÖBB Austria) in November 2020 (see [4]). Meanwhile, shadow mode operations in other projects are ongoing (e.g., Barcelona FGC) and further installations are planned.

The DS3 platform fully supports the strategic direction of TRAIN2CLOUD with more trackside centralisation and virtualisation of the functions.

The different layers of a rail data centre are shown in fig. 4.

The DS3 platform allows full hardware abstraction to multicore hardware (COTS servers) by ensuring the highest safety level (SIL4). The selected hardware can be adapted to the project needs (e.g. performance, redundancy), thereby making the solution highly scalable.

The DS3 platform enables the implementation of both safety-related and non-safety-related applications on the same hardware. This feature also allows the integration of non-safety-related applications like ATS on the same hardware platform.

Siemens Mobility GmbH uses a hardened Linux operating system, the Siemens S2L2 Linux (Secure Super Long-Life Linux), as the underlying operating system and the associated building blocks for IT security. This built-in IT security applies to the IT security protection and monitoring mechanisms up to the SL3 security level, including the remote update of software or data on the COTS hardware.

In order to ensure safety, the DS3 platform continuously supervises the parallel and safe implementation of the applications on at least two physical servers using intelligent majority voting that adjusts to the number of actively running, stopped and restarted applications. These platform-inherent safety principles support the geographical redundancy of the rail data centre that increases the reliability of the signalling systems (fig. 5).

3.3.4 Lean migration

TRAIN2CLOUD enables trackside functions such as IXL, WCU and ATS functions to be increasingly centralised at a rail data centre.

The DS3 platform supports the lean migration of any existing applications to the new safety platform by means of the provision of the necessary interfaces. The external interfaces will be untouched. This allows the stepwise transformation of any existing applications and well-proven CBTC functionalities into the TRAIN2CLOUD architecture.

This enables the stable evolution of the CBTC architecture without changing the basic principles and reduces the risks for any customer projects implementing TRAIN2CLOUD.

3.3.5 Future steps

TRAIN2CLOUD enables increased centralisation of the functions trackside in the future.

TRAIN2CLOUD provides the foundation for any bigger functional shifts from onboard to trackside. The advantageous evolution of CBTC architecture up to the ideal full trackside-centric

