

ARTE – eine technische Lösung für fahrerlose Züge auf Nicht-ETCS-Strecken

ARTE – a technical solution for driverless trains on non-ETCS lines

Tobias Bekehrmes | Bekir Arslan | Anja Naumann

Das Projekt ARTE (Automatisiert fahrende Regionalzüge in Niedersachsen) läuft seit Januar 2022 mit dem Ziel, fahrerlosen Betrieb auf Regionalstrecken ohne ETCS-Streckenausrüstung zu erforschen. Im Sommer 2024 sollen Probefahrten in GoA 3, GoA 4 (GoA – Grade of Automation) und Fernsteuerbetrieb erfolgen. Der vorliegende Beitrag beschreibt die technische Lösung dafür und stellt den Bezug zu den sich entwickelnden europäischen Normen her.

1 Projektziele

In dem Projekt soll die technische Machbarkeit von fahrerlosem Betrieb von Triebzügen auf Regionalstrecken in Niedersachsen gezeigt werden. Entsprechende Systeme für Automatic Train Operation (ATO) werden hierfür entwickelt. Die Auswirkungen auf den Betrieb und das Personal sowie eine mögliche zukünftige Zulassung für den Regelbetrieb werden erforscht. Probefahrten mit ATO sind für 2024 geplant [1].

Für die neuen ATO-Systeme wurden die nachfolgenden funktionalen Anforderungen festgelegt:

- Die ATO-Systeme können ein im Standby betriebsbereit abgestelltes Fahrzeug selbstständig als Rangierfahrt vom Abstellort bis zum Bahnsteig fahren (unbegleiteter Betrieb, ATO GoA 4).
- Das Zugpersonal übernimmt am Bahnsteig das Fahrzeug für die Zugfahrt.
- Die ATO-Systeme können ein Fahrzeug selbstständig als Zugfahrt von Bahnhof zu Bahnhof fahren (begleiteter Betrieb, ATO GoA 3).
- Das Zugpersonal verlässt am Bahnsteig des Endbahnhofs das Fahrzeug.
- Die ATO-Systeme können das Fahrzeug selbstständig vom Bahnsteig bis zum Abstellort fahren und betriebsbereit abstellen (unbegleiteter Betrieb, ATO GoA 4).

Bei Störungen der ATO-Systeme oder der Fahrzeuge gelten die folgenden Anforderungen:

- Ein defektes Fahrzeug kann ferngesteuert und sicher zu einem Abstellort gefahren werden, oder
- ein defektes Fahrzeug kann vom Zugbegleitpersonal entstört und sicher zu einem Bahnhof gefahren werden, oder
- ein defektes (unbegleitetes) Fahrzeug meldet seinen Standort, damit es geborgen werden kann.

Die Hauptfunktionen der technischen Lösung im Projekt ARTE sind daher die folgenden:

1. Fahren des Zuges gemäß örtlich zulässiger Geschwindigkeit und Fahrplan
2. Signalerkennung
3. Hinderniserkennung

The ARTE (Automated Regional Trains in Lower Saxony) project has been running since January 2022 with the aim of researching driverless operations on regional lines without any ETCS track equipment. Test runs in GoA 3, GoA 4 and remote operations are scheduled for the summer of 2024. This article describes the technical solution to this problem and references the evolving European standards.

1 The project's objectives

The project is intended to demonstrate the technical feasibility of driverless operations for train sets on the regional lines in Lower Saxony. Automatic Train Operation (ATO) systems have been developed for this purpose. The effects on operations and personnel, as well as the possible future approval for commercial operations are under investigation. The test runs with ATO are planned for 2024 [1].

The following functional requirements have been defined for the new ATO systems:

- The ATO systems can automatically drive a vehicle that is parked ready for operation from the parking location to the platform according to the shunting rules (unattended operation, ATO GoA 4).
- The train staff will take over the vehicle at the platform for the train run.
- The ATO systems can independently drive the vehicle in a train run from station to station (driverless operation, ATO GoA 3).
- The train staff will leave the vehicle at the terminal station's platform.
- The ATO systems can independently drive the vehicle from the platform to the parking place and park it ready for operation (unattended operation, ATO GoA 4).

The following requirements apply in the event of any failures in the ATO systems or the vehicle:

- A defective vehicle can be remotely and safely driven to a parking location, or
- a defective vehicle can be restored to operation and safely driven to a station by a train attendant, or
- a defective (unattended) vehicle will report its location so that it can be recovered.

The main functions of the ARTE project's technical solution therefore include the following:

1. Train travel according to the locally permitted speeds and timetable

4. Ortung ohne Eurobalisen im Gleis
 5. Fernsteuerbetrieb (Remote Train Operation – RTO) als Rückfallebene
 Während Punkt 1 (Fahren des Zuges) als Automatisierungsgrad GoA 2 bereits Stand der Technik ist, stellen die anderen Punkte neue Technologien dar, die in diesem Projekt erprobt werden. Diese Funktionen bilden daher den Schwerpunkt der Projektarbeit. Weitere Funktionen, wie Vorbereitungsdienst, Aufprall-/Überrollerkennung oder Kommunikation mit dem (menschlichen) Fahrdienstleiter, werden aufgrund des begrenzten Projektumfangs nicht automatisiert. Insbesondere wird keine Automatisierung von Fahrzeugfunktionen des 20 Jahre alten Fahrzeugs (LINT41) sowie von streckenseitigen Funktionen im Rahmen des Forschungsprojektes vorgenommen. Für einen künftigen Einsatz im Regelbetrieb sind diese Funktionen ebenfalls vorzusehen.

