

# Innovationen in CBTC-Anwendungen

## Innovations in CBTC applications

Dominique Eichner | Björn Uhrig

**M**oving-Block-Betrieb, also Fahren im (absoluten) Bremswegabstand, ist die Basis für den höchstmöglichen Durchsatz und damit die bestmögliche Auslastung eines Metro-systems. Diese Funktion ist Kernbestandteil kommunikations-basierter Zugbeeinflussungssysteme (CBTC – Communication Based Train Control). Zunehmende Möglichkeiten der Vernetzung und Nutzbarmachung von Daten umgebender Systeme schaffen ideale Voraussetzungen für auf CBTC-Systeme aufsetzende digitale Lösungen, die den Betrieb noch effizienter und wirtschaftlicher machen.

### 1 Einführung

CBTC-Systeme sind aus dem Portfolio der Hersteller von Leit- und Sicherungssystemen für Metro- und Nahverkehrsnetze nicht mehr wegzudenken. Wann immer es gilt, aus einer neuen oder existierenden Anlage das Maximum an Leistungsfähigkeit herauszuholen oder sogar vollautomatischen Fahrbetrieb (GoA 3/GoA 4, Bild 1) zu realisieren, ist CBTC die bevorzugte Lösung. Ein CBTC-System (Bild 2) besteht aus

- der Streckenausrüstung, die sich wie folgt zusammensetzt:
  - das Stellwerk (Interlocking; IXL) zur Fahrstraßenverwaltung und -überwachung und
  - die CBTC-Streckenkomponente (Automatic Train Protection and Control; ATP/ATC), die die Streckenbereiche überwacht und in Abhängigkeit von Fahrstraße und Gleisbelegung die Fahrerlaubnis (Movement Authority, MA) erteilt

**M**oving block operations, i.e. driving at braking distance, is the basis for the highest possible throughput and thus the best possible utilisation of a metro system. This function is a core component of communications-based train control systems (CBTC). Increasing connectivity options and the harnessing of data from surrounding systems have created ideal conditions for digital solutions based on CBTC systems that make operations even more efficient and economical.

### 1 Introduction

CBTC systems constitute an integral part of the portfolio on offer from signalling manufacturers for urban mass transit applications.

CBTC is the preferred solution in those cases where the priority is to extract maximum passenger capacity out of a new or an existing system or even to realise fully automatic operations without any train drivers (GoA 3/GoA 4, fig. 1).

A CBTC system (fig. 2) typically consists of

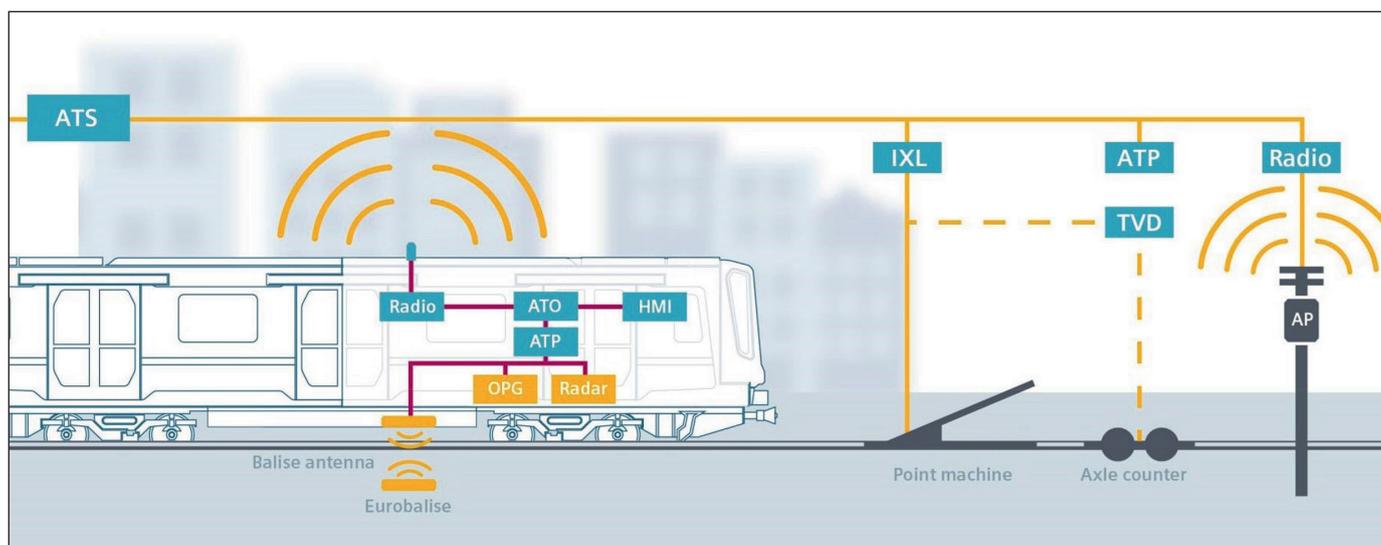
- trackside equipment consisting of:
  - the interlocking (IXL) for managing and monitoring the routes and
  - the CBTC trackside component (Automatic Train Protection and Control; ATP/ATC) which supervises the train movements on the track and grants movement authorities (MA) to CBTC equipped trains based on their location and IXL route status

<b>GoA0</b>	Conventional operations (on-sight train operation)	E.g.: operations according to BOStrab
<b>GoA1</b>	Manual driving with train protection, whilst the driver controls the train and is responsible for start, stop and door controls. Train operation is not automated.	E.g.: Local traffic Frankfurt, Stuttgart, Hannover or ETCS L1 & L2
<b>GoA2</b>	Semi-automatic train operation with driver. The train is driven automatically from start to stop, but the driver triggers the start.	E.g.: Munich, Vienna, Budapest, China, New York
<b>GoA3</b>	Driverless train operation; there is only a train attendant on board, responsible for the door control and able to operate the train via an emergency control panel.	E.g.: London Docklands LRT
<b>GoA4</b>	Fully automatic driverless train operation without personnel on the train. All operations are automated. The ATS can intervene in the train operation.	E.g.: Nuremberg, Paris, Budapest, Barcelona, Istanbul, Singapore, Hong Kong

Bild 1: Definition der Automatisierungsgrade (Grade of Automation / GoA)

Fig. 1: The definition of the Grades of Automation / GoA

Quelle (alle Bilder) / Source (all fig.): Siemens Mobility GmbH



**Bild 2: CBTC-Architekturübersicht**

Fig. 2: The CBTC architecture: an overview

- der CBTC-Fahrzeugausrüstung, die aus zwei Kernkomponenten besteht, und zwar ATP und ATO, ergänzt durch die Führerstandsanzeige (Mensch-Maschine-Schnittstelle; HMI), wobei
  - die ATP die Zugposition ermittelt, sie an den Streckenkomponente überträgt und sicher die Geschwindigkeit und die zurückgelegte Strecke des Zuges überwacht und
  - die ATO den Zug automatisch vom Start bis zum nächsten betrieblichen Haltepunkt fährt
- einem funkbasierten Zug / Strecke-Kommunikationssystem (Radio)
- einer Leitzentrale bzw. einem zentralen ATS (Automatic Train Supervision) -System zur Steuerung des Systems.

CBTC-Systeme ermöglichen es, die Kapazitäten des Netzes und der Fahrzeuge bei vergleichsweise geringen Investitionen und Betriebskosten voll auszunutzen: Durch die Möglichkeit, Züge im Moving Block fahren zu lassen, können Zugfolgezeiten auf das technisch erreichbare Minimum reduziert werden, während gleichzeitig weniger Equipment auf der Strecke installiert werden muss, da Signale grundsätzlich überflüssig werden und – je nach Betriebs- und Rückfallkonzept – auch auf feste Gleisfreimeldeanlagen weitgehend verzichtet werden kann.

