# Einführung des hochautomatisierten Fahrens – auf dem Weg zum vollautomatischen Bahnbetrieb

The introduction of highly automatic operation – towards fully automatic train operation

Gerd Tasler | Volker Knollmann

Line der größten Herausforderungen unserer Zeit ist es, eine kostengünstige und nachhaltige Mobilität bei steigender Nachfrage zu gewährleisten. Das gilt gleichermaßen für alle Verkehrsträger, sowohl im Personen- als auch Güterverkehr. So wird z.B. in der "Verkehrsprognose 2030" des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) bis zum Jahr 2030 in Deutschland mit erheblichen Verkehrsleistungszuwächsen im Personenverkehr von ca. 20% und im Güterverkehr von rund 40% bezogen auf 2010 für den Schienenverkehr ausgegangen [1]. Damit steigen auch die Anforderungen an die Kapazität und die Verfügbarkeit von Bahnverkehrssystemen, die in allen Betriebssituationen eine hohe Sicherheit, operative Verfügbarkeit und Qualität des Bahnverkehrs unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten gewährleisten müssen. Ohne eine weitere Erhöhung des Automatisierungsgrades sind diese Herausforderungen kaum mehr zu erfüllen.

# 1 Einleitung

Mit der Spurführung durch das Rad-Schiene-System weist die Eisenbahn im Vergleich zum Straßenverkehr einen entscheidenden Systemvorteil auf und ist damit besonders prädestiniert für eine Automatisierung. Bereits heute sind bei den Eisenbahnen vielfältige Automatisierungsfunktionen im Einsatz: Elektronische Stellwerke steuern und sichern die Fahrwege, automatische Zugbeeinflussungssysteme sorgen für die Sicherung der Zugfahrten bei größtmöglicher Streckenkapazität und intelligente Betriebsleitsysteme übernehmen das zeitgerechte Einstellen von Fahrstraßen und sorgen dafür, dass die vorhandenen Kapazitäten durch Ausschöpfung aller Leistungsreserven besser ausgenutzt werden und auch in betrieblichen Ausnahmesituationen eine hohe Leistungsfähigkeit und Qualität des Bahnverkehrs gewährleistet wird. Mit der Digitalisierung wird eine weitere Leistungssteigerung durch die Optimierung kompletter Betriebsabläufe im Bahnverkehr nach operativen und betriebswirtschaftlichen Kennziffern möglich. Damit ist u.a. eine stärkere Vernetzung über verschiedene Arbeitsbereiche, Systeme, Anwendungen und auch über verschiedene Verkehrsträger hinweg verbunden. Und das wiederum bietet neue Möglichkeiten für die Automatisierung im Bahnverkehr, bis hin zu einem vollautomatischen Bahnbetrieb.

Bei U-Bahnen ist ein vollautomatischer Bahnbetrieb längst Realität, da sich diese wegen ihrer Trassenführungen in geschlossenen Tunnelsystemen besonders gut für einen fahrerlosen Betrieb eignen. Weltweit hat Siemens mittlerweile über 300 Streckenkilometer mit Technologie für den fahrerlosen Betrieb ausgerüstet und ist damit Marktführer in diesem Bereich. Doch auch im Fern-, Güter- und Regionalverkehr besteht zusehends der Wunsch, die Möglichkeiten des automatischen Fahrens zu nutzen, um den zukünftigen Herausforderungen gerecht zu werden.

O ne of the greatest challenges of our age involves ensuring cost-effective, sustainable mobility in the face of increasing demand. This applies to all types of transport, both passenger and freight traffic, equally. For example, the 2030 transport forecast study commissioned by the German Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure assumes considerable increases in transport capacity of approximately 20% in passenger rail transport and about 40% in freight rail transport in Germany by the year 2030 in comparison with 2010 [1]. This goes hand in hand with the increasing requirements for the capacity and availability of rail transport systems which have to ensure high levels of rail transport safety, operative availability and quality in all operating situations subject to economic aspects. These challenges can hardly be met unless the level of automation is raised further.

## 1 Introduction

Compared with road transport, the wheel-to-rail system means that railways have a decisive advantage and are therefore particularly predestined for automation. Diverse automation functions are already in use on railways today: electronic interlocking systems set and protect routes, automatic train control systems ensure that trains run safely at maximum line capacity and intelligent control systems have assumed the timely allocation of routes and make sure that existing capacities are better deployed by making full use of all performance reserves and that the rail services provide highlevel efficiency and quality even in exceptional operating situations. Digitisation enables a further boost in capacity by optimising complete operational sequences in rail transport in line with operative and business parameters. This goes together, for example, with more intensive networking across various areas of activity, systems and applications and also beyond different means of transport. In turn, this opens up new possibilities for rail automation through to fully automated train operations.

Fully automatic train operations have long since become a reality in metros since they are particularly suitable for driverless operations as they are routed in closed tunnel systems. Siemens has already equipped more than 300 route km with technology for driverless train operations worldwide and it is therefore the market leader in this field. However, mainline, freight and regional rail services are becoming increasingly interested in using the possibilities provided by automatic train operation (ATO) in order to meet future challenges.

Dabei unterscheiden sich die mit einem automatischen Fahren (ATO = Automatic Train Operation) erwarteten Vorteile im Fernverkehr nicht oder nur kaum von denen im Nahverkehr:

- Steigerung der Strecken- und Transportkapazität durch Verringerung der Zugfolgeabstände
- Verbesserung der Fahrplanstabilität und Pünktlichkeit durch gleichmäßige und planbare Fahrzeiten zwischen den Stationen, ein reproduzierbares Fahrverhalten unter Beseitigung individueller Fahrweisen der Triebfahrzeugführer und das Verringern von Fahrzeitreserven als Ergebnis einer gesteigerten Betriebsqualität
- Energieeinsparung durch optimierte Fahrweise
- Verringerung von mechanischer Beanspruchung und Verschleiß beim Antriebs- und Bremssystem mit geringeren Wartungskosten
- Lärmminderung, speziell im Frachtverkehr, durch ein sanftes und gleichmäßiges Fahren mit weniger Bremsvorgängen
- · Erhöhung des Fahrgastkomforts durch ein sanftes und gleichmäßiges Fahren und gleichbleibende Fahrqualität
- Erhöhung der Flexibilität für einen bedarfsorientierten Zugverkehr (bei GoA3/4, GoA = Grade of Automation)
- · Verbesserung der Betriebskosten durch Effektivitätssteigerung des Personals (bei GoA3/4)

Tab. 1 gibt einen Überblick über die wesentlichen Randbedingungen und Treiber zur Einführung des automatischen Fahrens in den verschiedenen Marktsegmenten des Fernverkehrs.