2 GoA 3/4 mit Signalerkennung gemäß EU-Normentwurf

Europäische Normen für fahrerloses Fahren (GoA 3) und unbegleiteten Betrieb (GoA 4) von Vollbahnen werden derzeit entwickelt. Ein Zwischenstand wurde bereits veröffentlicht [2]. Die funktionale Architektur der Fahrzeugausrüstung des Normentwurfs ist vereinfacht in Bild 1 dargestellt. Das automatische signalgeführte Fahren auf Nicht-ETCS-Strecken teilt sich in folgende Funktionen auf:

2.1 Gemeinsame Funktionen

Die fahrzeugseitige Ortung (Localization) bestimmt die absolute Position des Fahrzeugs.

- 2. Signal detection
- 3. Obstacle detection
- 4. Localisation without any Eurobalises in the track
- 5. Remote control operations (Remote Train Operation – RTO) as a fallback level

While point 1 (train travel) is already the state of the art as automation level GoA 2, the other points represent new technologies that will be tested in the project. These functions are therefore the focus of the project’s work. Other functions, such as the preparatory service, impact / rollover detection or communication with a (human) dispatcher, have not been automated due to the limited scope of the project. In particular, no automation of the vehicle functions in the 20-year-old vehicle (LINT41) or of the trackside functions has been implemented as part of the research project. These functions will also have to be provided for future use in commercial operations.

2 GoA 3/4 with signal detection according to the EU draft standard

European standards for driverless operation (GoA 3) and unattended operation (GoA 4) on main railway lines are currently being developed. A draft version has already been published [2]. Fig. 1 depicts a simplified version of the vehicle equipment’s functional architecture according to the draft standard.

Automatic driving with line-side signalling on non-ETCS lines consists of the following functions:

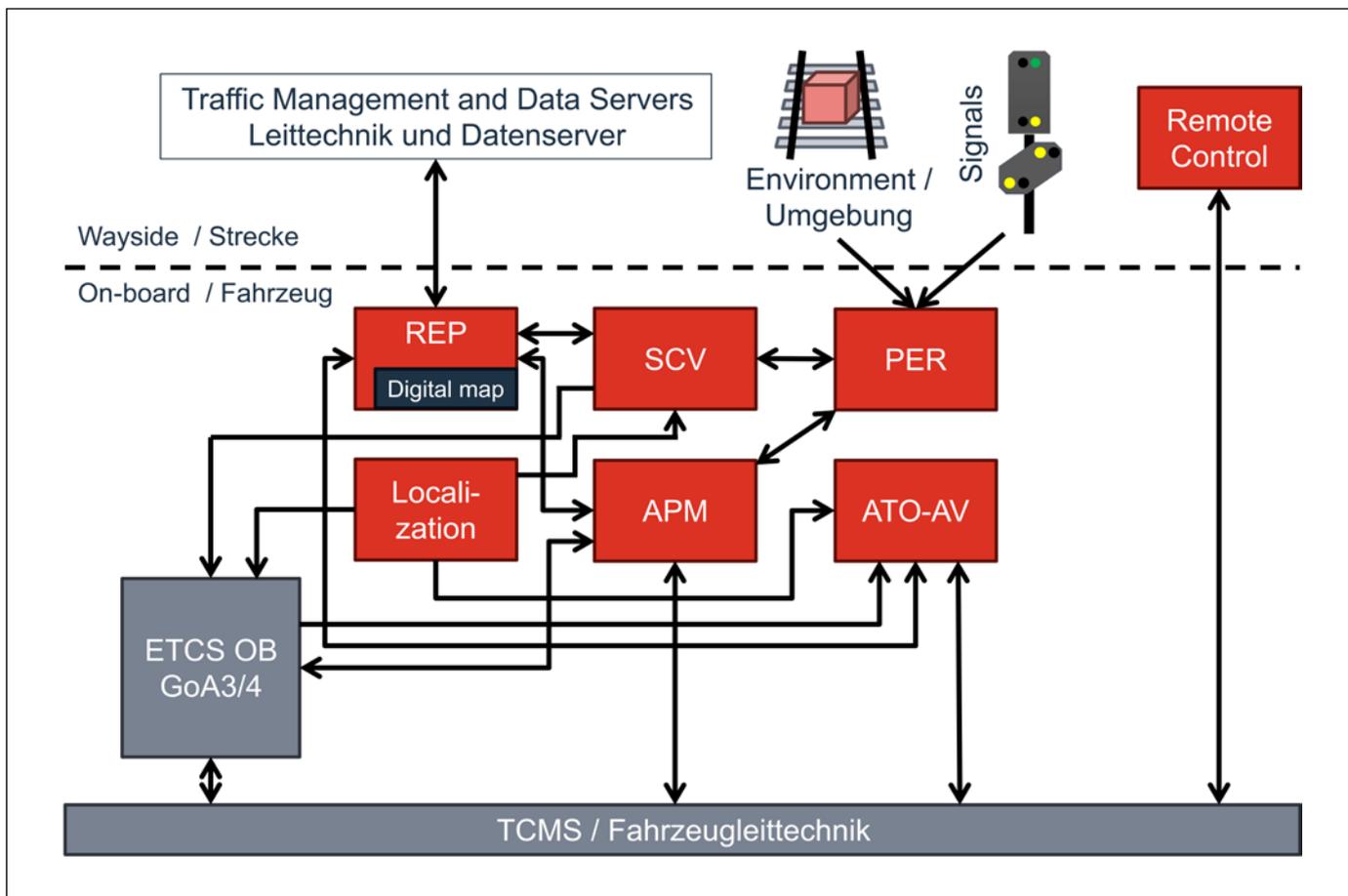


Bild 1: Vereinfachte Darstellung der funktionalen Architektur in der entstehenden ATO-Norm

Fig. 1: A simplified representation of the functional architecture in the resulting ATO standard

Quelle / Source: Alstom

Die fahrzeugseitige Datenverwaltung (Repository – REP) hält u. a. die digitale Karte der zu befahrenden Infrastruktur bereit. Bei Bedarf werden Daten von der Streckeneinrichtung heruntergeladen.