## 2 Migration, Betriebsmodi und Optimierung des Systems

Die Eigenschaften, die die Umgebung des CBTC-Systems mitbringen sollte, reichen von der geeigneten Gestaltung des Streckennetzes über die Bereitstellung von leistungsfähigem Rollmaterial (bezogen beispielsweise auf Beschleunigungs- und Bremsvermögen) bis hin zur Definition eines Betriebskonzeptes, das unter Berücksichtigung der vom System bereitgestellten Funktionen auf die Anforderungen des Betreibers maßgeschneidert werden kann. Sind bei einem „Greenfield“-Projekt, also einer Neuerrichtung eines Metrosystems sprichwörtlich „auf der grünen Wiese“, und der damit einhergehenden Neubeschaffung von geeigneten Zügen alle Möglichkeiten gegeben, um diese Bedingungen optimal zu erfüllen, ist der Spielraum bei einem „Brownfield“-Projekt, bei dem vorhandenes Streckennetz und Rollmaterial mit einem neuen Leit- und Sicherungssystem aufgerüstet werden, normalerweise eng gesteckt. Um bei einer Aufrüstung das bestmögliche Endergebnis zu erreichen, bedarf es mehr als des geschickten Designs der Anlage und der passenden Auswahl der Konfigurationsdaten. Entscheidend

- CBTC onboard equipment which consists of two main subsystems, namely ATP and ATO:
  - ATP determines the train's position, transmits it to the trackside infrastructure and safely monitors the train's speed and travelled distance and
  - ATO automatically drives the train from initiation to the next operational stop, supplemented by the driver's cab display (human-machine interface; HMI),
- a radio-based train / trackside communication system
- a central ATS (Automatic Train Supervision) system for controlling and supervising the CBTC system's operations.

CBTC systems make it possible to maximise network capacity with comparatively little investment and can contribute to reducing operating costs. The CBTC function of allowing trains to run in a so-called moving block minimises the headway (the time elapsed between two consecutive trains), while at the same time reducing the trackside signalling infrastructure. Optical signals have basically become redundant and – depending on the operating and fallback concept – it is now possible to operate largely without any fixed track vacancy systems.

## 2 Migration, operating modes and optimising the system

The characteristics which the CBTC system's environment should provide range from the appropriate design of the route network through to the provision of high-performance rolling stock (in terms of its acceleration and braking capacity, for example) and on to the definition of an operating concept that can be tailored to the requirements of the operator, while taking into account the functions provided by the system. Whilst a “greenfield” project with a newly constructed rail system and newly procured train sets has few design constraints, multiple factors need to be considered for brownfield projects, where the existing infrastructure and trains are migrated to the CBTC system, meaning that the options are usually limited. Astute system design and very careful determination of the configuration data is required to achieve the best possible end result in a brownfield project. Another decisive success factor involves the selection of the right migration concept which, depending on the technical conditions and operating require-

Country	City	Line	Project Type	Grade of Automation (GoA)	Total Length (km)	No of Stations	No of Trains	Start of operation
USA	New York	Canarsie line	Refurbishment	2	17	24	69	2006
FR	Paris	Line 3, Line 5	Refurbishment	2	27	27	55	2008/2009
USA	New York	PATH	Refurbishment	2	22	13	110	2018
DK	Copenhagen	S-bane	Refurbishment	2	170	85	135	2016 (first phase)
HK	Hongkong	Shatin to Central Link	Refurbishment	4	47	27	37	2021
FR	Paris	Line 4	Refurbishment	4	14	30	52	2022
AT	Vienna	Line U5	Refurbishment	4	5	5	34	2023
AG	Buenos Aires	Line D	Refurbishment	2	11	16	24	2022

**Bild 3: Beispiele von abgeschlossenen und laufenden CBTC-Refurbishmentprojekten bei Siemens Mobility**

Fig. 3: Examples of completed and ongoing Siemens Mobility CBTC upgrade projects.

für den Erfolg ist außerdem die Auswahl des richtigen Migrationskonzeptes, das sich je nach technischen Gegebenheiten und betrieblichen Wünschen zwischen einem „Big-Bang“, bei dem das System in einem Schritt von der Alttechnik auf CBTC umgestellt wird, und der Doppelausrüstung der Fahrzeuge, der Strecke oder sowohl Fahrzeug als auch Strecke mit dem existierenden System und dem CBTC-System bewegen kann.

Siemens Mobility hat bereits mehr als 15 Bestandsanlagen und damit über 450 Streckenkilometer und mehr als 1100 Züge von einer existierenden Bestandstechnik auf CBTC aufgerüstet (siehe Beispiele in Bild 3).

Hierfür bietet Trainguard MT, die CBTC-Lösung der Siemens Mobility, eine Reihe von Funktionen, die auf Migrationsprojekte zugeschnitten sind.

Zum Beispiel wurde ein spezieller Betriebsmodus für die Doppelausrüstung der Fahrzeuge implementiert: „Non-Responsible/Other Train Control“, der es erlaubt, die CBTC-Fahrzeugausrüstung voll eingeschaltet zu belassen, der bereits vorhandenen Fahrzeugausrüstung aber die Verantwortung für Zugsicherung und -steuerung zu übergeben. Dies erlaubt eine unverzügliche fahrzeugeitige Umschaltung auf CBTC-Betrieb beim Passieren einer Migrationsgrenze, bspw. einer Station, die zwischen dem Streckenbereich mit der vorhandenen Ausrüstung und dem neu ausgerüsteten Bereich liegt.

Außerdem bietet Trainguard MT einen „Intermittent Train Control (ITC)“-Betrieb (Bild 4): Während die Fahrzeuge bereits vollständig für CBTC-Betrieb vorbereitet werden, erlaubt der ITC-Level, ohne Umbau der Streckenausrüstung, die lediglich um LEU (Lineside Electronic Units) in den Signallampenkreisen ergänzt wird, die MA aus dem Signalbild abzuleiten und per transparenter Balise an das Fahrzeug zu übermitteln, den Betrieb im festen Blockabstand mit Trainguard MT als punktförmiges Zugbeeinflussungssystem (PZB). Migrationsgrenzen entfallen, und die Streckenausrüstung kann sukzessive auf CBTC umgestellt werden, zum Beispiel abschnittsweise in nach Transportkapazitätsbedarf priorisierter Reihenfolge.

Der ITC-Level erlaubt bereits halbautomatischen Zugbetrieb: Der Fahrer kann der Automatic Train Operation (ATO) die Steuerung des Zuges übergeben, sobald eine MA empfangen wurde. Die ATO wird den Zug dann bis zum nächsten betrieblichen Haltepunkt steuern und punktgenau zum Stehen bringen.

Die volle Funktionalität, die sowohl kontinuierliche Überwachung als auch insbesondere die Optimierung der einzelnen Zugfahrt in Bezug auf Fahrzeit und Energieausbeute erlaubt, wird erst mit dem Vollausbau und dem Betrieb als kontinuierliches Zugbeeinflussungssystem (Continuous Train Control; CTC) möglich. Das gilt gleichermaßen für den fahrerlosen (GoA 3-) und vollautomatisierten (GoA 4-) Betrieb: Kontinuierliche bidirektionale Kommunikati-

ments, can range from a “Big Bang” solution to one where a more staged approach is considered appropriate. A “Big Bang” entails more risk and thus extensive testing, but it also does away with the necessity of any difficult interfaces between the old and new CBTC systems, such as dual fitment for either track, vehicles or both.

To date, Siemens Mobility has refurbished more than 15 existing metro and commuter rail systems and thus more than 450 kilometres of track and 1,100 trains (fig. 3).

Trainguard MT, the CBTC solution from Siemens Mobility, offers a range of functions tailored to the migration of brownfield projects.

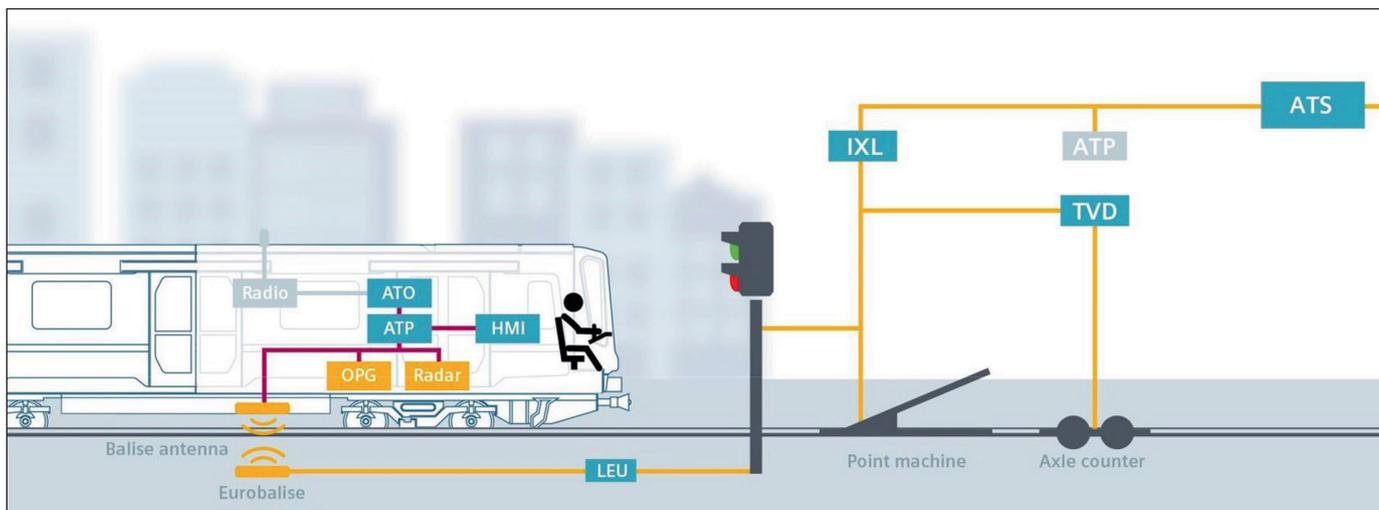
For example, a special operating mode for the dual operation of trains has been implemented: “Non-Responsible / Other Train Control” allows the CBTC vehicle equipment to be left fully activated, but assigns the responsibility for the train protection and control to the existing vehicle equipment of the legacy system. This allows for immediate switching between the onboard subsystems when passing from the old signalling system to a CBTC controlled section.