Grundlegende Unterschiede gegenüber dem Nahverkehr gibt es jedoch in den betrieblichen Rahmenbedingungen, die als besondere Herausforderungen bei der Einführung und Verbreitung des automatischen Fahrens im Fernverkehr berücksichtigt werden müssen:

- Größe und Komplexität des Streckennetzes: Das Streckennetz im Fernverkehr ist deutlich größer und komplexer als im Nahverkehr. Das macht die Installation der benötigten Infrastruktur schwieriger und erfordert intelligente Lösungen, um die benötigten "digitalen Streckendaten" für das automatische Fahren bereitzustellen und zu verteilen.
- Netzweiter Fahrzeugeinsatz verschiedener Betreiber: Im Normalfall müssen im Fernverkehr alle Fahrzeuge im gesamten Streckennetz einsetzbar sein. Das erschwert die Einführung von ATO, weil eine ausreichende Abdeckung mit Strecken- und Fahrzeugausrüstungen nur mit hohem Aufwand erreichbar ist. Zusätzlich werden die Fahrzeuge von verschiedenen Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) betrieben.
- Große Anzahl verschiedener Fahrzeugtypen: Die fahrdynamischen Eigenschaften (Beschleunigungs- und Bremsverhalten) können sich zwischen den verschiedenen Fahrzeugtypen er-

- The benefits expected from ATO in mainline rail services do not differ (or they differ only slightly) from those in mass transit:
- boosting infrastructure and transport capacity by decreasing the operational headway
- improving timetable stability and punctuality by means of more regular and predictable run times between stations, eliminating the variations inherent in manual driving and also reducing the time reserves as a result of increased operational quality
- · saving energy by optimising the speed profile
- · reducing mechanical wear and tear on traction and braking systems with lower maintenance costs
- reducing noise, especially in freight operations, by means of smoother and more homogeneous driving with less braking
- increasing passenger comfort by means of smoother and more homogeneous driving and providing more uniform
- increasing the flexibility for demand-oriented train operations (for GoA3/4; GoA = Grade of Automation)
- improving operating costs by increasing staff effectiveness (for GoA3/4)

Tab. 1 provides an overview of the major constraints and driving factors for the introduction of ATO in the different mainline market segments.

However, the prevailing operating conditions are subject to fundamental differences in comparison with mass transit. These differences have to be taken into consideration with regard to the introduction and rollout of ATO in mainline services:

- the size and complexity of the line network: a mainline network is considerably larger and more complex than a mass transit network. This makes the installation of the necessary infrastructure more difficult and requires intelligent solutions for maintaining and distributing the necessary "digital maps" for ATO.
- the network-wide deployment of vehicles from different operators: in general, all vehicles must be able to operate on all parts of the mainline network. This makes it difficult to roll out ATO because sufficient coverage with trackside and onboard equipment is only possible at considerable cost. In addition, the vehicles are operated by a range of different rail transport companies.
- the large variety of vehicle types: the dynamic behaviour (acceleration, deceleration) can differ considerably between ve-

Personenfernverkehr		Güterfernverkehr und	Minenbahnen
Fern- und Regional- verkehr, hohe Zug- dichte	Fern- und Regional- verkehr, geringe Zug- dichte	Güterverkehr	Minenbahnen
Kapazitätssteige- rung bei vorhande- ner Infrastruktur	Senkung Betriebs- kosten	Energieeinspa- rungen	Automatisches Be- und Entladen
Mischverkehr	Reduzierung der Ausrüstung	Interoperabilität	Robuste High-end- Lösungen
Interoperabilität	Hohe Anforderun- gen an Sicherheit	führer	Fahren ohne Lok- führer
Hohe Verfügbar- keit des Gesamt- systems	(Safety & Security)	Hohe Anforderun- gen an Sicherheit (Safety & Security)	Hohe Anforde- rungen an Verfüg- barkeit
Hohe Anforderun- gen an Sicherheit (Safety & Security)			Geringere Anforde- rungen an Sicher- heit (Safety)

Tab. 1: Wesentliche Randbedingungen und Treiber zur ATO-Einführung im Fernverkehr

Mainline passenger s	ervices	Mainline freight and	mining services
Mainline and regional services, high traffic density	Mainline and regi- onal services, low traffic density	Freight	Industrial and mi- ning
Capacity increase on existing infra- structure	Low operating costs  Reduction of	Energy savings Interoperability	Automated loading and unloading
Mixed traffic Interoperability	equipment  High safety/secu-	Driverless train operations	Robust high-end solutions
High availability of overall system	rity requirements	High safety/secu- rity requirements	Driverless train operations
High safety/secu- rity requirements			High availability requirements
			Lower safety/ security requirements

Tab. 1: The major constraints and driving factors for the introduction of ATO in mainline rail services

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Siemens AG / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group, 2018.

heblich unterscheiden. Um eine netzweite betriebliche Optimierung zu erreichen, müssen sowohl die Betriebsleittechnik als auch die fahrzeugseitigen Ausrüstungen für das automatische Fahren mit dieser Variabilität umgehen können.

 Mischverkehr und Mischbetrieb: Typisch für den Fernverkehr ist die gemeinsame Nutzung des gesamten Streckennetzes durch den Hochgeschwindigkeits-, Regional- und Güterverkehr. Aufgrund der Größe des Streckennetzes und der darauf verkehrenden Fahrzeugflotten wird für einen längeren Zeitraum ein Mischbetrieb von automatischen und nicht-automatischen Fahrzeugen erforderlich sein. Das ist nicht nur eine technische Herausforderung, sondern mindert auch die erreichbaren Verbesserungen in der Einführungsphase des automatischen Fahrens.

