

ARTE: Erprobung von ATO GoA 3/4 und RTO auf einer Strecke ohne ETCS

ARTE: Testing ATO GoA 3/4 and RTO on a non-ETCS line

Tobias Bekehermes | Bekir Arslan | Anja Naumann

Im Rahmen des Projektes ARTE wurde ein Dieseltriebzug für fahrerloses Betrieb (ATO GoA 3/4) mit Signalerkennung und Fernsteuerbetrieb (Remote Train Operation, RTO) ausgerüstet. Als Fernsteuergerät wurde ein Tablet-Computer verwendet. Der Zug wurde auf Strecken ohne ETCS (European Train Control System) erprobt und diente als Reallabor zur Erforschung von Aspekten des Betriebs, Human Factors sowie der Rollen von Personal im Zusammenhang mit den neuen Betriebsarten. Der vorliegende Beitrag beschreibt die Testfahrten und daraus gewonnene Erkenntnisse.

1 Einführung

Die Partner Alstom Deutschland, das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) und die Technische Universität Berlin (TU Berlin) haben im Forschungsprojekt „Autonomous Regional Train Evolution (ARTE)“ von 2022 bis 2025 die technischen und betrieblichen Anforderungen an einen automatisiert fahrenden Zug untersucht [1]. Ziel war dabei, ATO GoA 3/4 auf Strecken ohne ETCS umzusetzen. Alstom hat eine fahrzeugseitige Lösung dafür entwickelt [2]. Dabei wird die ETCS-Fahrterlaubnis durch eine automatische Signalerkennung ersetzt. Satellitennavigation ermöglicht eine globale Ortung ohne ETCS-Balisen. Die Lösung wurde in einen 20 Jahre alten Dieseltriebzug Coradia LINT41 integriert [3]. Die TU Berlin entwickelte mit Unterstützung von Alstom und DLR eine Lösung zur vereinfachten und mobilen Fernsteuerung mittels eines Tablet-Computers [4]. Alstom entwickelte die fahrzeugseitige RTO-Ausrüstung und integrierte diese in das Fahrzeug. Das umgerüstete Fahrzeug erhielt eine Probefahrtgenehmigung, welche die Erprobung auf öffentlichen Strecken erlaubt.

2 Ziele der Testfahrten

Im Projekt sollte zum ersten Mal in Deutschland fahrerloses Fahren auf Strecken ohne ETCS umgesetzt werden. Wesentliche Komponenten der ARTE-Lösung für ATO GoA 3/4 kamen dabei erstmals in dieser Form zum Einsatz. Z.B. musste die in anderen Ländern bereits erprobte Signalerkennung an deutsche Signale angepasst werden. Die technische Machbarkeit zu zeigen war ein Ziel. Technische Erfahrungen zur weiteren Optimierung der Produkte sollten gesammelt werden. Darüber hinaus sollte das umgerüstete Fahrzeug ein Reallabor bieten, in dem automatisierter und ferngesteuerter Zugbetrieb unter realen Bedingungen erforscht werden kann. Der Fokus lag dabei auf Fragestellungen zu Betrieb, den Rollen des Personals und den Arbeitsabläufen. Die Interaktion von Probanden mit dem System sowie dessen Nutzbarkeit sollten wissenschaftlich untersucht werden.

Adiesel multiple unit was equipped for driverless operations (ATO GoA 3/4) with signal detection and remote train operation (RTO) as part of the ARTE project. A tablet computer was used as the remote-control device and the train was tested on lines without any ETCS (European Train Control System). There, it served as a real-world laboratory for researching the operating aspects, human factors and personnel roles connected with the new operating modes. This article describes the test runs and the resulting findings.

1 Introduction

Alstom Deutschland, the German Aerospace Centre (“Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt”, DLR) and the Technical University of Berlin (TU Berlin) partnered to investigate the technical and operating requirements for an automated train in the “Autonomous Regional Train Evolution” research project (ARTE) from 2022 to 2025 [1]. The goal was to implement ATO GoA 3/4 on routes without any ETCS. Alstom has developed an on-board solution for this [2]. The ETCS movement authority is replaced with automatic signal detection. Satellite navigation enables global positioning without any ETCS balises. The solution was integrated into a 20-year-old Coradia LINT41 diesel multiple unit [3]. The TU Berlin has developed a simplified and mobile remote control solution using a tablet computer with support from Alstom and DLR [4]. Alstom has developed the RTO on-board equipment and integrated the RTO solution. The converted vehicle subsequently received a test run permit, thereby allowing testing on public tracks.