2.2 Signalerkennung

Die digitale Karte enthält Informationen zu den an der Strecke vorhandenen Signalen, ihre Position und Ausrichtung, ihren Typ, mögliche Signalbegriffe und zugehörige Fahrerlaubnisse.

Der Signalkonverter (SCV) entnimmt der digitalen Karte die Signalinformationen. In einem definierten Abstand vor dem Signal gibt er die Information des zu erkennenden Signals an die Signalerkennung weiter.

Die Signalerkennung (Teil von Perception – PER) erkennt mit ihren optischen Sensoren das Signal und ermittelt den angezeigten Signalbegriff. Dabei muss neben der Position des Fahrzeugs auch dessen Ausrichtung im Raum berücksichtigt werden, um die „Blickrichtung“ der Kameras einzubeziehen. Die Signalerkennung übermittelt den Signalbegriff an den SCV.

Der SCV erstellt eine Fahrerlaubnis (Movement Authority) auf Basis der digitalen Karte spezifisch für dieses Signal und den aktuellen Signalbegriff. Die Fahrerlaubnis entspricht einer ETCS Movement Authority, wie sie normal von Eurobalisen oder dem Radio Block Centre übermittelt wird [3]. Diese Movement Authority wird dem ETCS-Fahrzeuggerät übermittelt. Das ETCS-Fahrzeuggerät muss gemäß der künftigen TSI-Norm modifiziert sein, um eine Fahrerlaubnis vom SCV als neuer Quelle verarbeiten zu können.

Das ETCS-Fahrzeuggerät überwacht die Movement Authority. Damit entfällt die Notwendigkeit eines nationalen Zugbeeinflussungssystems. Abhängig vom Sicherheitsniveau des früher verwendeten nationalen Systems kann die Movement Authority mit erhöhter Sicherheit überwacht werden.

Das ETCS-Fahrzeuggerät teilt die Fahrerlaubnis dem ATO-Fahrzeuggerät (ATO-AV) mit. Dazu wird die bereits für ERTMS/ATO GoA 2 genormte Schnittstelle SUBSET-130 verwendet [4].

Das ATO-Fahrzeuggerät fährt den Zug unter Berücksichtigung der ETCS Movement Authority und vermeidet so Zwangsbremungen durch ETCS. Diese nicht sicherheitsrelevante Funktion entspricht dem Verhalten, das bereits für GoA 2 spezifiziert wurde [5]. Auch die Fahrzeugschnittstelle wurde bereits für GoA 2 genormt [6].

Das beschriebene Verfahren ist ausfallsicher: Aufgrund der digitalen Karte ist dem SCV bekannt, wo ein Signal erkannt werden muss. Kann die Signalerkennung dieses nicht erkennen (z. B. durch fahrzeug- oder streckenseitige Störungen), so kann der SCV den restriktivsten hinterlegten Signalbegriff dieses Signals anwenden und eine Störungsmeldung an andere Systeme abgeben.

2.3 Hinderniserkennung

Ähnlich funktioniert die Reaktion auf Hindernisse. In der digitalen Karte ist der für die Fahrt relevante Bereich (im Wesentlichen Gleisverlauf und Gefahrenraum) hinterlegt. Wenn die Umgebungserkennung (PER) dort ein Hindernis detektiert, reagiert die automatische Überwachung (Automatic Processing Module, APM). Je nach Bedarf werden Sofortmaßnahmen durchgeführt (z. B. Makrophon) und wird eine Movement Authority an das ETCS-Fahrzeuggerät übermittelt, welche am Hindernis endet (z. B. einem Prellbock). Durch ETCS wird diese Movement Authority sicher überwacht.

2.4 Rückfallebene

Als Rückfallebene für GoA 4 bei Störungen des ATO-Systems ist ein Fernsteuerbetrieb (RTO) vorgesehen. Um eine Redundanz zu erreichen, erfolgt der Fernsteuerbetrieb über eine direkte (Funk-) Schnitt-

2.1 Common functions

The localisation function determines the vehicle's absolute position. The repository (REP) provides a digital map of the infrastructure to be used. Data is downloaded from the trackside, if necessary.

2.2 Signal detection

The digital map contains information about the signals present on the route, their position and orientation, their type, the possible signal aspects and the associated movement authorities.

The signal converter (SCV) takes the signal information from the digital map. It passes the information about the signal to be detected to the signal detection system at a defined distance before the signal.

The signal detection system (part of Perception – PER) detects the signal using its optical sensors and determines the displayed signal aspect. In addition to the position of the vehicle, its orientation in the space must also be taken into account in order to include the cameras' "viewing" direction. The signal detection system transmits the signal aspect to the SCV.

The SCV creates a movement authority specific for this signal and the current signal aspect based on the digital map. The movement authority corresponds to an ETCS movement authority that is normally transmitted by the Eurobalises or the Radio Block Centre [3]. This movement authority is transmitted to the ETCS on-board unit. The ETCS on-board unit must be modified to be able to process the movement authority issued by the SCV as a new source in accordance with the future TSI standard.

The ETCS on-board unit monitors the movement authority, thereby eliminating the need for a national train control system. The movement authority can be monitored with increased safety depending on the safety level of the previously used national system.

The ETCS on-board unit communicates the movement authority to the ATO on-board unit (ATO-AV). The SUBSET-130 interface, which has already been standardised for ERTMS/ATO GoA 2, is used for this purpose [4].

The ATO on-board unit drives the train while taking into consideration the ETCS movement authority and thus avoids any braking intervention by ETCS. This non-safety feature corresponds to the behaviour already specified for GoA 2 [5]. The vehicle interface has also been standardised for GoA 2 [6].