Anders als im Nahverkehr müssen für die Realisierung des automatischen Fahrens im Fernverkehr sowohl die EVU als Betreiber der Fahrzeugflotten (für die Ausrüstung der Fahrzeuge mit den fahrzeugseitigen ATO-Komponenten) als auch der oder die Infrastrukturbetreiber (zur Anbindung der ATO-Fahrzeuggeräte an die Betriebsleittechnik und Bereitstellung der notwendigen Kommunikationsinfrastruktur) eingebunden werden, um eine netzweite betriebliche Optimierung des Zugverkehrs zu erreichen. Das führt zweifelsohne zu einer zusätzlichen Komplexität bei der technischen Integration und den benötigten Vertragsbeziehungen.

Tab. 2 zeigt die wesentlichen Besonderheiten im Vergleich zum Nahverkehr, die bei der Einführung und Verbreitung des automatischen Fahrens im Fernverkehr zu berücksichtigen sind.

Weitere Herausforderungen gilt es bei der Einführung eines vollautomatisierten fahrerlosen und unbegleiteten Fahrens (GoA3/GoA4) im Fernverkehr zu meistern. Hier sind neben den technischen Lösungen zur Hinderniserkennung und Bahnsteigsicherung, also der Gefahrenraumüberwachung in einem weitestgehend öffentlich zugängigen Streckennetz, auch betriebliche Rückfallszenarien zu beschreiben und zu etablieren, die im Störungsfall einen sicheren Betrieb bei größtmöglicher Leistungsfähigkeit ermöglichen. [2] Hierfür sind auch normative und rechtliche Rahmenbedingungen sowie betriebliche Regelwerke anzupassen [3]. Auch aus diesem Grund wird im "normalen" Fernverkehr der

Weg zum vollautomatisierten Fahren (GoA3 für Personenverkehr / GoA4 für Personen- und Güterverkehr) über das hochautomatisierte Fahren entsprechend GoA2 führen. Damit lassen sich bei einem überschaubaren technischen Aufwand ein höherer Durchsatz, eine energieoptimierte Fahrweise und eine Verbesserung der Fahrplanstabilität und Pünktlichkeit erreichen. hicle classes. In order to achieve an optimized service at network level, both traffic management and on-board equipment must be able to deal with this variety.

 mixed traffic and mixed operations: the joint use of the line network by high-speed, regional and freight trains is typical for mainline services. Given the size of the network and the fleets, a mix of advanced automatic operations and regular non-automatic operations will be inevitable for a considerable period of time. This is not only a technical challenge, but it also limits the achievable improvements during the migration phase.

Unlike mass transit, the implementation of an ATO system for mainline operations requires action from both rail transport companies and fleet operators (on-board ATO) and the infrastructure manager (ATO integration into the traffic management system and the installation of the communication infrastructure) in order to optimize rail services throughout the network. These entities are typically represented by different companies, which makes technical integration and contractual relations difficult.

Tab. 2 shows the special key aspects of mainline services in comparison with those of mass transit which have to be taken into consideration during the introduction and rollout of the ATO on mainline railways.

Further challenges need to be overcome in the introduction of fully automated driverless and unattended train operations (GoA3/GoA4) on mainline railways. In addition to technical solutions pertaining to fallen obstacle detection and platform protection, i. e. obstruction detection in a largely publicly accessible track network, operational fall-back scenarios also have to be described and established, which will enable safe operations with maximum capacity in the event of any disruptions. [2] The normative and legal conditions and the operating rules have to be adjusted to this end [3].

This is also the reason why the implemented approach to fully automatic train operations (GoA3 for passenger traffic / GoA4 for passenger and cargo traffic) in "normal" mainline services will first pass through highly automatic train operations in line with GoA2. As such, a higher line throughput, an energy-optimized driving strategy and improved timetable stability and punctuality can be achieved with a reasonable technical effort.

Bereich	Nahverkehr	Fernverkehr
Fahrzeuge	Unternehmenseigene Fahr- zeuge, begrenzte Anzahl ver- schiedener Fahrzeugtypen	Unterschiedliche Betreiber mit einer Vielzahl verschiede- ner Fahrzeugtypen
Infrastruktur	Begrenztes Streckennetz, einfaches Layout	Existierende Infrastruktur, sehr komplex
Umgebungsbedingungen	Geschütztes und zugangsbeschränktes Stre- ckennetz	Öffentlich zugängliches Stre- ckennetz
Betrieb	Reiner Personenverkehr	Mischverkehr von Hochge- schwindigkeits-, Regional- und Güterverkehr
System	Proprietäre und hersteller- spezifische Lösungen, ein Hersteller für Signaltechnik (Strecke, Fahrzeug), integ- rierte ATP/ATO-Lösung	Mehrere Anbieter für Signal- technik, interoperable und standardisierte Lösungen (z.B. ATO over ETCS), DAS und C-DAS
Betreiber	Typischerweise ein Betrei- ber für Infrastruktur und Fahrzeuge	Mehrere Betreiber für Infra- struktur (Infrastrukturbetrei- ber) und Fahrzeuge (EVU)

Tab. 2: Wesentliche Unterschiede im Nah- und Fernverkehr

Area	Mass transit	Mainline
Vehicles	Company-owned vehicles, a limited number of different vehicle types	Various train operators with a large number of different vehicle types
Infrastructure	A geographically limited network, a simple layout	An existing, highly complex infrastructure
Environmental conditions	A closed, access-protected network	An open, publicly accessible network
Operation	Purely passenger transport	Mixed traffic comprising high- speed, regional and freight transport
System	Proprietary and vendor- specific solutions, a single vendor for signalling (track- side, onboard), an integra- ted ATP/ATO solution	Multiple vendors for signal- ling, interoperable and stan- dardised solutions (e.g. "ATO over ETCS"), DAS and C-DAS
Operator	Typically a single operator who owns both infrastruc- ture and vehicles	Multiple operators of infra- structure (infrastructure ma- nagers) and vehicles (train operators)

Tab. 2: The important differences between mass transit and mainline operations

#### 2 Das ATO-Gesamtsystem

Ein ATO-System besteht grundsätzlich aus zwei Komponenten:

- Die streckenseitige Komponente ATO-TS (ATO trackside) sammelt statische sowie dynamische Strecken- und Fahrplandaten von existierenden streckenseitigen TMS (Traffic Management System) und überträgt diese an die ATO-Fahrzeuggeräte.
- Die fahrzeugseitige Komponente ATO-OB (ATO onboard) berechnet das jederzeit optimale Fahrprofil anhand der Daten über Infrastruktur, Strecke und Fahrplaninformationen und kontrolliert die Antriebsund Bremsvorrichtungen des Fahrzeugs für die automatisierte Fahrt. Um einen größtmöglichen Nutzen des hochautomatisierten Fahrens unter den besonderen Bedingungen im Fernverkehr entsprechend Tab. 2 realisieren zu können, muss die dafür notwendige technische Ausrüstung auf den Fahrzeugen (ATO-OB) und die streckenseitige Infrastruktur (ATO-TS) als Gesamtsystem verstanden werden. Mit der Online-Anbindung an die streckenseitige Betriebsleittechnik steht die aktuelle Fahrplanlage kontinuierlich zur Verfügung. Zusammen mit den Streckendaten können nur so auf den Fahrzeugen die optimalen Geschwindigkeitsprofile auf Basis der aktuellen Fahrplan- und Fahrweginformationen berechnet werden. Dabei ist es unerheblich, ob diese Informationen "nur" für ein Fahrerassistenzsystem (C-DAS = Connected Driver Advisory System) mit Fahrempfehlungen oder für ein ATO-System mit Durchgriff auf die Antriebs- und Bremssteuerung des Fahrzeugs zum automatischen Fahren verwendet werden. In beiden Fällen würde die Akzeptanz für die Systeme erheblich leiden, wenn die Fahrempfehlungen des DAS oder aber das Fahrverhalten der ATO nicht zur betrieblichen Realität passen würden.

Da es sich bei einem ATO-System grundsätzlich um ein nicht-sicheres System handelt, werden die Zugbewegungen beim ATO jederzeit durch das auf dem Fahrzeug installierte Zugsicherungssystem (ATP = Automatic Train Protection) gesichert. Dieses greift bei Überschreiten der zulässigen Geschwindigkeitsvorgaben durch das ATO-System "regulierend" ein. Auf diese Weise hat die Einführung eines ATO-Systems keinen negativen Einfluss auf die Sicherheit des Bahnbetriebs. Dadurch werden aber auch die Möglichkeiten und Qualitätskriterien einer ATO maßgeblich von den Eigenschaften des "überwachenden" Zugsicherungssystems bestimmt.

# 2 The ATO system

An ATO system essentially comprises two components:

- ATO trackside (ATO-TS) collects both static and dynamic data on the infrastructure, tracks and timetables from the existing TMS (Traffic Management System) and transfers the data to the ATO-OB.
- ATO onboard (ATO-OB) continuously calculates the optimum speed profile based on the available data on the infrastructure, track and timetables and controls the traction and braking systems for automated train runs.

In order to maximize the benefit of the highly automatic train operation under the special conditions prevailing in mainline services as set out in tab. 2, the relevant necessary on-board equipment (ATO-OB) and the trackside infrastructure (ATO-TS) have to be seen as an overall system. The online connection to the TMS continuously provides the current timetable position. Together with the track data, this is the only way that optimum speed profiles can be calculated onboard the vehicles based on the current timetable and route information. It is irrelevant whether this information is used "merely" for a connected driver advisory system (C-DAS) with driving recommendations or for an ATO system with access to the vehicle's traction and braking control system for automatic operation. In both cases, the acceptance of the system would suffer considerably, if the DAS driving recommendations or the ATO driving strategy failed to match the operational reality.

Since an ATO system basically involves a non-failsafe system, ATO train movements are protected by the onboard automatic train protection (ATP) system, which intervenes as a "regulator" whenever the permitted speed is exceeded. Thus, the introduction of an ATO system will not have an adverse effect on safe railway operations. This also means that the ATO system's possibilities and quality criteria are decisively determined by the properties of the monitoring ATP system.

Just as flexible train operations within the European mainline rail network are the objective of introducing and rolling out the ETCS as the European train control system, ATO-equipped vehicles have to be capable of being used in an interoperable en-



Schweizer Electronic AG Industriestrasse 3 CH-6260 Reiden Tel. +41 (0)62 749 07 07 info@schweizer-electronic.com www.schweizer-electronic.com

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Siemens AG / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group, 2018.

So wie es das Ziel der Einführung und Verbreitung von ETCS als europäisches Zugsicherungssystem ist, Züge flexibel im europäischen Fernverkehrsnetz einsetzen zu können, so sollen auch die mit ATO ausgerüsteten Fahrzeuge im interoperablen Umfeld verwendbar sein. Aus diesem Grund ist die Definition einer Standard-ATO ein wesentliches Ziel europäischer Standardisierungsaktivitäten. Diese werden gegenwärtig durch UNISIG und das EU-finanzierte Projekt "Shift2Rail" (S2R) vorangetrieben. Im Rahmen des Innovationsprogramms IP2 "Advanced Traffic Management and Control Systems" werden die notwendigen Schnittstellen und Funktionen für einen interoperablen Einsatz einer ATO mit ETCS ("ATO over ETCS") spezifiziert und im Rahmen von "Proof of Concepts" und Pilotanwendungen auf ihre praktische Anwendbarkeit nachgewiesen. Für einen interoperablen Betrieb ist dabei die Luftschnittstelle zwischen den ATO-TS und den ATO-OB von entscheidender Bedeutung (Subset-126). Mit dem Standardisierungsvorhaben "ATO over ETCS" werden die Voraussetzungen für eine weitverbreitete Anwendung von ATO-Systemen mit ETCS geschaffen. Dabei ist z.B. für die DB AG der ETCS-Ausbau nicht nur "die Basis für ein autonomes Fahren auf der Schiene", sondern "bereitet [auch] den nächsten Technologieschub im Zugverkehr vor". [4]

Bild 1 zeigt die Referenzarchitektur von "ATO over ETCS" (GoA2) mit den relevanten Systemkomponenten und den standardisierten Schnittstellen (Subsets).