In addition, Trainguard MT delivers “Intermittent Train Control (ITC)” operations (fig. 4). While the vehicles are already fully prepared and equipped for CBTC operation, the ITC level allows classic fixed block operations without any additional trackside equipment except for the LEU (Lineside Electronic Units) in the signal lamp circuits. These LEU derive the MA from the optical signal aspect and transmit them to the vehicle via a Eurobalise. Migration boundaries and interfaces are thus eliminated and the trackside infrastructure can be sequentially converted to CBTC, for example, in sections according to a sequence prioritised by the transport capacity requirements.

The ITC level already supports semi-automatic train operations using fixed blocks. The driver can cede control of the train to the Automatic Train Operation (ATO) as soon as a MA has been received. The ATO will then drive the train to the next operational stopping point and bring it to a precise halt.

The full functionality that enables continuous supervision in the operations and in particular the optimisation of each individual train journey in terms of travel time and energy consumption is achieved by installing the trackside equipment. This is called Continuous Train Control (CTC) which supports driverless (GoA 3) and fully automated (GoA 4) operations. The trackside infrastructure ensures continuous bidirectional communication between the CBTC equipped vehicles and the trackside equipment.

A fully equipped Trainguard MT system enables maximum passenger capacity, optimal performance for each type of train, minimised headway and energy savings of 20% or more through en-



**Bild 4: CBTC-Architekturübersicht für Intermittent Train Control (ITC)**  
 Fig. 4: The CBTC architecture; an overview for Intermittent Train Control (ITC)

on zwischen CBTC-Fahrzeug- und -Streckeneinrichtung ist erforderlich.

Ein vollausgerüstetes Trainguard MT-System erlaubt maximalen Streckendurchsatz, optimale Performance für jeden Zugtyp, minierte Zugfolgezeiten sowie Energieeinsparungen von 20% und mehr durch energieoptimierte Geschwindigkeitsprofile (Energy Efficient Driving; EED) für jede einzelne Zugfahrt.

Unsere digitalen Erweiterungen machen sich die Systemeigenschaften zunutze und bieten zusätzliche Optimierungsmöglichkeiten.

### 3 Digitale Erweiterungen des CBTC

Siemens Mobility arbeitet kontinuierlich daran, den Kundenmehrwert durch innovative Add-Ons bzw. Erweiterungen des CBTC-Systems zu steigern. Im Folgenden wird auf einige dieser Innovationen näher eingegangen. Siehe dazu auch der entsprechende Artikel in SIGNAL+DRAHT 1+2/2021 [1].

#### 3.1 Zugfolgezeiten in Abhängigkeit von der Nachfrage

Eine der Innovationen im Rahmen von CBTC ist die Demand Responsive Operations (DRO)-Funktionalität, die durch Controlguide AIRO ermöglicht wird.

ergy-optimised speed profiles (Energy Efficient Driving; EED) for every single train journey.

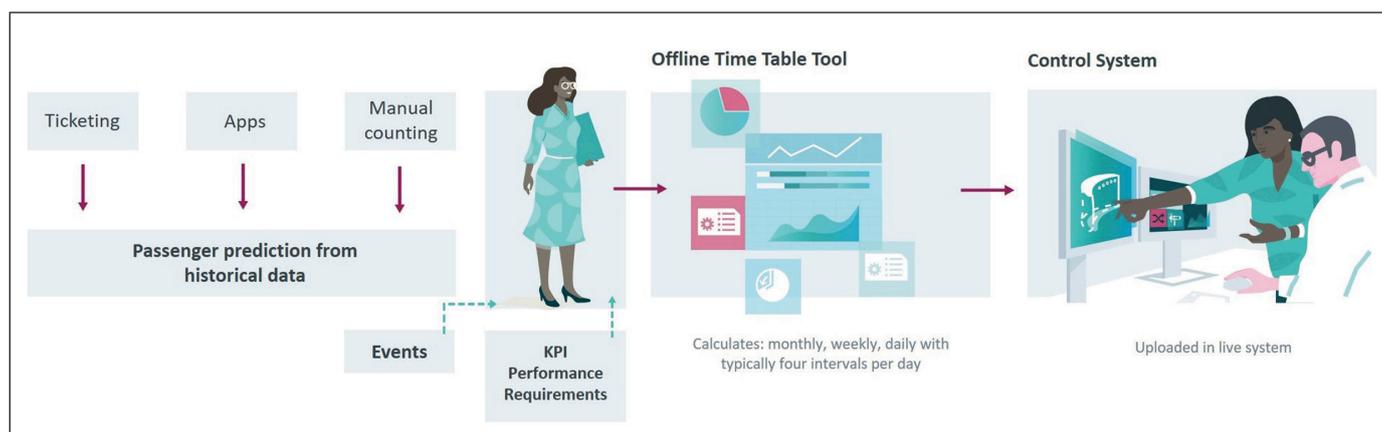
Moreover, our recently developed digital capabilities (IoT) make use of the intrinsic data generated by the CBTC system and offer additional optimisation options.

### 3 Digital CBTC extensions

Siemens Mobility is continuously working to improve the customer experience through innovative new functionalities or extensions of the CBTC system. Some of these innovations will be discussed in more detail in the following section. Also see the according article in the SIGNAL+DRAHT 1+2/2021 issue [1].

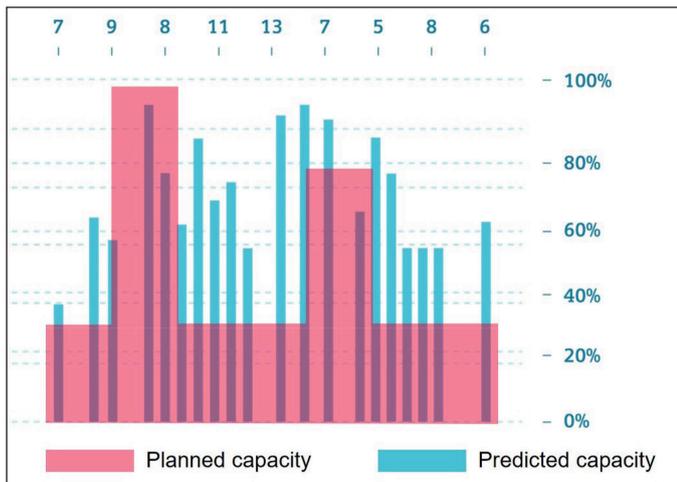
#### 3.1 Headway on demand

One of the CBTC innovations is the Demand Responsive Operations (DRO) functionality enabled by Controlguide AIRO. The aim is to provide the operator with a deep understanding of the passenger demand for public transportation and hence help operators to tailor their train services to match demand, both in terms of the headway and the number of trains required. Controlguide AIRO analyses passenger demand forecasts in mass



**Bild 5: Konventionelles Fahrplanmanagement auf Basis historischer Erfahrungen**  
 Fig. 5: Conventional timetable management based on historical experience

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



**Bild 6: DRT-basiertes Fahrplanmanagement auf der Grundlage des prognostizierten Verkehrsbedarfs**

Fig. 6: DRT-based timetable management based on projected traffic needs

Deren Ziel ist es, durch ein tiefes Verständnis der Fahrgastanforderungen in Bezug auf den öffentlichen Verkehr den Betreiber bei der Anpassung von Zugverbindungen an den tatsächlichen Bedarf zu unterstützen – sowohl hinsichtlich der Zugfolge als auch der Anzahl der benötigten Züge. Controlguide AIRO trifft Vorhersagen der Transportnachfrage in Nahverkehrsnetzen und erstellt auf der Grundlage dieser Vorhersage optimierte Fahrpläne für jeden Tag.