The described method is fail-safe: the digital map means that the SCV knows where a signal must be detected. If the signal detection system fails to detect it (e.g. due to any on-board or trackside failures), the SCV can apply the most restrictive signal aspect stored for this signal and send a failure message to the other systems.

2.3 Obstacle detection

The response to obstacles works similarly: The digital map contains the area relevant to the journey (essentially the track and the danger zone). When the perception system (PER) detects an obstacle, the Automatic Processing Module (APM) responds. Immediate measures are implemented (for example, the horn is sounded) depending on the need and a movement authority that ends at the obstacle (for example, a buffer) is transmitted to the ETCS on-board unit. ETCS safely monitors this movement authority.

2.4 The fallback solution

Remote Train Operation (RTO) is provided as a fallback level for GoA 4 in the event of any faults in the ATO system. In order to achieve redundancy, the remote operation is performed via a

stelle zwischen dem Fernsteuerbediengerät (Remote Control) und der Fahrzeugleittechnik ohne Mitwirkung der ATO-Komponenten.

3 Eine Lösung für den Probetrieb

Das ATO-System wird von Alstom entwickelt. Die Lösung im Projekt ARTE muss aus mehreren Gründen gegenüber dem Normentwurf spezifisch angepasst werden:

- Das verwendete Bestandsfahrzeug verfügt nicht über die genormten Schnittstellen für GoA 3/4.
- Ein ETCS-Fahrzeuggerät, das GoA 3/4 unterstützt, existiert noch nicht, da die Normentwürfe noch im Fluss sind und SIL4-Komponenten keine kurzfristigen Änderungen erlauben.
- Es soll nur das Fahrzeug umgerüstet werden. Eine Aus- bzw. Umrüstung der Strecke ist nicht vorgesehen.
- Die Lösung muss zum deutschen Regelwerk und den an der Strecke vorhandenen Signalen passen.

3.1 Projektspezifische Lösung

Eine vereinfachte Übersicht der funktionalen Architektur für ARTE findet sich in Bild 2. Die physische Architektur unterscheidet sich dabei noch einmal von der funktionalen Architektur, da z.T. mehrere Funktionen auf einer Hardwareplattform implementiert sind. Manche Funktionen (z. B. PER) bestehen auch aus mehreren Komponenten, etwa Sensoren und Verarbeitungseinheit.

Um eine genormte Schnittstelle für ATO bereitzustellen, entwickelt die Abteilung Telematics der Alstom Signal GmbH in Mannheim ein ATO Gateway. Dieses passt die Steuerkommandos an die vorhandenen (z.T. analogen) Eingänge des Fahrzeugs an. Auf den vorhandenen Fahrzeugbus wird nur rückwirkungsfrei lesend zugegriffen,

direct (radio) interface between the remote-control unit and the train control and management system (TCMS) without the involvement of the ATO components.

3 A solution for the trial operations

The ATO system has been developed by Alstom. The solution for the ARTE project has had to be specifically adapted to the draft standard for several reasons:

- The existing vehicle does not have the standardised interfaces for GoA 3/4.
- An ETCS on-board unit that supports GoA 3/4 does not yet exist, as the draft standards are still in flux and SIL4 components do not allow any short-term changes.
- Only the vehicle will be retrofitted and no trackside equipment installation has been planned.
- The solution must comply with the German regulations and the signals present on the line.

3.1 A project-specific solution

A simplified overview of the functional architecture for ARTE can be found in fig. 2. Some functions (e.g. PER) also consist of several components, such as sensors and a processing unit. The Telematics Department at Alstom Signal GmbH in Mannheim has developed an ATO gateway to provide a standardised interface for ATO. This adapts the control commands to the vehicle's existing (partly analogue) inputs. The existing vehicle bus is accessed in a read-only manner in order to determine the status information for the ATO system. The train control technology (TCMS) is not changed. While this facilitates a proof of safe-