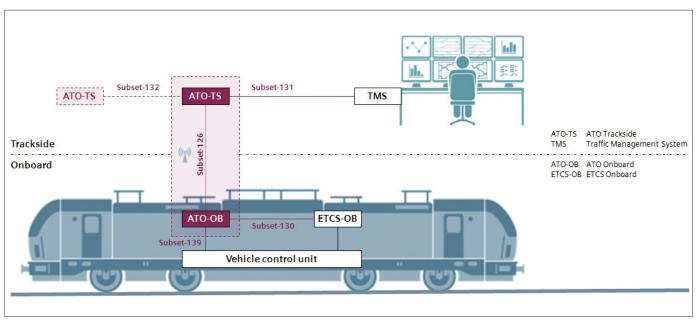
Bild 2 zeigt die High-level-Architektur eines ATO-Systems aus funktionaler Sicht mit den relevanten Datenflüssen und Funktionen. Auch wenn das europäische Zugsicherungssystem ETCS nunmehr nach und nach auf Strecken in verschiedenen EU-Ländern eingeführt wird, wird es dennoch Jahrzehnte dauern, bis es flächendeckend ausgerollt ist und damit auch die vorhandenen nationalen Zugsicherungssysteme in den Transeuropäischen Transportnetzen (TEN-T) ersetzen wird. So soll z. B. nach jetziger Planung in Deutschland das bestehende LZB-System mit ca. 2500 km bis 2030 schrittweise durch ETCS L2 ersetzt werden. Und bis 2050 muss entsprechend EU-Verordnung das gesamte TEN-T-Netz (in Deutschland ca. 16 000 km von gesamt 33 000 km) mit ETCS ausgerüstet sein [5]. Viele Bahnbetreiber verfolgen auch deshalb ehrgeizige Programme (z. B. "SmartRail 4.0" für die Bahnen in der Schweiz [6], "Digitale

vironment. For this reason, an ATO standard is an essential objective for European standardisation activities. This is currently being driven by UNISIG and the EU-funded "Shift2Rail" (S2R) project. The necessary interfaces and functions are being specified for the interoperable use of "ATO over ETCS" and demonstrated in terms of their practical applicability in proofs of concept and pilot applications within the context of the "Advanced Traffic Management and Control Systems" IP2 innovation program. The air interface between the ATO-TS and the ATO-OB (Subset-126) is of key significance for the purposes of interoperable operations. The "ATO over ETCS" standardisation project is creating the conditions for the widespread use of ATO systems with ETCS. For example, upgrading to the ETCS is not only "the basis for automatic train operations on lines" for the German Railways, but "it is also paving the way to the next boost in rail transport technology". [4]

Fig. 1 shows the "ATO over ETCS" reference architecture (GoA2) with the relevant system components and standardised interfaces (Subsets).

Fig. 2 depicts the high-level architecture of an ATO system from a functional point of view with the relevant data flows and functions. Even if the ETCS is now being progressively introduced on lines in different EU states, it will still take decades before the full ETCS rollout is achieved and the ETCS thus replaces the existing national train control systems in the trans-European networks (TEN-T). For example, according to current planning, the existing LZB continuous automatic train control system in Germany, which covers about 2,500 km of track, is to be gradually replaced by ETCS Level 2 by 2030. According to the relevant EU Directive, the entire TEN-T (in Germany approx. 16,000 km out of a total of 33,000 km of track) has to be equipped with the ETCS by 2050 [5].

Many railway operators are therefore pursuing ambitious programs (i.e. "SmartRail 4.0" for railways in Switzerland [6], German Railways' "Digitale Schiene Deutschland" (digital railways in Germany) [7] and "Digital Railway" in the UK [8]) in order to ensure that the railways are fit to meet the challenges of the future. Automation and digitisation play a key part in this process. However, it is clear that infrastructures



**Bild 1: Referenzarchitektur Shift2Rail** "ATO over ETCS" (GoA2) Fig. 1: The "ATO over ETCS" Shift2Rail (GoA2) reference architecture

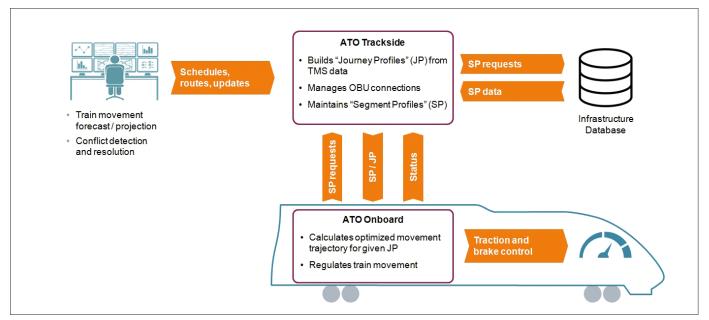


Bild 2: High-level-Architektur aus funktionaler Sicht

Fig. 2: The high-level architecture from a functional point of view

Schiene Deutschland" bei der DB AG [7], "Digital Railway" in Großbritannien [8]), um die Bahnen fit für die Herausforderungen der Zukunft zu machen. Dabei spielen Automatisierung und Digitalisierung eine entscheidende Rolle. Doch klar ist auch, dass sich die über Jahrzehnte gewachsenen Infrastrukturen nicht über Nacht in "digitale Ideallandschaften" verwandeln lassen.

# 3 Einführungs- und Migrationsstrategien

So wird auch der Erfolg beim Einführen des hochautomatisierten Fahrens maßgeblich von geeigneten Einführungs- und Migrationsstrategien abhängen. Denn einerseits müssen diese auf die vorhandene technische Ausrüstung und betrieblichen Rahmenbedingungen aufsetzen und andererseits sollen die notwendigen Investitionen langfristig geschützt werden und im Gleich-

which have evolved over decades cannot be transformed into "ideal digital landscapes" overnight.

# 3 Introduction and migration strategies

Success in the introduction of highly automated train operations will considerably depend on suitable introduction and migration strategies. This is because, on the one hand, such strategies have to be based on the existing technical equipment and the prevailing operational conditions and, on the other hand, the necessary investments have to be protected in the long term and harmonised with the achievable benefit. This is particularly the case, if the implementation of ATO is planned on lines equipped with an existing national train control system which are only to be equipped with the ETCS in the long term.

# MODELLING THE FUTURE OF RAILWAY SYSTEMS

- Systems, Software, Safety, Security
- Beratung und Engineering über den gesamten. Lebenszyklus hinweg
- Kompetenz und Erfahrung rund um Rail 4.0
- Globale Präsenz in 25 Ländern mit 14.000 Mitarbeitern
- Lokale Unterstützung mit 13 Standorten in Deutschland

WE IMPROVE THE WORLD THROUGH ENGINEERING



www.assystem-germany.com

Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Siemens AG / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group, 2018.

klang zum erreichbaren Nutzen stehen. Das gilt vor allem dann, wenn ein ATO-Betrieb auf Strecken mit einem bestehenden nationalen Zugsicherungssystem geplant ist, die erst langfristig für eine Ausrüstung mit ETCS vorgesehen sind.