Für die Analyse der Stationsauslastung und die Erstellung der Fahrpläne haben bisher manuelle Prozesse und die Verwendung historischer Daten eine dominierende Rolle gespielt (Bild 5). Heute wird die Auslastung der Stationen per Videoüberwachung erfasst, oder das Sicherheitspersonal zählt manuell. Basierend auf diesen Ex-post-Informationen werden Zugfahrpläne erstellt. Das

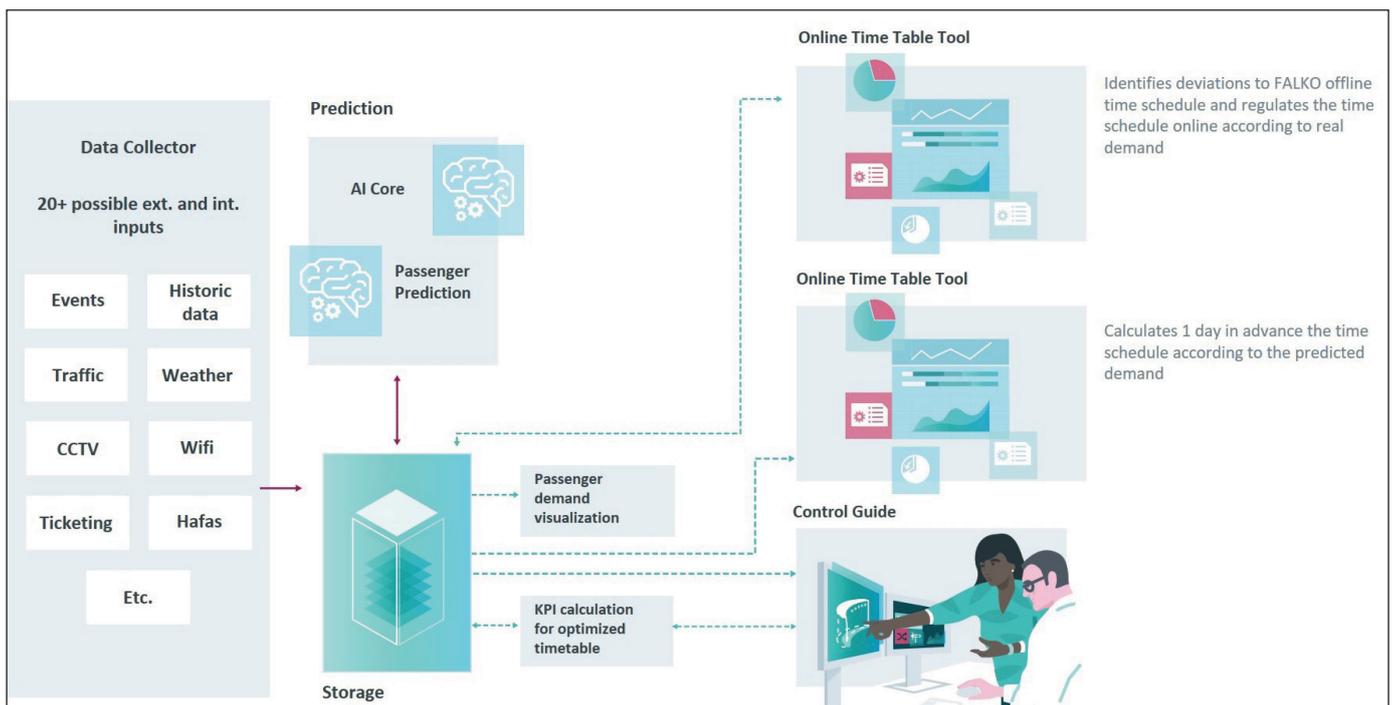
transit networks and creates optimised timetables for each day based on these forecasts.

Manual processes and the use of historical data have previously played a dominant role in the analysis of station occupancy levels and timetable creation (fig. 5). Nowadays, station occupancy levels are recorded by video surveillance or manually by security personnel. Train timetables are created retrospectively based on this ex-post information and they can take many months to prepare. This results in a timetable that is not only inflexible, but also relies on old, superseded and thus inaccurate data. One could argue that it is well optimised on a stable foundation, yet it is very difficult to adapt to any sudden changes in the system and the timetable.

This is where Controlguide AIRO comes in: it offers operators more flexibility and – as a prerequisite – the required deeper understanding of passenger demand. Predicting passenger behaviour plays a crucial role in any modern city’s public transportation network. Controlguide AIRO predicts passenger behaviour on a daily basis using internal and external data sources (fig. 6 and 7). Optimised timetables are then developed based on these predictions in order to best meet the predicted passenger demand.

The initial demand prediction is automatically updated by Controlguide AIRO every day to reflect any changes in demand and thus to provide a timetable optimisation source for the following day.

The optimised timetable must also take into account factors such as passenger waiting times, energy efficiency targets, train kilometres, maintenance costs, etc. These factors are represented as “Key Performance Indicators” (KPI) and are used as a basis for the development and optimisation of the timetable for the target date. The mathematical algorithm, which is used in combination with a timetable tool, uses these KPI together with the demand prediction for each day to calculate an optimal timetable for the trains.



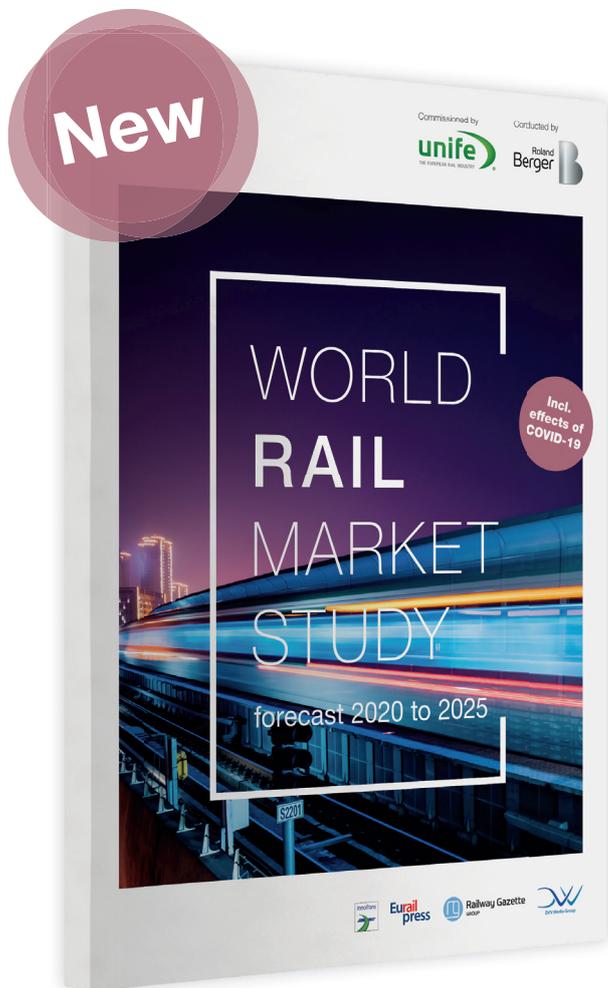
**Bild 7: DRT-basiertes Fahrplanmanagement auf der Grundlage des prognostizierten Verkehrsbedarfs**

Fig. 7: DRT-based timetable management based on projected traffic needs

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

# WORLD RAIL MARKET STUDY

8<sup>th</sup> edition | forecast 2020 to 2025



Commissioned by UNIFE,  
conducted by Roland Berger  
and published by DVV | Eurailpress |  
Railway Gazette

The eighth edition of the UNIFE World Rail Market Study once again provides a comprehensive view of the current status and expected development of the total and accessible world rail supply market. Given the current situation and the uncertainty of economic development due to the impact of COVID-19, the study also addresses the global pandemic and provides a future outlook along two different scenarios. Furthermore, the 2020 edition of the study qualitatively analyses sustainability as a key trend in the rail industry and its impact on the modal shift to rail.