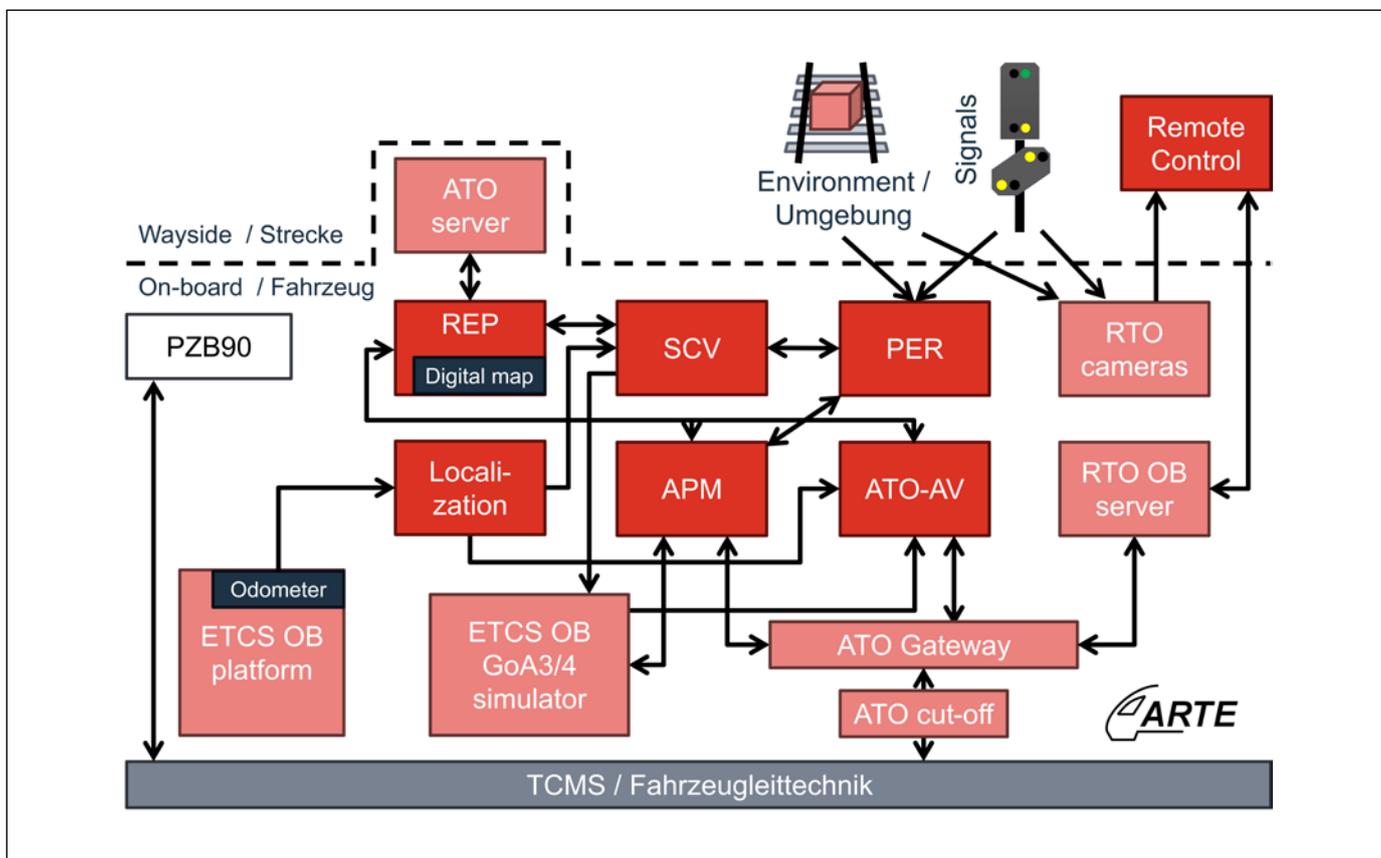


Bild 2: Vereinfachte Darstellung der funktionalen Architektur im Projekt ARTE

Fig. 2: A simplified representation of the functional architecture in the ARTE project

Quelle / Source: Alstom

um Statusinformationen für das ATO-System zu ermitteln. Die Fahrzeugleittechnik (TCMS) wird nicht verändert. Dies erleichtert zwar den Sicherheitsnachweis, stellt aber eine besondere Herausforderung bei der Entwicklung der Lösung dar.

Alle Komponenten liegen bislang nur als Prototypen ohne Sicherheitsnachweis vor. Die Sicherheit der Probefahrten muss daher durch ein spezielles Betriebskonzept gewährleistet werden [7]. Ein Sicherheitslokführer fährt jederzeit im Führerraum mit und überwacht die Sicherheit der Fahrt. In die Schnittstellen zwischen dem ATO-System und dem Fahrzeug wird eine Abschaltung (ATO cut-off) eingebaut. Auf Anforderung durch den Sicherheitslokführer oder selbsttätig im Falle einer Schnellbremsung oder eines Spannungsausfalls trennt die Abschaltung das ATO-System von der Fahrzeugleittechnik. Das ATO-System hat dann keinen Einfluss mehr auf das Fahrzeug. Der Sicherheitslokführer hat somit auch im Fall von Störungen die volle Kontrolle.

Das noch nicht vorhandene GoA 3/4-kompatible ETCS-Fahrzeuggerät wird für die Probefahrten durch einen Simulator ersetzt. Dieser wandelt die vom SCV kommende Movement Authority in das von ATO-AV benötigte Format um. Der Simulator führt keine Überwachung durch und ist nicht sicher.

Das Ortungssystem (Localization) kombiniert die klassische, sensorbasierte Odometrie der ETCS-Fahrzeugplattform mit Satellitenortung. Dadurch wird eine absolute und genaue Positionierung des Fahrzeugs ohne zusätzliche Streckenausrüstung wie z. B. Eurobalisen ermöglicht. Die ETCS-Fahrzeugplattform wird nur zur Weg- und Geschwindigkeitsmessung verwendet. Sie stellt keinerlei ETCS-Funktionalität bereit und besitzt keine funktionale Schnittstelle zum Fahrzeug. Dies erleichtert den Sicherheitsnachweis für die Probefahrten.

Im Projekt soll keine Änderung der Streckenausrüstung vorgenommen werden und ebenso sollen keine streckenseitigen Aufgaben automatisiert werden. Daher wird der streckenseitige Teil des automatischen Zugbetriebs vereinfacht. Ein ATO Streckenserver fährt im Fahrzeug mit und wird per Netzwerkkabel angeschlossen. Dieser Server stellt die benötigten Daten für die Fahrt bereit, z. B. Infrastrukturdaten und Fahrplan. Er wird von einem Tester bedient, der einzelne Aufgaben eines Fahrdienstleiters simuliert (z. B. Änderung von Abfahrtszeiten). Damit können zur Erforschung der betrieblichen Auswirkungen des automatischen Fahrens auch streckenseitige Vorgänge simuliert werden.

Das nationale Zugbeeinflussungssystem PZB90 bleibt unverändert. Es dient zur Überwachung des Sicherheitslokführers während der Probefahrten und wird ausschließlich von ihm bedient. Die PZB90 ist nicht in die Automatisierung eingebunden. Dies erleichtert ebenfalls den Sicherheitsnachweis. In einer künftigen, zugelassenen Lösung für den Regelbetrieb soll die PZB90 durch ein gemäß der entstehenden ATO-Norm modifiziertes ETCS mit Signalerkennung ersetzt werden. Zusätzlich zur Ausrüstung für die Automatisierung und Fernsteuerung werden im Fahrzeug Datenaufzeichnungsgeräte installiert, die eine detaillierte Auswertung der Tests ermöglichen.