Unter Berücksichtigung der Besonderheiten nach Tab. 2 bieten sich nach unserer Einschätzung vor allem diese beiden Bereiche für erste ATO-Anwendungen im Fernverkehr an:

- · Güterverkehr: Es ist nicht ungewöhnlich, dass einige Lokomotiven im Güterverkehr überwiegend auf den gleichen Korridoren und Linien in einem mehr oder weniger festgelegten Umlauf verkehren. Diese Verkehre können als ideale Erprobungsfelder für den ATO-Einsatz im Güterverkehr angesehen werden. Neben allen anderen Vorteilen eines automatischen Fahrens sind dabei die Reduzierung des Energieverbrauchs und die Verringerung der mechanischer Beanspruchung und des Verschleißes von vorrangiger Bedeutung für diese Untersuchungen.
- S-Bahn und Regionalverkehr: Diese Züge verkehren typischerweise auf größeren, aber noch begrenzten Streckennetzen. Sie kombinieren Aspekte des Fernverkehrs (z.B. höhere Geschwindigkeiten bis zu 120 km/h oder 160 km/h) mit charakteristischen Eigenschaften des Nahverkehrs (feste Zugfolgen, kurze Haltezeiten). Viele dieser Netze verfügen über sogenannte Stammstrecken, die ein- und ausgehende Strecken in bzw. aus einem Stadtzentrum bündeln. Die ATO kann auf diesen Stammstrecken dafür sorgen, dass sich annähernde Züge so in diese Stammstrecken einfädeln, dass ein unnötiges Anhalten und Verzögerungen beim Einfädeln vermieden werden. Zusätzlich kann die ATO durch maximale Spitzfahrt für kürzeste Fahrzeiten auf der Stammstrecke sorgen. Beides führt zur Optimierung des Verkehrsflusses und größtmöglichem Durchsatz bei hoher Fahrplanstabilität.

Ein prominentes Beispiel für den letztgenannten Anwendungsfall ist das Thameslink-Projekt, bei dem Siemens eine Kombination aus Fahrzeugen, ETCS-Ausrüstung und ATO für einen Betrieb mit 24 Zügen pro Stunde, Gleis und Richtung auf der Nord-Süd-Stammstrecke durch das Herz von London bereitstellt. Dabei handelt es sich um die erste kommerzielle ATO-Anwendung im Fernverkehrsbereich in Kombination mit dem Zugsicherungssystem ETCS. [9, 10]

Zusammen mit diesen Erfahrungen beim hochautomatisierten Fahren entsprechend GoA2 unter realen Betriebsbedingungen im Fernverkehr bestehen gegenwärtig günstige Rahmenbedingungen für die Einführung von ATO-Systemen, denn:

- Die Fahrgastzahlen steigen kontinuierlich. Im S-Bahn- und Regionalverkehr steigen die Fahrgastzahlen kontinuierlich über die letzten Jahre und dieser Trend wird weiter anhalten. Die Einführung von ATO-Systemen kann dabei helfen, die Netzwerkkapazität mit moderaten Investitionen im Vergleich zu neuer Infrastruktur zu steigern.
- Bestehende Fahrzeugflotten werden modernisiert. Viele Betreiber werden in den nächsten Jahren ihre bestehenden Fahrzeugflotten modernisieren (in Deutschland z.B. für die S-Bahn Berlin). Werden diese neuen Fahrzeuge bereits mit einem ATO-System ausgerüstet, können die bei einer späteren Installation notwendigen Installations-, aber vor allem Zulassungskosten erheblich reduziert werden.
- ATO wird als "ATO over ETCS" standardisiert. Mit dem Standardisierungsvorhaben "ATO over ETCS" in Shift2Rail wird u.a. die für einen interoperablen Betrieb notwendige Luftschnittstelle zwischen ATO-TS und ATO-OB festgelegt (Subset-126). Unter Anwendung dieser Schnittstelle kann eine spätere Migration auch von ATO-Lösungen gewährleistet werden, die auf einer älteren ETCS-Baseline bzw. auf nationalen Zugsicherungssystemen ba-

While keeping in mind the difficulties set out in tab. 2, we consider two areas of mainline operation to be of particular interest for the first ATO deployments:

- freight: it is not uncommon for some freight locomotives to operate primarily on the same corridors and lines in a more or less fixed rotation. Such fixed combinations of locomotives and lines can be testbeds for the ATO system in freight traffic. Of all the ATO benefits, a reduction in energy consumption and wear and tear would be of primary importance for such tests.
- commuter/regional: these trains typically operate in a larger, yet still limited network. They combine certain mainline aspects (i.e. higher speeds of up to 120 km/h or 160 km/h) with mass transit characteristics (fixed headways, short dwell times). Many of these networks feature high-density trunk sections that merge incoming/outgoing branch lines in city centres. ATO can help to properly align the approaching trains in such trunk sections so that any unnecessary stops and delays at junctions are avoided. In addition, ATO can also deliver the shortest possible running times in the trunk sections by driving at the maximum speed permitted by the train protection system. Both measures optimise the traffic flow, maximise the line throughput and stabilise the timetable.

A prominent example of the latter use case is the Thameslink Project where Siemens has provided a combination of rolling stock, an ETCS signalling system and ATO for a service with 24 trains per hour, track and direction on a north-south trunk line (the "core area") through the heart of London. This is the first commercial application of ATO in mainline services in combination with the ETCS. [9, 10]

Along with these experiences gained from highly automated train operations in line with GoA2 under real mainline operating conditions, the conditions for the introduction of ATO systems are favourable for the following reasons:

- increased passenger numbers: commuter and regional lines have seen a constant increase in passenger numbers over recent years and this trend is likely to continue. The introduction of ATO can help to increase network capacity with only moderate investments compared to new infrastructure.
- fleet replacements: many operators are expected to invest in new rolling stock over the next few years (the rapid transit system in Berlin, Germany, for instance). If these new vehicles are already equipped with an ATO system, the installation and, in particular, certification costs required for later installations can be considerably reduced.
- the standardisation of ATO as "ATO over ETCS": the "ATO over ETCS" standardisation project in Shift2Rail defines, for example, the air interface between the ATO-TS and the ATO-OB as required for interoperable operations (Subset-126). This interface can be used to ensure the later migration of ATO solutions which are based on an older ETCS baseline or on national train control systems. Investments which have already been made in any ATO applications will thus remain protected on the way towards the introduction of ETCS.