Available as:  
PDF Version – ISBN 978-3-87154-669-3  
Printed Version – 978-3-87154-668-6  
Date of publication: October 2020

**The largest study of its kind –  
Order this unique insight to the  
world rail market right now!**

**Contact:** DVV Media Group GmbH | Eurailpress  
**E-Mail:** [service@eurailpress.com](mailto:service@eurailpress.com)  
**Phone:** +49 40 237 14-260  
**Fax:** +49 40 237 14-258

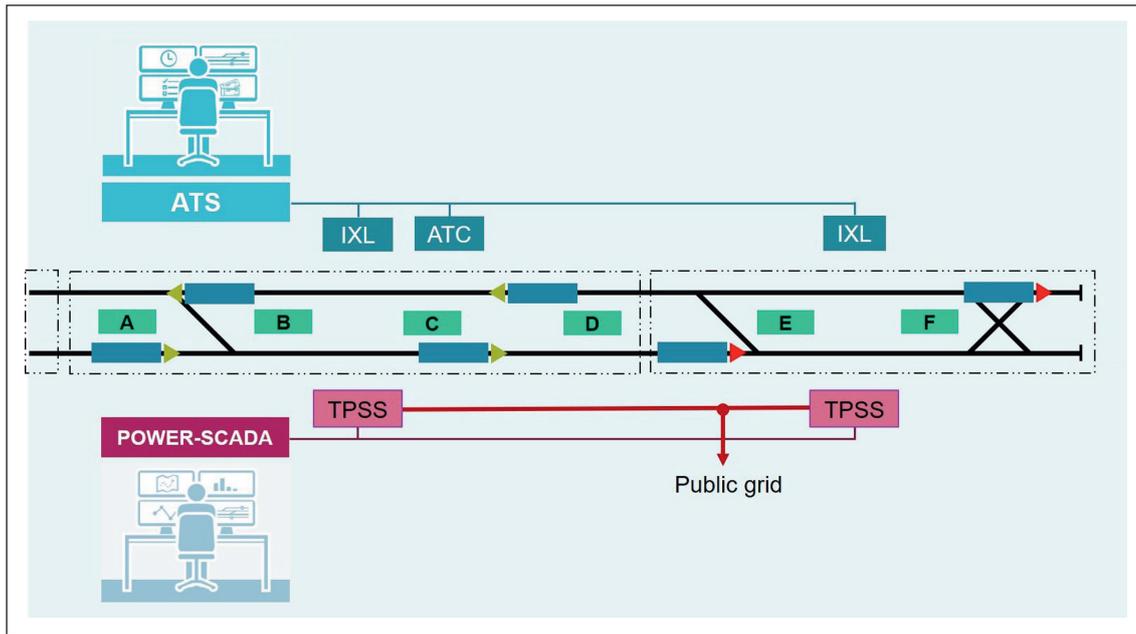
More information at [www.eurailpress.de/wrms20](http://www.eurailpress.de/wrms20)

Commissioned by



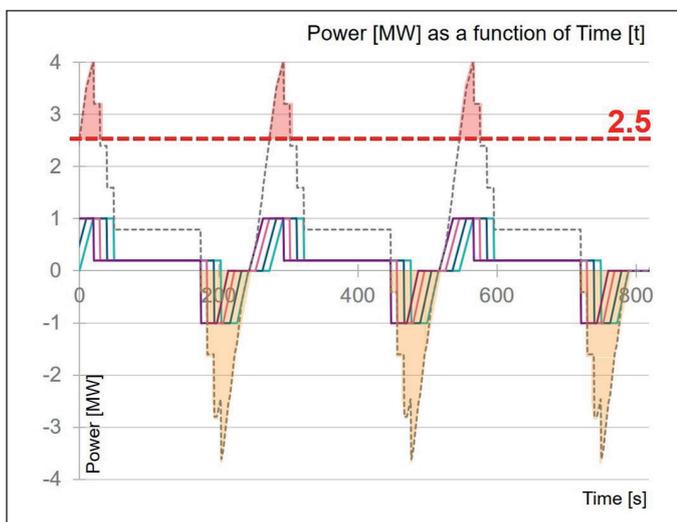
Conducted by





**Bild 8: Beispiel für ein Betriebsszenario ohne Berücksichtigung der Energiebilanz**  
 Fig. 8: An example of an operating scenario without consideration of the energy balance

Ergebnis ist ein Fahrplan, der nicht nur unflexibel ist, sondern auch auf überholten Daten aus der Vergangenheit beruht. Man könnte argumentieren, dass er auf einem stabilen Fundament gut optimiert ist, aber es ist sehr schwierig, sich an plötzliche Änderungen im System und Zeitplan anzupassen. Hier setzt Controlguide AIRO an: Es bietet den Betreibern mehr Flexibilität und – als Grundlage hierfür – das benötigte tiefere Verständnis der Passagieranforderungen. Vorhersage des Fahrgastverhaltens spielt eine entscheidende Rolle im öffentlichen Verkehrsnetz jeder modernen Stadt. Mit Controlguide AIRO wird täglich der Transportbedarf der Fahrgäste unter Verwendung interner und externer Daten prognostiziert (Bilder 6 und 7). Basierend auf diesen Vorhersagen werden optimierte Fahrpläne entwickelt, um das System mit bestmöglicher Effizienz betreiben zu können. Die anfängliche Bedarfsvorhersage wird von Controlguide AIRO automatisch an jedem Tag aktualisiert, um Änderungen in der Nachfrage widerzuspiegeln, und kann somit als Quelle für die Fahrplanoptimierung für den Folgetag genutzt werden.



**Bild 9: Zeitlicher Verlauf des Traktionsstrombedarfs**  
 Fig. 9: Traction power demand over time

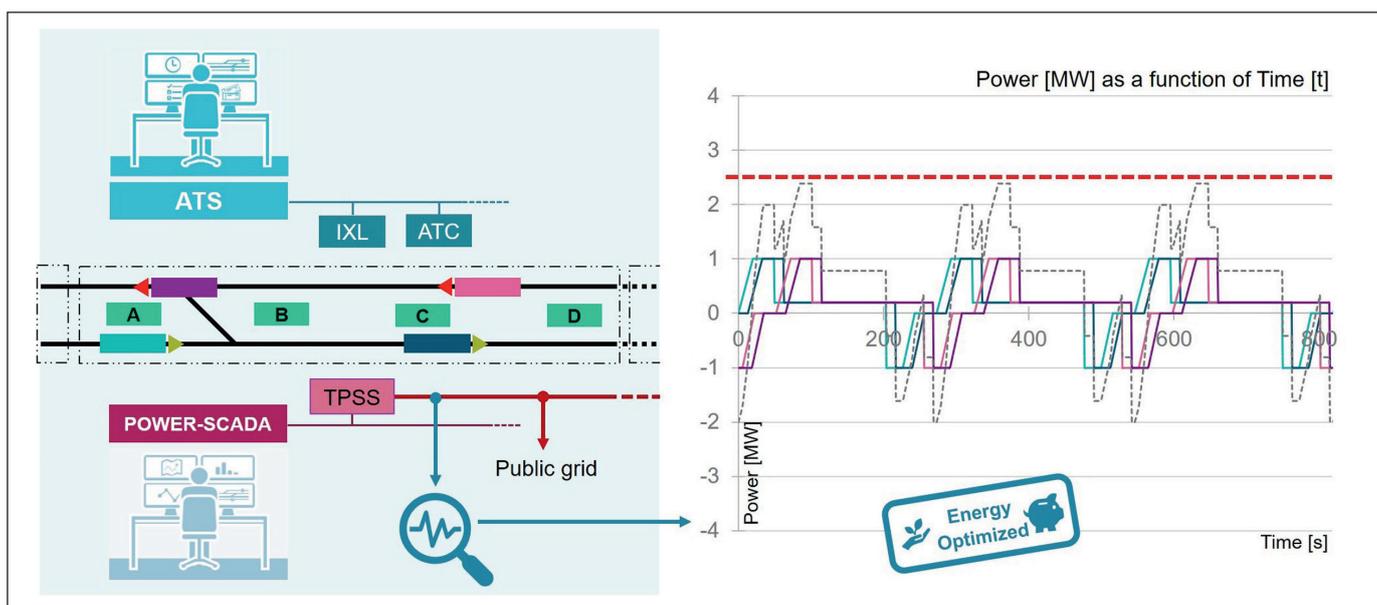
The KPI allow the formulation of a balance between any different and potentially conflicting objectives that operators may face, e.g. reducing operating costs while ensuring a defined maximum average waiting time. By adapting the train timetable to the predicted passenger demand and the current situation, an improvement in both the quality of the travel experience for passengers (e.g. a reduced maximum average waiting time) and the operators' target values (e.g. fewer train kilometres) can be achieved simultaneously. Passenger behaviour with regard to public transport usage has changed, especially due to the pandemic situation. Controlguide AIRO enables operators to react to this immediately and amend their operations accordingly. The statutory physical distancing rules can be supported by defining a maximum number of passengers per train. This ensures sufficient space is available in the train to facilitate social distancing. Controlguide AIRO not only makes it possible to better understand and predict passenger demand, but also enables operators to provide train services tailored to this demand. In addition, Controlguide AIRO learns very quickly and gains further knowledge on how to respond to future incidents. Further information on Controlguide AIRO, formerly DRO, can be found in the 1+2/2021 issue of SIGNAL+DRAHT [1].