3.2 Anpassungen für den Betrieb in Deutschland

Frühere Versionen der Fahrzeugausrüstung wurden bereits erfolgreich in anderen Projekten getestet [8], bislang jedoch noch nicht im deutschen Bahnnetz.

Signale sind nicht international genormt. Lichtsignale in Frankreich haben z. B. eine andere Form, andere Lichter und eine andere Bedeutung als in Deutschland. Daher muss die Signalerkennung landesspezifisch (ggf. sogar streckenspezifisch) angepasst werden. Dazu sind geometrische Daten der an der Strecke anzutreffenden Signale erforderlich.

ty, it also presents a particular challenge in the development of the solution.

To date, all the components have only been available as prototypes without a proof of safety. The test run safety must therefore be ensured by a special operating concept [7]. A safety driver is always in the driver's cab monitoring the journey safety. An ATO cut-off has been installed in the interfaces between the ATO system and the vehicle. The ATO cut-off disconnects the ATO system from the train control system at the request of the safety driver or automatically in the event of any emergency braking or a power loss. The ATO system then has no further influence over the vehicle, meaning that the safety driver has full control even in the event of any malfunctions.

The as yet non-existent GoA 3/4 compatible ETCS on-board unit will be replaced with a simulator for the test runs. This will convert the movement authority coming from the SCV into the format required by the ATO-AV. The simulator will not monitor the movement authority and is not safe.

The positioning system (localisation) combines the classic, sensor-based odometry of the ETCS vehicle platform with satellite positioning. This allows the absolute and accurate positioning of the vehicle without the need for any additional track equipment such as Eurobalises. The ETCS vehicle platform is only used for distance and speed measurement. It does not provide any ETCS functionality and has no functional interface to the vehicle. This facilitates the proof of safety for the test runs.

No changes to the track equipment will be made and no trackside tasks will be automated in the project. Therefore, the trackside part of the automatic train operation has been simplified. An ATO trackside server will be installed in the vehicle and connected via network cable. This server provides the necessary data for the journey, such as the infrastructure data and the timetable. It is operated by a tester that simulates the individual tasks of a dispatcher (e.g. changing departure times). As such, the trackside processes can also be simulated in order to investigate the operating effects of automatic operations.

The PZB90 national train control system remains unchanged. It is used to monitor the safety driver during the test runs and is operated exclusively by him. The PZB90 has not been integrated into the automation, which also facilitates the proof of safety. The PZB90 system will be replaced with ETCS with signal recognition modified according to the new ATO standard in the future homologated solution for commercial operations.

In addition to the equipment for the automation and remote operation, data recording devices have also been installed in the vehicle to allow a detailed evaluation of the tests.

3.2 Adjustments for operations in Germany

Earlier versions of the vehicle equipment have already been successfully tested in other projects [8], but as yet not in the German rail network.

There are no international standards for signals. Light signals in France, for example, have a different form, different lights and a different meaning than in Germany. Therefore, the signal detection must be country-specific (possibly even track-specific). This requires geometric data for the signals along the track. A large part of the adjustments to enable operations according to German regulations have been made via the configuration and preparation of the specific ATO data.

For example, an individual movement authority must be created for each signal on the track and each of its signal aspects. This must enable safe and efficient operations at the same time.

Ein Großteil der Anpassungen an den Betrieb nach deutschem Regelwerk erfolgt über die Konfiguration und Erstellung spezifischer ATO-Daten.

Z. B. muss für jedes Signal an der Strecke und jeden seiner Signalbegriffe eine individuelle Movement Authority erstellt werden. Diese muss einen zugleich sicheren und effizienten Betrieb ermöglichen. Dabei dürfen die Überwachungskurven der im Probetrieb immer noch wirksamen PZB90 nicht überschritten werden, um Zwangsbremungen zu vermeiden. Die Erfassung und Bereitstellung der streckenspezifischen Daten bedeuten einen erheblichen Aufwand im Projekt.

4 RTO als Rückfallebene

Im Folgenden wird beschrieben, wie die RTO-Lösung bei ARTE technisch umgesetzt wird.

4.1 Fahrzeugsteuerung

In den europäischen Normentwürfen ist der Fernsteuerbetrieb als Rückfallebene für GoA 4 vorgesehen. Die Standardisierung befindet sich noch in den Anfängen. Um als Rückfallebene für Störungen im ATO-System zu funktionieren, muss die RTO-Lösung redundant zu ATO sein. Weiterhin wird angestrebt, dass ATO und RTO zur Steuerung von Traktion und Bremse beide dieselbe Schnittstelle verwenden, welche bereits für ERTMS/ATO GoA 2 entwickelt wurde [6]. Dadurch muss das Fahrzeug nur eine Schnittstelle implementieren und lediglich zwischen zwei Kommunikationspartnern umschalten. Auch bei ARTE wird diese Lösung umgesetzt. Die Umschaltung erfolgt im ATO Gateway. Ergänzend werden Videobilder sowie Statusinformationen zum Fernsteuerbediengerät übertragen. Der RTO On-board Server stellt die Verbindung mit dem Fernsteuerbediengerät her und sichert diese (Cyber Security).

4.2 Videoübertragung

Um die Fernsteuerung des Fahrzeugs zu ermöglichen, ist eine Live-Übertragung von Videobildern erforderlich. Prinzipiell wird ein Sichtbereich gemäß EN 16186-1 als ausreichend angesehen [9]. Trotzdem werden zwei Kameras links und rechts hinter der Windschutzscheibe montiert. Eine einzelne Kamera in der Mitte würde die Sicht des Sicherheitslokführers behindern. Für Neubaufahrzeuge und im Regelbetrieb ohne Sicherheitslokführer sind andere Lösungen denkbar.