The continuous connection of the ATO-OB to the TMS is the key to the successful introduction of an ATO system with a perceptible operational benefit. The ATO-TS which supplies the ATO-OB with timetable data, infrastructure data and additional control information acts as a kind of gateway. Although developed within the "ATO over ETCS" context, the concepts of Subset-126 can essentially be used for non-ETCS applications

sieren. Bereits getätigte Investitionen für ATO-Anwendungen bleiben so auf dem Weg in Richtung ETCS geschützt.

Der Schlüssel für die erfolgreiche Einführung eines ATO-Systems mit einem spürbaren betrieblichen Nutzen ist die kontinuierliche Verbindung der ATO-OB mit der Betriebsleittechnik. Als eine Art Gateway fungiert dabei das streckenseitige ATO-TS, welches die ATO-Fahrzeuggeräte mit Fahrplandaten, Infrastrukturdaten und zusätzlichen Steuerungsinformationen versorgt. Auch wenn diese Luftschnittstelle zwischen Fahrzeug und Landseite im Kontext von "ATO over ETCS" spezifiziert wird, kann sie auch für Nicht-ETCS-Anwendungen genutzt werden. Notwendige Anpassungen (z.B. Nutzung von GPS statt Eurobalisen zur Positionserkennung) können als "Overlay" zum Standard implementiert werden. Damit zeichnet sich folgender Migrationspfad ab:

- Einführung von ATO-TS und Realisierung der notwendigen "Adapter" zur Anbindung an die bestehende Betriebsleittechnik
- Nutzung von Subset-126 für die Realisierung der Schnittstelle zwischen ATO-OB und ATO-TS mit ggf. notwendigen Erweiterungen für nationale Bestandssysteme
- · Migration der ATO-OB-Lösung nach "ATO over ETCS" bei Einführung von ETCS unter Wiederverwendung der Anbindung der Betriebsleittechnik über das bestehende ATO-TS

Dieser Migrationspfad gilt gleichbedeutend auch für Fahrerassistenzsysteme mit Leittechnikanbindung (C-DAS). Fahrzeuge, die sich aufgrund ihrer eingeschränkten Steuerungsmöglichkeiten nicht oder nicht mit vertretbarem Aufwand automatisieren lassen, können mit solchen C-DAS-Systemen in eine netzweite Automatisierungsstrategie eingebunden werden. Wird der Einsatz von C-DAS jedoch als erster Schritt in Richtung zum hochautomatisierten Fahren gesehen, dann sollten die Fahrzeuge dafür bereits mit Geräten ausgestattet werden, die für eine spätere Hochrüstung zu einer GoA2-ATO technisch geeignet sind. Für den nächsten Schritt ist dann "nur" noch die Anbindung des ATO-OB an die Antriebs- und Bremssteuerung des Fahrzeugs nötig.

Solche Fahrerassistenzsysteme können ohne besondere Herausforderungen und unabhängig von einem Zugsicherungssystem eingerichtet werden. Lediglich die fahrdynamischen Eigenschaften der Züge müssen bekannt und abbildbar sein, damit diese zusammen mit den aktuellen Zugpositionen bei der Berechnung der Fahrproas well. The necessary adjustments (i. e. the use of GPS instead of Eurobalises for position detection) can be implemented as an overlay on top of the standard. The following migration path thus evolves:

- the introduction of the ATO-TS and the implementation of the necessary adapters for the connection to the existing TMS
- the use of Subset-126 for the realisation of the interface between the ATO-OB and the ATO-TS with any necessary extensions for the national legacy systems
- the migration of the ATO-OB solution to "ATO over ETCS" during the introduction of the ETCS reusing the connection to the TMS via the existing ATO-TS

This migration path also applies to the driver advisory systems connected to a control system (C-DAS). C-DAS enables vehicles, which cannot be automated at all or can only be automated with unjustifiable expense due to their restricted control options, to be integrated into a network-wide automation strategy. If, however, the use of C-DAS is seen as the first step towards highly automated train operations, the vehicles should already be equipped with technology which is technically suitable for later upgrading to GoA2-ATO. Only the connection of the ATO-OB to the vehicle's traction and brake control would then be required as the next step.

Such driver advisory systems can be installed without any particular challenges and independent of the train's control system. The train's running dynamic behaviour simply needs to be known and mappable so that it can be taken into consideration together with the current train positions when calculating the track-related speed profiles in order to create the driving recommendations. As described above, however, the introduction of GoA2-ATO requires an ATP monitoring system.

National train control (NTC) systems are typically monolithic, closed, proprietary devices which often come with a special certification history. Hence, any change or extension for the purpose of upgrading these NTC systems to ATO is out of the question in the vast majority of cases. Instead, solutions are required which, when specially adapted, surround the NTC system and take its special characteristics into consideration. We thus see the following basic solutions for implementation:



Homepageveröffentlichung unbefristet genehmigt für Siemens AG / Rechte für einzelne Downloads und Ausdrucke für Besucher der Seiten genehmigt von DVV Media Group, 2018.