**3.2 Energy Optimised Operations (EOO)**

A common goal for operators and suppliers alike is the construction and operation of the most energy-efficient metro system. This can be supported through digitalisation and the possibilities offered by analysing huge amounts of data. Thus, it is possible to reduce the energy peak loads and harness energy that would otherwise be wasted, thereby reducing CO<sub>2</sub> emissions and helping make metro systems more environmentally friendly.

How is this achieved? One solution is called Energy Optimised Operations (EOO).

It is best explained using the following schematic (fig. 8). This picture shows a typical track layout with two tracks, several stations (A-F) and some trains. The track is divided into several traction power zones. Every zone is supplied with electric power through at least one traction power supply subsystem (TPSS). On



**Bild 10: Beispiel für ein energieoptimiertes Betriebsszenario**

Fig. 10: An example of an energy-optimised operating scenario

Der optimierte Fahrplan muss auch Faktoren wie Wartezeiten für Fahrgäste, Energieeffizienzziele, Zugkilometer, Wartungskosten usw. berücksichtigen. Diese Faktoren werden als „Key Performance Indicators“ (KPI) dargestellt und als Richtschnur für die Erstellung und Optimierung des Fahrplans für das Zieldatum verwendet. Der mathematische Algorithmus, der in Kombination mit dem Fahrplantooll verwendet wird, nutzt diese Leistungskennzahlen zusammen mit der Bedarfsvorhersage für jeden Tag, um einen optimalen Fahrplan für die Züge zu berechnen.

Die KPI ermöglichen die Formulierung einer Balance zwischen verschiedenen und potenziell widersprüchlichen Zielen, denen die Betreiber gegenüberstehen könnten, z. B. die Senkung der Betriebskosten bei gleichzeitiger Gewährleistung einer maximalen durchschnittlichen Wartezeit.

Durch die Anpassung des Zugfahrplans an die prognostizierte Fahrgastnachfrage und die aktuelle Situation kann gleichzeitig eine Verbesserung sowohl der Qualität des Fahrgasterlebnisses (z. B. Reduktion der maximalen durchschnittlichen Wartezeit) als auch der Zielwerte der Betreiber (z. B. weniger Zugkilometer) erreicht werden.

Gerade in der pandemischen Situation hat sich das Fahrgastverhalten bzgl. der Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel verändert. Mit Controlguide AIRO können Betreiber direkt darauf reagieren und den Betrieb optimieren. Die Einhaltung der gegebenen Abstandsregeln kann durch die Festlegung einer maximalen Anzahl von Fahrgästen, die je Zug zugelassen werden, unterstützt werden. Mit Controlguide AIRO ist es nicht nur möglich, die Fahrgastanforderungen besser zu verstehen und vorherzusagen, sondern es wird den Betreibern auch ermöglicht, Zugverbindungen auf der Grundlage dieser Nachfrage anzubieten. Darüber hinaus lernt Controlguide AIRO sehr schnell und gewinnt weiteres Know-how, um auf alle Vorfälle zu reagieren.

Weiterführende Informationen zu Controlguide AIRO, ehemals DRO, finden Sie in SIGNAL+DRAHT 1+2/2021 [1].

### 3.2 Energieoptimierter Betrieb (EOO)

Ein gemeinsames Ziel von Betreibern und Herstellern ist der Bau und Betrieb des energieeffizientesten U-Bahn-Systems. Dies kann durch die Digitalisierung und die Möglichkeiten der Analyse großer Datenmengen unterstützt werden. Auf diese Weise sind wir in der Lage, die erforderlichen

the one hand, there is the Power SCADA system which is used to control and visualise the status of the overall traction power grid. On the other hand, there is the ATS which contains information about the train location and the timetable. So, let's look at the grid power consumption over time (fig. 9).

Now, let's consider four trains inside a traction power zone that are accelerating approximately simultaneously. The diagram shows the power consumption per train over time. Since all the trains are accelerating at more or less the same time, the individual consumption adds up and exceeds the maximum energy consumption level that has often been contractually defined / agreed upon. Furthermore, if all the trains brake at about the same time, there is no option to make use of the energy generated by the braking so that it can be fed back into the grid. Given that there is no accelerating train in the specific traction power zone, there is also no train available to be supplied with the generated energy. The consequences are manifold and harmful to the operator. On the one hand, penalties may apply for exceeding the contractually agreed maximum energy consumption level and, on the other hand, energy is wasted that could otherwise be used. With EOO these two worlds of Power SCADA with ATS will be connected.

The illustration on the left of fig. 10 shows an optimised version of the previously explained scenario. There are two trains that are accelerating in the traction power zone, while two trains are braking in the same traction power zone.

Two positive effects of EOO can be observed. Firstly, the peak loads are reduced by simply ensuring a time offset between the acceleration of the trains. As we can see, the power consumption of the individual trains does not add up to the level shown previously. The total energy consumption remains continuously below the contractually agreed energy level. Secondly, the energy generated from the braking of the trains can be used to supply the accelerating train with energy, as it is fed back into the grid. As shown in the graph plot on the left, two trains brake and two trains accelerate in the one traction power zone so that the accelerating trains can be supplied with the energy obtained from the braking trains.

derlichen Spitzenlasten zu reduzieren und Energie nutzbar zu machen, die sonst verschwendet würde, wodurch die CO<sub>2</sub>-Emissionen reduziert und U-Bahn-Systeme zusehends umweltfreundlicher werden.

Wie wird das erreicht? Eine Lösung heißt Energy Optimized Operations (EOO).

Sie lässt sich am besten anhand eines Szenarios erklären (Bild 8). Dieses Bild zeigt einen üblichen Gleisabschnitt mit zwei Gleisen, einigen Bahnhöfen (A-F) und Zügen. Die Strecke ist in mehrere Traktionsstrombereiche unterteilt, jeder Bereich wird über mindestens ein Traktionsstromsystem (TPSS) mit elektrischer Energie versorgt. Auf der einen Seite gibt es das Überwachungssystem der Traktionsstromversorgung (Power SCADA): Es wird verwendet, um den Status des Stromnetzes zu steuern und zu visualisieren. Auf der anderen Seite gibt es die Leittechnik (ATS), die Informationen über den Zugstandort und den Fahrplan enthält. Werfen wir also einen Blick auf den Stromverbrauch (Bild 9).

Wir betrachten vier Züge innerhalb eines Traktionsstrombereichs, die ungefähr gleichzeitig beschleunigen. Das Diagramm zeigt den Stromverbrauch pro Zug im Zeitverlauf. Da alle Züge mehr oder weniger gleichzeitig beschleunigen, summiert sich der individuelle Verbrauch und durchbricht ein oft vertraglich festgelegtes/vereinbartes Energieniveau. Wenn alle Züge etwa zur gleichen Zeit bremsen, gibt es keine Möglichkeit, die regenerativ durch die Zugbremsung erzeugte Energie zu nutzen, sodass sie wieder ins Netz eingespeist werden kann. Da es in der jeweiligen Traktionskraftzone keinen beschleunigenden Zug geben würde, steht kein Zug zur Verfügung, der mit der erzeugten Energie versorgt werden könnte. Die Folgen sind vielfältig und nachteilhaft: Zum einen können Strafen für Überschreitung der vertraglich vereinbarten maximalen Leistungsanforderung fällig werden, zum anderen wird Energie verschwendet, die andernfalls genutzt werden könnte.