Der Videostream wird im Fahrzeug durch handelsübliche Geräte kodiert und unter Verwendung gängiger Internetprotokolle übertragen. Die Latenzzeit des Videos ist für den Fernsteuerbetrieb von besonderer Bedeutung [10]. Sie soll bei den Probefahrten gemessen werden.

4.3 Funkschnittstelle

Die betriebliche Machbarkeit des Fernsteuerbetriebs in Abhängigkeit von der verfügbaren Mobilfunkkapazität soll ebenfalls untersucht werden. Spezifische streckenseitige Netze werden nicht aufgebaut. Es wird untersucht, ob mit den verfügbaren öffentlichen Netzen ein Fernsteuerbetrieb möglich ist. Als Minimalösung wird das Fernsteuerbediengerät über ein fahrzeugeitiges WLAN angebunden. Damit ist es möglich, innerhalb des Zuges die Steuerung von einem anderen Ort als dem Führerraum zu übernehmen.

4.4 Fernsteuerbediengerät

In [11] wurden bereits erste Ansätze aus ARTE aufgezeigt, wie eine Zugfernsteuerung in der Rückfallebene beispielsweise vom Zugbe-

The PZB90 speed supervision curves will remain in effect in the trial operations and must not be exceeded in order to avoid any emergency braking intervention. The collection and provision of track-specific data represents a considerable effort in the project.

4 RTO as a fallback

The following describes how the RTO solution has been technically implemented in ARTE.

4.1 The vehicle control system

In the draft European standards, remote train operation (RTO) is planned as a fallback level for GoA 4. Standardisation is still at an early stage. The RTO solution must be redundant to ATO in order to function as a fallback level for any failures in the ATO system. Furthermore, the aim is for ATO and RTO to both use the same interface to control the traction and braking, which has already been developed for ERTMS/ATO GoA 2 [6]. As a result, the vehicle only has to implement one interface and then switch between two communication partners. This solution has also been implemented in ARTE. The switching takes place in the ATO Gateway. In addition, video images and status information are also transmitted to the remote-control unit. The RTO on-board server connects to the remote-control unit and secures it (cybersecurity).

4.2 Video transmissions

The live transmission of video images is required to enable the remote operation of the vehicles. In principle, a viewing field according to EN 16186-1 is considered sufficient [9]. Nevertheless, two cameras are mounted on the left and right behind the windshield. A single camera in the middle would obstruct the safety driver's view. Other solutions are conceivable for newly built vehicles and in commercial operations without a safety driver. The video stream is encoded in the vehicle by commercially available devices and transmitted using common internet protocols. The video latency is of particular importance for remote train operations [10] and will be measured during the test runs.

4.3 The radio interface

The operating feasibility of remote train operations in relation to the available mobile radio capacity will also be investigated. No specific trackside networks have been established. An investigation will be realised into whether remote train operation is possible using the available public networks. The remote control unit is connected via on-board Wi-Fi as a minimum solution. This makes it possible to take control of the train from a location other than the driver's cab.

4.4 The remote control unit

[11] showed the first approaches from ARTE and how the remote train operation could be taken over by the train attendants, for example, in the fallback level and how modern technology (e.g. tablets) can make the working environment more flexible. The use of a mobile device, for example, can render it unnecessary to move to the front train section or even to install a driver's cab. The decision has been made in ARTE to implement the remote control using a tablet. The development and implementation of the tablet-based remote control has been undertaken by the Department of Railway Operations and Infrastructure at the Technische Universität Berlin (TU Berlin). The Z21



Bild 3: Einbau einer Kamera im Führerraum des LINT41

Fig. 3: The installation of a camera in the LINT41 driver's cab

Quelle / Source: Alstom

gleitpersonal übernommen werden könnte und wie moderne Technologien (z. B. Tablets) die Arbeitsumgebung flexibilisieren können. Die Nutzung eines mobilen Endgerätes kann z. B. den Umstieg in den vorderen Zugteil oder den Einbau eines Führerraums überflüssig machen. Im ARTE-Projekt wurde beschlossen, eine Fernsteuerung mithilfe eines Tablets zu realisieren. Die Entwicklung und Implementierung der Tabletsteuerung erfolgt durch das Fachgebiet Bahnbetrieb und Infrastruktur der Technischen Universität Berlin (TU Berlin). Auf dem Tablet ist die App Z21 von der Modelleisenbahn GmbH installiert. Die App soll die Bedienung des Zuges durch das Zugbegleitpersonal oder einen Teleoperierenden ermöglichen. Für die Kommunikation zwischen Tablet und Fahrzeug wird ein Programm implementiert, welches die Protokolle der Z21-App an das Fahrzeug sendet und in das Protokoll gemäß der entstehenden ATO-Norm übersetzt. Außerdem wird das Programm in umgekehrter Richtung funktionieren, indem es die Signale des Fahrzeugs an das Tablet sendet und übersetzt. Der Bildschirm des Tablets wird horizontal geteilt. In der oberen Hälfte wird der Stream von den Kameras ablaufen, und in der unteren Hälfte werden die Tasten und Regler sein. Für die Bedienbarkeit wurden hierfür Usability-Versuche gemeinsam vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und der TU Berlin durchgeführt. Für die Ergebnisse und eine ausführlichere Beschreibung der Benutzeroberfläche wird auf [12] verwiesen.