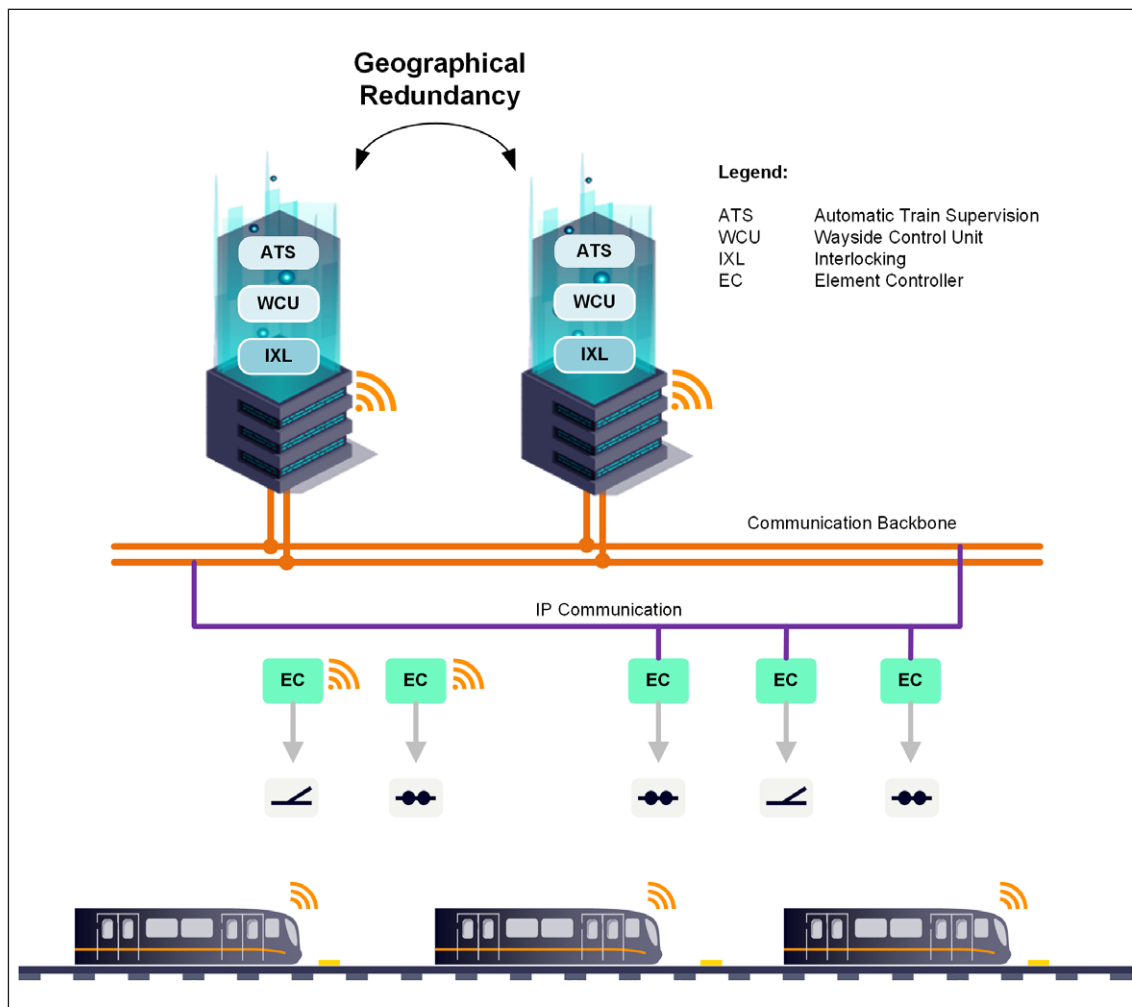


Bild 5: TRAIN2CLOUD mit Georedundanz
 Fig. 5: TRAIN2CLOUD with geographical redundancy

3.3.5 Weitere Schritte

Mit Umsetzung von TRAIN2CLOUD ist in Zukunft eine noch stärkere Zentralisierung von Funktionen an der Strecke möglich.

Dabei bildet TRAIN2CLOUD das Fundament für eine größere Verlagerung von Funktionen vom Fahrzeug an die Strecke. Die vorteilhafte Evolution der CBTC-Architektur bis hin zum idealen vollständig streckenzentrierten Ansatz (siehe Kapitel 2.2) erscheint möglich, wenn die bidirektionale Datenübertragung von der Strecke zum Fahrzeug ausreichend leistungsfähig ist.

4 Fazit

Die Analyse der Funktionsprinzipien der unterschiedlichen Ansätze für CBTC-Architekturen zeigt selbst auf einer allgemeinen und mehr theoretischen Ebene Vorteile beim eher streckenzentrierten Ansatz. Letztendlich führt die Evolution der CBTC-Ansätze zu idealen streckenzentrierten Lösungen, die mit ihren günstigen Eigenschaften und Features übrigbleiben.

Das passt zum allgemeinen Paradigma des städtischen Schienennahverkehrs und insbesondere der U-Bahnen, bei denen alle Zugfahrten zentral gesteuert werden. Ein maximaler Streckendurchsatz wird nur erreicht, wenn alle Zugfahrten und Fahrgastwechsel koordiniert sind. Siemens Mobility GmbH schlägt ihren TRAIN2CLOUD-Ansatz als streckenzentrierte Lösung durch Digitalisierung und Virtualisierung des CBTC-Systems vor.

Ein entscheidender Schritt in diese Richtung ist die Einführung der neuen Sicherheitsplattform DS3. DS3 ermöglicht die Nutzung von

approach (see Chapter 2.2) seems to be possible provided the performance of the bi-directional trackside to onboard communication is sufficient.