Mit EOO werden die Überwachung der Traktionsstromversorgung (Power SCADA) und die Leittechnik (ATS) miteinander verknüpft. Die Darstellung auf der linken Seite in Bild 10 zeigt eine optimierte Version des zuvor erläuterten Szenarios. Es gibt zwei Züge, die in den Traktionsleistungszonen beschleunigen, während zwei Züge in dieser Traktionskraftzone bremsen.

Dadurch treten zwei positive Effekte auf: Erstens werden die Spitzenlasten reduziert, einfach durch den zeitlichen Versatz der Beschleunigung der Züge. Wie wir sehen, summiert sich der Stromverbrauch der einzelnen Züge nicht auf das zuvor gezeigte Niveau. Der Gesamtenergieverbrauch bleibt kontinuierlich unter dem vertraglich vereinbarten Energieniveau. Zweitens kann die erzeugte Energie aus dem Bremsen von Zügen, da sie wieder ins Netz eingespeist wird, genutzt werden, um den beschleunigenden Zug mit Energie zu versorgen. Wie im Bild gezeigt, bremsen zwei Züge, zwei Züge beschleunigen in den Traktionsleistungszonen, sodass die beschleunigenden Züge mit der durch Bremsen gewonnenen Energie versorgt werden können.

EOO gibt nicht nur einen klaren Überblick über den aktuellen und zukünftigen Energieverbrauch, indem es Daten sowohl aus dem ATS als auch aus dem Power SCADA nutzt. Basierend auf diesen Daten liefert EOO einen energieeffizienten Fahrplan und optimiert das Netz, wodurch Spitzenlasten sowie Energieverschwendung reduziert werden, sodass die Energieeffizienz des Systems über die Möglichkeiten des EED (siehe Abschnitt 2) hinaus verbessert werden kann.

### 3.3 Schnellere Kommunikation und vielfältige Nutzung mit 5G-Mobilnetzwerken

Funkkommunikation spielt eine wichtige Rolle im Signalling-Portfolio und darüber hinaus.

5G kann als disruptive Technologie angesehen werden, die sowohl 2G-Technologien wie GSM-R als auch Tetra obsolet machen

EOO not only provides a clear overview of the current and future energy consumption needs by using data from both the ATS and the Power SCADA, but it also provides an energy-efficient timetable and optimises the grid, thereby reducing the peak loads as well as energy wastage so that the overall energy efficiency of the system can be improved beyond the possibilities of EED (see Section 2 above).

### 3.3 Faster communication and multiple uses with 5G mobile phone networks

Radio communication plays an important role in the signalling portfolio and beyond.

5G can be seen as a disruptive technology that has made 2G technologies such as GSM-R as well as Tetra obsolete. In addition, there is also potential for 5G to even make Wi-Fi 6 obsolete.

It not only offers high transmission rates of up to 10,000 Mbit/s, but also opens up possibilities for dedicated services and real-time applications; functionalities that were not possible with LTE due to latency issues.

The most obvious use case with regard to 5G is train to trackside communication – it can be used not only for train control and security technology, but also for CCTV, passenger information, passenger announcements, etc. In fact, it can integrate any wireless data communications we know of.

A further thought: e.g. the station infrastructure can be connected wirelessly. In addition, field elements such as interlockings can communicate with each other and with field elements such as point machine operating modules, track vacancy devices, etc. through 5G technology.

The wavelength and modulation of 5G can improve radio coverage compared to Wi-Fi.

If we look at the current default configuration (fig. 11), the situation is as follows: Airlink works as a Wi-Fi-based communication system. Siemens Mobility's current business model is to provide trackside access points and radio equipment on board the trains and to take care of the required availability by implementing redundant structures, redundant network components, etc.

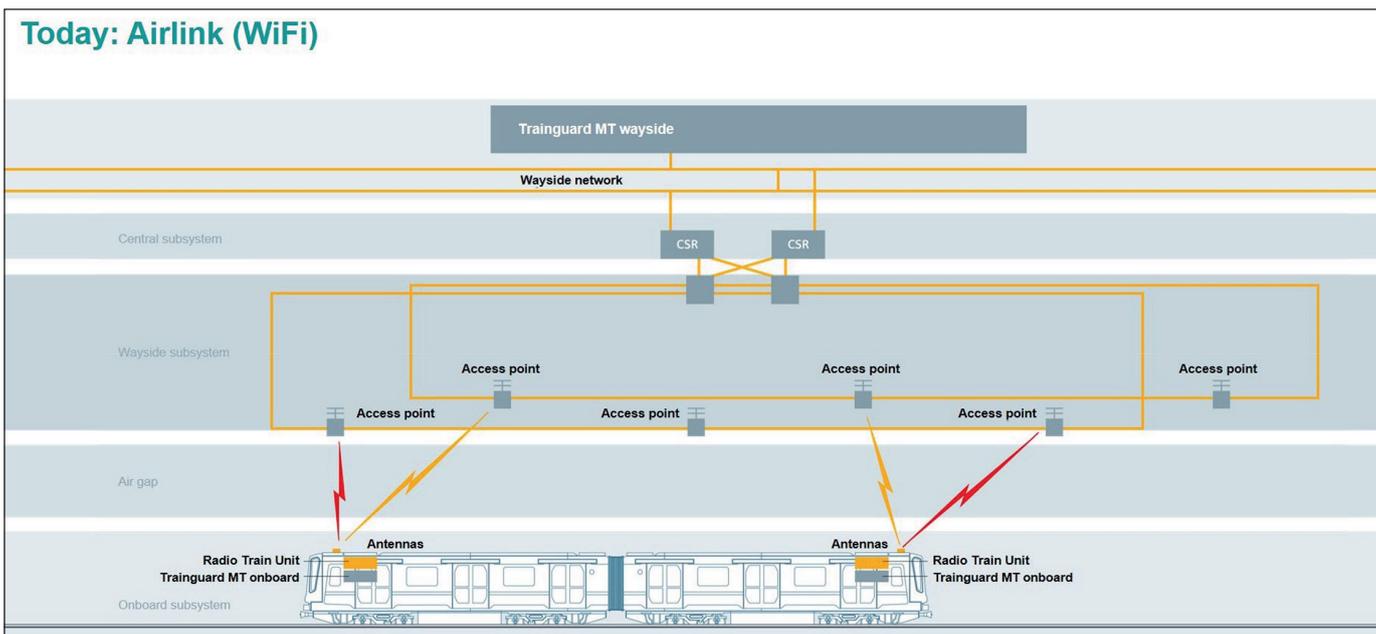
By comparison, hardly any cables will need to be laid in a 5G world (fig. 12) and the almost complete disappearance of fibre optic networks will be able to be achieved. The corresponding IT infrastructure will disappear entirely. Ideally, a single radio infrastructure will be created for a variety of different applications. In addition, there are less installation and commissioning costs, less qualification costs and more room for new business models, namely the transition from a CAPEX (Capital Expenditure) to an OPEX (Operational Expenditure) driven organisation. Furthermore, public mobile networks should be considered instead of private ones.

Siemens Mobility intends to use the public 5G network for several reasons. Private frequencies would certainly be an advantage, but its availability is quite limited for the time being – not only if we look at frequency regulations in specific countries, but also if we see how private 5G frequencies are used in Europe.

In Germany, for example, private 5G frequencies with 100 MHz bands are already in use, but they are limited to local areas such as factories, campus networks, etc. This is not applicable in our case, as we must cover entire cities.

Also, when it comes to cybersecurity, further benefits are anticipated from the advanced possibilities that 5G will provide.

As far as the question of the overall rollout in major cities is concerned, the situation depends on the given region. Things



**Bild 11: Heutige Funkausrüstung für die bidirektionale Fahrzeug-Streckenkommunikation**

Fig. 11: Today's radio equipment for bidirectional vehicle route communication

kann. Darüber hinaus gibt es Potenzial für 5G, Wi-Fi selbst in Version 6 obsolet zu machen.

Es bietet nicht nur hohe Übertragungsraten von bis zu 10000 Mbit/s, sondern eröffnet auch Möglichkeiten für dedizierte Dienste und Echtzeit-Anwendungen – Funktionalitäten, die mit LTE aufgrund der Latenz nicht möglich waren.