5 Fazit & Ausblick

Die entstehenden europäischen Normen geben die Richtung für fahrerloses signalgeführtes Fahren an. Lösungen existieren als Prototypen, müssen aber fahrzeug- und landesspezifisch angepasst

app from Modelleisenbahn GmbH has been installed on the tablet. The app should enable the train to be operated by the train attendants or a remote operator. A program that sends the Z21 app protocols to the vehicle and translates them into the protocol according to the draft ATO standard has been implemented for the communication between tablet and vehicle. In addition, the program will also work in reverse, so that the vehicle's signals will be sent to the tablet and translated. The tablet screen is split horizontally. The stream from the cameras will run in the upper half and the lower half will contain the buttons and controls. Usability tests of the ease of use have been carried out jointly by the German Aerospace Center (DLR) and the TU Berlin. Refer to [12] for the results and a more detailed description of the user interface.

5 Conclusion & outlook

The emerging European standards indicate the direction for driverless train operations with line-side signalling. Solutions exist as prototypes, but must first be adapted to specific vehicles and countries. Operating measures are still necessary to achieve the necessary safety.

The ARTE project will perform test runs for just such a solution on the regional lines in Lower Saxony in the summer of 2024. This will enable an investigation into questions of the operations and human factors under real conditions. ■

werden. Zum Erreichen der nötigen Sicherheit sind einstweilig noch betriebliche Maßnahmen erforderlich.

Mit einer solchen Lösung sollen im Projekt ARTE im Sommer 2024 Probefahrten auf Regionalstrecken in Niedersachsen durchgeführt werden. Dies wird es ermöglichen, Fragestellungen des Betriebs und von Human Factors unter realen Bedingungen zu erforschen. ■

Förderhinweis

Die hier vorgestellten Arbeiten werden durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) im Fachprogramm „Neue Fahrzeug- und Systemtechnologien“ gefördert. Die vorliegenden Inhalte sind im Rahmen des Projektes „ARTE – Automatisiert fahrende Regionalzüge in Niedersachsen“ entstanden.

AUTOREN | AUTHORS

Dr. rer. nat. Tobias Bekehermes

Design Authority
Alstom Signal GmbH
Anschrift / Address: Neustadter Straße 62, D-68309 Mannheim
E-Mail: tobias.bekehermes@alstomgroup.com

Bekir Arslan

Wissenschaftlicher Mitarbeiter / Research Associate
TU Berlin
Anschrift / Address: Salzufer 17-19, D-10587 Berlin
E-Mail: barslan@railways.tu-berlin.de

Dr. Anja Naumann

Wissenschaftliche Mitarbeiterin / Research Associate
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) e.V.
Anschrift / Address: Rutherfordstraße 2, D-12489 Berlin
E-Mail: anja.naumann@dlr.de

Funding notice

The work presented here has been funded by the German Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action (BMWK) in the “New Vehicle and System Technologies” program. The presented content has been created as part of the “ARTE – Automated regional trains in Lower Saxony” project.

LITERATUR | LITERATURE

- [1] Specht, F.; Michels, A.; Adebahr, F.-A.; Meirich, C.; Hofstädter, R.; Milius et al.: Automatisiertes Fahren in Niedersachsen – ARTE / Automated driving in Lower Saxony – ARTE, SIGNAL+DRAHT 9/2022
- [2] X2Rail-4 (Hrsg.): Deliverable D5.1 “WP5 GoA 3/4 specification”, v. 0.1.0ter, 2022-03-08
- [3] ERA; UNISIG; EEIG ERTMS USERS GROUP (Hrsg.): ERTMS/ETCS System Requirements Specification, SUBSET-026 v. 3.6.0
- [4] ERA; UNISIG; EEIG ERTMS USERS GROUP (Hrsg.): ERTMS/ATO ATO-OB / ETCS-OB FFFIS Application Layer, SUBSET-130 v 1.0.0
- [5] ERA; UNISIG; EEIG ERTMS USERS GROUP (Hrsg.): ERTMS/ATO System Requirements Specification SUBSET-125 v. 1.0.0
- [6] ERA; UNISIG; EEIG ERTMS USERS GROUP (Hrsg.): ERTMS/ATO ATO-OB / ROLLING STOCK FFFIS - APPLICATION LAYER, SUBSET-139, v 1.0.0
- [7] Schöne, S.; Adebahr, F.-A.; Meirich, C.; Bekehermes, T.: Betriebliche Differentialanalyse für den automatisierten Regionalbahnbetrieb, ETR – Eisenbahntechnische Rundschau 10/2023
- [8] SNCF: Train de Fret Autonome : essais en conduite assistée sur signalisation latérale <https://www.youtube.com/watch?v=ZmXK77dgVe8>, abgerufen 2023-07-20, 11:45
- [9] EN 16186-1:2014+A1:2018: Bahnanwendungen – Führerraum – Teil 1: Anthropometrische Daten und Sichtbedingungen
- [10] Grippenkoven, J. D.; Meirich, C.; Roth, M. H.; Caspar, M.; Hungar, H.: Teleoperierte Triebfahrzeugführung als Rückfallebene der Hochautomation / Teleoperation as a fallback solution for highly automated rail traffic, SIGNAL+DRAHT 6/2020
- [11] Adebahr, F.-A.; Milius, B.; Naumann, A.: Flexible Arbeitsumgebungen für die ATO-Rückfallebene, EI – DER EISENBÄHNINGENIEUR 1/2023
- [12] Naumann, A.; Arslan, B.; Herholz, H.; Schöne, S.: Evaluation einer Zugfernsteuerung mit Tablet im Modellbahnaufbau, EI – DER EISENBÄHNINGENIEUR 12/2023

Ihre Innovationen für die **digitale Schiene** sind **jetzt** gefragt!
Präsentieren Sie Ihr Unternehmen zielgerichtet in SIGNAL+DRAHT.
Das international führende Fachmedium für die Leit-, Sicherungs-
und Informationstechnologie.



DSTW
DIGITALISIERUNG
MOBILITÄT

ZUKUNFTSTECHNOLOGIE
AUTOMATISIERUNG

ILBS
ETCS
KÜNSTLICHE INTELLIGENZ