4 Conclusion

The investigation of the functional principles for the different approaches to CBTC architecture even on a general and somewhat theoretical level has revealed the advantages of a more trackside-centric approach. Finally, the evolution of the CBTC approaches has led to ideal trackside-centric solutions which have survived with their most favourable characteristics and features intact.

This fits the general paradigm of urban rail transportation and especially of underground railways that rely on centralised traffic control, where each train movement is stipulated by a central source. The maximum throughput on a railway line is only achieved when all the train movements and passenger exchanges have been coordinated.

Siemens Mobility GmbH proposes its TRAIN2CLOUD approach as a trackside-centric solution using the digitalisation and virtualisation of the CBTC system.

The introduction of the new DS3 safety platform is a major step in this direction. DS3 enables the use of multicore hardware and a COTS-based rail data centre to concentrate the signalling logic and the safety-related railway applications such as IXL, WCU and ATS on the same server. DS3 also enables the option of in-

Multicore-Hardware und eines aus COTS-Komponenten aufgebauten Rail Data Centers zur Bündelung der Sicherungslogik und der sicherheitsrelevanten Bahnanwendungen wie Stellwerk, Streckengerät und der nicht sicherheitskritischen Betriebsleittechnik. DS3 bietet außerdem die Möglichkeit, Kundenanwendungen zu integrieren, z. B. aus bestehenden Rail Data Centern.

Mit TRAIN2CLOUD ist das Fundament für eine zukünftige größere Verlagerung von Funktionen vom Fahrzeug an die Strecke für CBTC-Systeme gelegt. ■

tegrating customer applications, e.g. from existing rail data centres.

TRAIN2CLOUD provides the foundation for more substantial functional shifts from onboard to trackside for the CBTC systems of the future. ■

LITERATUR | LITERATURE

- [1] IEEE 1474.1-2004: IEEE Standard for Communications-Based Train Control (CBTC) Performance and Functional Requirements. IEEE, New York
- [2] Rahn, K.; Steingröver, A.: Evolution of CBTC – Effect of new Technologies on Key Performance, IRSE News, London
- [3] Reuter, D.; Braband, J.; Günther, J.; Lennartz, K.: Risk Acceptance Criteria for FFB Radio-based Train Operation, SIGNAL+DRAHT 05/2001
- [4] Steffens, S.; Valvoda, W.: The development of the new DS3 safety platform – from the research project to commissioning, SIGNAL+DRAHT 06/2021
- [5] Infrastructure in the Cloud – Digital Offerings for rail infrastructure – Global (siemens.com)
- [6] Schienbein, M.; Zöpfl, W.: 5G as an enabler for digitalization and new business models in mobility, SIGNAL+DRAHT 05/2023

AUTOREN | AUTHORS

Andreas Steingröver

Systemingenieur und Senior Principal Key Expert für Bahnautomatisierungslösungen / *Systems engineer and senior principal key expert for rail automation solutions*

E-Mail: andreas.steingroever@siemens.com

Karsten Rahn

Systemarchitekt und Principal Key Expert für Zugbeeinflussungssysteme im Nahverkehr / *Systems architect and principal key expert for mass transit train control systems*

E-Mail: karsten.rahn@siemens.com

Siemens Mobility GmbH

Anschrift / Address: Ackerstraße 22, 38126 D-Braunschweig

7. EURAILPRESS-FORUM

ALTERNATIVE ANTRIEBE im SPNV

25. Juni 2024 | Hamburg

JETZT ANMELDEN

Jetzt anmelden unter:
www.eurailpress.de/antriebe2024

Der neue Hybrid
aus Bremsenergie wird Strom

In Kooperation mit:

VDV Die Verkehrsunternehmen

Veranstalter: **Eurailpress**

Medienpartner: **NaNa** **NaNa-Brief** **DER NAHVERKEHR**