Einführung einer GoA2-ATO hingegen erfordert, wie bereits weiter oben beschrieben, ein überwachendes Zugsicherungssystem.
Bei den bestehenden nationalen Zugsicherungssystemen (NTC = National Train Control) handelt es sich jedoch oftmals um in sich geschlossene und proprietäre Systeme mit einer spezifischen Zulassungshistorie. Eine Änderung oder Erweiterung, um diese NTC für ein automatisches Fahren zu ertüchtigen, ist schon deshalb in den

file zur Bildung der Fahrempfehlungen berücksichtigt werden. Die

sungshistorie. Eine Änderung oder Erweiterung, um diese NTC für ein automatisches Fahren zu ertüchtigen, ist schon deshalb in den allermeisten Fällen ausgeschlossen. Stattdessen werden Lösungen benötigt, die sich, speziell adaptiert, um das NTC "legen" und die dort anzutreffenden Besonderheiten berücksichtigen. Wir sehen daher für eine Umsetzung folgende prinzipiellen Lösungsansätze:

- Re-Engineering des NTC innerhalb des ATO-OB: NTC interagieren mit dem Fahrer typischerweise über Lampen, Tasten oder Sound. Diese Ein- und Ausgaben bilden den aktuellen Status des NTC inklusive der von der Strecke erhaltenen Signalinformationen ab. Mit diesen Informationen kann die ATO den NTC-Status erfassen und die Fahrweise entsprechend anpassen. Diese Vorgehensweise wird durch die häufig vergleichsweise einfachen Bremskurvenmodelle der NTC zusätzlich begünstigt.
- Zusatzinformationen vom TMS, Streckendaten oder Fahrer: Von den NTC werden ggf. nicht alle benötigten Führungsgrößen für eine Zugsteuerung bereitgestellt. Das ATO-OB benötigt dann zusätzliche Informationen aus den Streckendaten, vom TMS oder direkt vom Fahrer (z. B. Signalstandorte oder signalisierte Geschwindigkeiten).
- Frühe Abstimmung mit den nationalen Zulassungsstellen: Die Konzepte zur Realisierung eines ATO-Betriebs mit NTC müssen frühzeitig mit den beteiligten Zulassungsstellen abgestimmt werden, um die notwendigen Prozess- und Sicherheitsanforderungen zu erfüllen. Die bei der Einführung zu durchlaufenden Phasen Konzept, Design, Simulation(en), Pilot(en) und Roll-out unterstützen alle beteiligten Parteien, die Risiken besser zu steuern und schrittweise Erfahrungen mit dem neuen System zu sammeln.

Diese Lösungsprinzipien können dabei helfen, leistungsfähige "ATO over NTC"-Lösungen bereitzustellen, die dem heutigen Bedarf an Automatisierungslösungen gerecht werden und verfügbar sein können, noch bevor ETCS (zusammen mit "ATO over ETCS") im großen Maß im europäischen Bahnnetz ausgerollt ist. Für bereits in Betrieb befindliche ETCS Baseline 2-Fahrzeuggeräte kann diese Vorgehensweise gleichermaßen angewendet werden. Siemens ist hier federführend bei der Umsetzung von entsprechenden Pilotanwendungen für mit ETCS BL2 ausgerüstete Fahrzeuge beteiligt.

# **AUTOREN** | AUTHORS

## Dipl.-Ing. Gerd Tasler

Produktmanager ATO (Mainline) / Product Manager ATO (Mainline) Siemens AG

Anschrift / Address: Ackerstr. 22, D-38126 Braunschweig E-Mail: gerd.tasler@siemens.com

#### Dr. Volker Knollmann

Gruppenleiter R&D Systemarchitektur / Group Leader R&D System Architecture Siemens AG

Anschrift / Address: Ackerstr. 22, D-38126 Braunschweig E-Mail: volker.knollmann@siemens.com

- NTC re-engineering inside the ATO-OB: NTC systems typically interact with the driver through lamps, buttons or sounds. These inputs and outputs reflect the current NTC status including any signalling data received from the trackside. This allows the ATO system to record the NTC status and to adapt the ATO driving characteristics accordingly. The fact that many NTC systems only use comparably simple braking curve models makes this approach even more feasible.
- additional information from the TMS, track data or driver: the NTC system may not provide all the driving data for train control. In these cases, the ATO-OB requires additional information from the track data, from the TMS or directly from the driver (i. e. signal locations or signalled speeds).
- early alignment with national authorities: the concepts for the ATO-NTC combinations need to be aligned with the involved authorities early on in order to satisfy any procedural or safety requirements. A typical staged deployment comprising a concept phase, a design phase, simulators, pilots and the rollout helps all the involved parties to better control any risks and to gradually gain experience with the new system.

These principles can help to provide effective "ATO over NTC" solutions which meet today's demand for automation and which can be available before the ETCS (together with "ATO over ETCS") is rolled out in the European rail network on a large scale. This approach can be applied in the same way to the ETCS Baseline 2 on-board units which are already in operation. Siemens is at the vanguard in implementing appropriate pilot applications for vehicles equipped with ETCS BL2.

#### LITERATUR | LITERATURE

[1] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Verkehrsprognose 2030 (https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/verkehrsprognose-2030.html, 17.02.2018, 16:35)

[2] Pachl, J.: Betriebliche Randbedingungen für autonomes Fahren auf der Schiene, Deine Bahn, Heft 9/2017

[3] Meyer zu Hörste, M.: Aspekte der Migration zur Voll-Automatisierung des Bahnbetriebs, SIGNAL+DRAHT, Heft 7+8/2017

[4] Deutsche Bahn AG: Zukunft Bahn – Gemeinsam für mehr Qualität, mehr Kunden, mehr Erfolg, Herbst 2015, S. 2 (https://www.deutschebahn.com/file/de/12819522/U7iLPXszVcfW1Dzv9Vs\_mD-k5O14/11870318/data/Zukunft\_Bahn.pdf, 17.02.2018, 16:35)
[5] Hohn, N.: Aktueller Stand der Implementierung von "ETCS signalgeführt" (ETCS Level 1 Limited Supervision), SIGNAL+DRAHT, Heft 9/2017 [6] Messerli, M.: SmartRail 4.0 – Das ETCS-Stellwerk, 19.04.2017 (http://

watt.verkehr.bauing.tu-darmstadt.de/SRSS/Vortraege/Messerli.pdf, 17.02.2018, 16:35)
[7] Deutsche Bahn AG: "Digitale Schiene Deutschland" (http://www.deutschebahn.com/de/presse/suche\_Medienpakete/16787744/medien-

paket\_digitale\_schiene\_deutschland.html, 17.02.2018, 16:35)
[8] "A Digital Railway for a modern Britain" (http://digitalrailway.co.uk/, 17.02.2018, 16:35)

[9] Allianz pro Schiene: ATO over ETCS – Chancen durch höhere Automatisierung, 03.05.2017 (https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/aktuell/ato-automatisierung-mit-etcs/, 17.02.2018, 16:35) [10] Götz, C.; Morton, D.: Integrierte Lösung für Londons Bahnverkehr, Elektrische Bahnen. Heft 11-12/2014