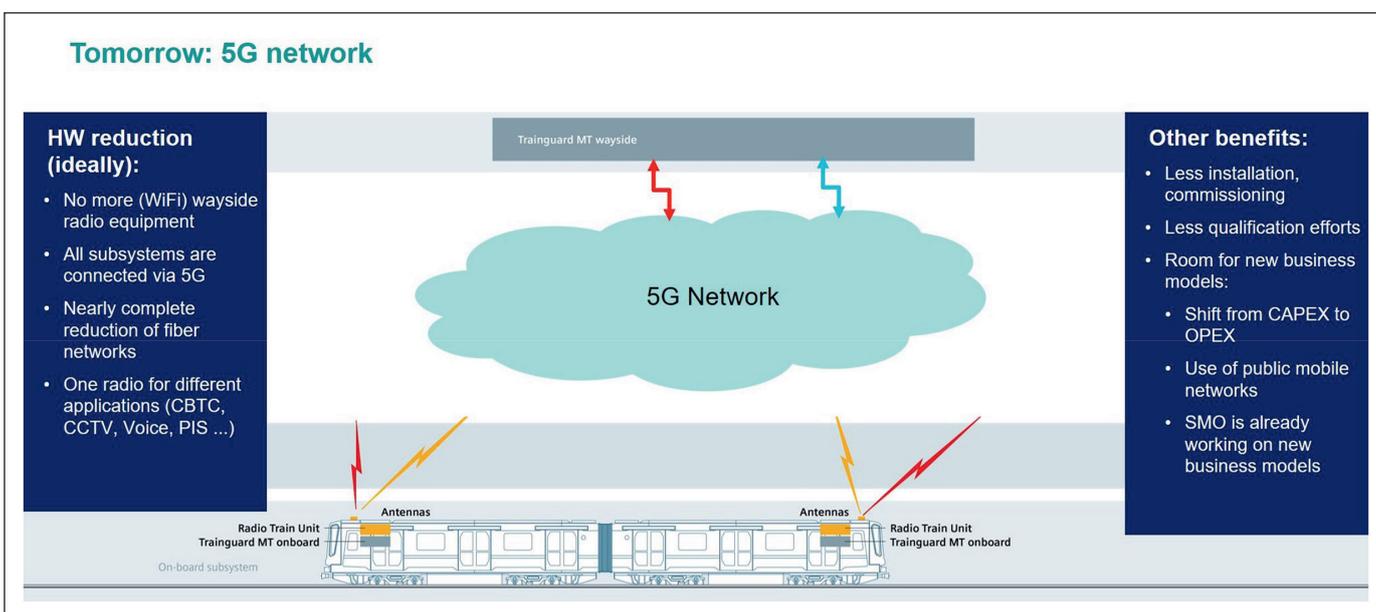
Der offensichtlichste Anwendungsfall in Bezug auf 5G ist die Fahrzeug-Streckenkommunikation – sie kann außer für die Leit- und Sicherungstechnik auch für CCTV, Fahrgastinformation, Fahrgastankündigung etc. verwendet werden – in der Tat kann jedwede drahtlose Datenkommunikation, die wir kennen, integriert werden.

are now beginning to gather momentum in Europe. 5G is already accessible and usable in several cities with smartphone manufacturers already offering 5G capable mobile phones. We assume, therefore, that the required network rollout will be achieved in large cities within the next two years, meaning that CBTC systems will be able to be operated with this technology.

#### 4 Conclusion

EOO and DRT are just two examples of concrete applications that are only made possible by digitalisation and that provide an impression of how the capacity and operational flexibility of

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



**Bild 12: Zukünftige Ausrüstung für die bidirektionale Fahrzeug-Streckenkommunikation mit 5G**

Fig. 12: The future equipment for bidirectional vehicle route communication with 5G

Weitergedacht kann z. B. die Stationsinfrastruktur drahtlos mit allen Assets verbunden werden. Darüber hinaus können Streckengeräte wie Stellwerke durch 5G-Technologie untereinander und mit Feldelementen wie Weichenstellteilen und Gleisfreimeldeeinrichtungen kommunizieren.

Durch die Wellenlänge und Modulation von 5G kann die Funkabdeckung im Vergleich zu Wi-Fi verbessert werden.

Wenn wir die heutige Standardkonfiguration betrachten (Bild 11), stellt sich die Situation wie folgt dar: Airlink arbeitet als Wi-Fi-basiertes Kommunikationssystem. Das aktuelle Geschäftsmodell sieht vor, streckenseitige Access Points und Funkausrüstung an Bord der Züge bereitzustellen und für die benötigte Verfügbarkeit zu sorgen, indem man redundante Strukturen, redundante Netzwerkkomponenten usw. implementiert.

Im Vergleich dazu wird in einer 5G-Umgebung (Bild 12) kaum noch Aufwand für Kabelverlegung benötigt und eine nahezu vollständige Reduzierung der Glasfasernetze kann erreicht werden. Die gesamte entsprechende IT-Infrastruktur wird verschwinden. Im Idealfall entsteht eine Funkinfrastruktur für vielfältige verschiedene Anwendungen. Darüber hinaus ergeben sich weniger Installations- und Inbetriebnahmeaufwand, weniger Qualifizierungsaufwand und Raum für neue Geschäftsmodelle, nämlich den Übergang von CAPEX (Capital Expenditure - Investitionsausgaben) zu OPEX (Operational Expenditure - Betriebsausgaben). Außerdem sollten öffentliche Mobilfunknetze anstelle privater Mobilfunknetze in Betracht gezogen werden.

Die Siemens Mobility beabsichtigt aus mehreren Gründen, das öffentliche 5G-Netz zu nutzen: Private Frequenzen wären sicherlich von Vorteil, sind aber vorerst recht begrenzt – nicht nur, wenn man Frequenzregelungen in einzelnen Ländern betrachtet, sondern auch dadurch, wie z. B. in Europa private 5G-Frequenzen genutzt werden.

In Deutschland werden bereits private 5G-Frequenzen mit 100 MHz-Bändern genutzt, aber sie beschränken sich auf lokale Bereiche wie Fabriken, Campus-Netzwerke usw. Für unseren Fall ist das nicht anwendbar, da wir ganze Städte abdecken müssen.

Auch in Bezug auf Cybersecurity wird ein zusätzlicher Nutzen von den erweiterten Möglichkeiten, die 5G bietet, erwartet.

Was die Frage des Gesamtausbaus in den Großstädten betrifft, durch den die Technik künftig für Eisenbahnsysteme nutzbar gemacht werden soll, ist die Situation je nach Region unterschiedlich. In Europa beginnt der Ausbau jetzt. In mehreren Städten ist 5G bereits zugänglich und nutzbar, da Smartphone-Hersteller schon 5G-Handys anbieten. Wir nehmen also an, dass der benötigte Netzausbau in den nächsten zwei Jahren in Großstädten erreicht werden wird und CBTC-Systeme mit dieser Technologie betrieben werden können.

#### 4 Fazit

EOO und DRT sind nur zwei Beispiele für konkrete Anwendungen, die erst durch Digitalisierung möglich werden und die einen Eindruck geben, wie die Kapazität und betriebliche Flexibilität von CBTC-Systemen optimal ausgenutzt werden können, um spezifische Anforderungen zu erfüllen, die mit herkömmlichen Mitteln nur schwer realisierbar sind.

Je mehr relevante Daten zur Verfügung stehen, desto vielfältiger sind die Möglichkeiten, den Betrieb auf die Belange von Betreibern und Fahrgästen maßzuschneidern. Die Einführung von 5G wird dieser Entwicklung einen zusätzlichen Impuls geben, weil es zukünftig noch leichter sein wird, das System mit bisher nicht verfügbaren Datenquellen zu vernetzen. ■

CBTC systems can be optimally exploited to meet specific requirements that are difficult to realise by conventional means.

The more available relevant data is, the more diverse the options for tailoring operations to the needs of both operators and passengers will become. The introduction of 5G is expected to give this development an additional boost, because it will be even easier to interconnect the system with previously unavailable data sources in the future. ■

#### LITERATUR | LITERATURE

[1] Schacha, J.: CBTC für U-Bahn in Bengaluru (Indien), SIGNAL+DRAHT 1-2/2021, S. 53-54

#### AUTOREN | AUTHORS

##### Dominique Eichner

Sales Director  
Siemens Mobility GmbH  
Anschrift / Address: Nonnendammallee 101, D-13629 Berlin  
E-Mail: dominiqueeichner@siemens.com

##### Björn Uhrig

Global Portfolio Owner  
Siemens Mobility GmbH  
Anschrift / Address: Ackerstraße 22, D-38126 Braunschweig  
E-Mail: bjoern.uhrig@siemens.com