2 The objectives of the test runs

The project was aimed at implementing driverless train operations on tracks without any ETCS for the first time in Germany. The key components of the ARTE solution for ATO GoA 3/4 were used in this form for the first time. For example, the signal detection system, which had already been tested in other countries, had to be adapted to German signals. One goal was to demonstrate its technical feasibility. The intention was to acquire technical experience for further product optimisation. Furthermore, the converted vehicle was intended to provide a real-world laboratory in which automated and remote train operations could be researched under real-life conditions. The focus was on questions relating to operations, personnel roles and workflows. The interaction of the

ATO kam bereits in vorherigen Projekten zum Einsatz. Im ARTE-Projekt lag der Schwerpunkt auf dem Einsatz eines Tablet-Computers zur Fernsteuerung. Zentrale technische Zielsetzungen waren die Entwicklung eines stabilen und latenzarmen Video-Streaming, der Aufbau einer zuverlässigen Schnittstelle zwischen Fahrzeug und Tablet sowie die Gestaltung einer benutzerfreundlichen Steuerungsoberfläche. Darüber hinaus wurde angestrebt, das klassische Führerpult funktional zu reduzieren und an die Anforderungen der neuen betrieblichen Rollen im RTO-Betrieb anzupassen. Die im Projekt im Detail betrachteten neuen potenziellen Rollen von Betriebspersonal sind dabei der Remote Operator und der Zugbegleiter-Plus (siehe [5]). Für beide Rollen ist im betrieblichen Konzept von ARTE vorgesehen, dass bei einer Störung der ATO die Steuerung durch Personal mittels RTO, etwa bis zum nächsten Bahnhof, vorgenommen werden kann (siehe auch [6] und [7]). Dies kann beispielsweise mit einem Tablet-Computer erfolgen [5]. Aus Human-Factors-Perspektive war für das DLR und die TU Berlin ein Ziel, mithilfe von RTO-Probandentests Erkenntnisse für die Weiterentwicklung und Optimierung der Benutzeroberfläche (User Interface) der Tablet-Fernsteuerung zu gewinnen. Die Ergebnisse sind dabei direkt in die einzelnen Überarbeitungsstufen des Interfaces eingeflossen [8]. Ein weiteres Ziel war die Evaluierung der Tablet-Steuerung in Bezug auf die neuen potenziellen Rollen Remote Operator und Zugbegleiter-Plus.

3 Testvorbereitung

Im Rahmen des Projektes wurden Anforderungen an die öffentliche Strecke für die Testfahrten festgelegt. Es sollte sich um eine Regionalstrecke in Niedersachsen handeln, die auch im Regelbetrieb mit vergleichbaren Fahrzeugen befahren wird. Die Strecke sollte mit konventioneller Signalisation und nicht mit ETCS ausgerüstet sein. Der Aufwand der Datenaufbereitung, insbesondere der Erfassung vor Ort, z. B. aufgrund von Streckenlänge oder Anzahl der Signale, musste in den verfügbaren Zeitrahmen des Projektes passen. Die Streckenauslastung und die vorhandenen Ausweichgleise mussten die Durchführung zusätzlicher Fahrten für die ARTE-Tests erlauben. Schließlich musste sichergestellt sein, dass die Strecke zwischen der Datenerfassung und den Testfahrten in ihren relevanten Eigenschaften nicht durch Baumaßnahmen verändert wurde.

So führte z. B. die geplante Inbetriebnahme neuer Stellwerke zum Ausschluss von ursprünglich favorisierten Strecken. Mehrere Strecken wurden untersucht, zum Teil mit Datenerfassung vor Ort. Am Ende fiel die Wahl auf die Strecke Northeim – Bodenfelde (DB Strecken-Nr. 2975). Die eingleisige Strecke ist 36 km lang und mit H/V- und Ks-Signalen ausgestattet. Sie verfügt über zwei Kreuzungsbahnhöfe, zehn Bahnübergänge und einen Tunnel.

Die Strecke wurde im Rahmen des Projekts nicht für ATO ausgerüstet. Ein ATO-Streckengerät (ATO-TS) wurde im Fahrzeug auf einem PC simuliert und per Bordnetzwerk mit dem ATO Fahrzeuggerät verbunden. Streckenseitige Bedienungen, wie z. B. Fahrplanänderungen, können damit simuliert werden.

Die Durchführung der Fahrten wurde von der VGT Vorbereitungsgesellschaft Transporttechnik mbH als Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) übernommen. Diese war intensiv an der Planung der Tests beteiligt. Die Sicherheit der Testfahrten wurde durch einen Sicherheits-Triebfahrzeugführer (Tf) und einen Versuchsleiter gewährleistet, die permanent im Führerraum anwesend waren. Der Sicherheits-Tf konnte jederzeit die Kontrolle über das Fahrzeug übernehmen und gewährleistete so die Sicherheit. Alle ermittelten Gefährdungen konnten somit auf ein vertretbares Maß re-

user test participants with the system and its usability were also scientifically investigated.

RTO has already been used in several projects. The ARTE project focused on the use of a tablet computer for remote control. The key technical objectives involved the development of stable, low-latency video streaming, the establishment of a reliable interface between the vehicle and the tablet and the design of a user-friendly control interface. Furthermore, the aim was to reduce the functionality of the traditional control panel and adapt it to the requirements of the new operating roles in RTO operations.

The new potential roles for operating personnel examined in detail in the project involve those of the remote operator and the train attendant-plus (see [5]). In the case of both roles, ARTE's operating concept provides control being undertaken by the personnel using RTO, for example until the next station, in the event of an ATO malfunction (see also [6] and [7]). This can be done, for instance, using a tablet computer [5].

From a human factors perspective, one goal of the RTO user tests for the DLR and TU Berlin was to use the RTO tests with participants so as to gain insights for the further development and optimisation of the tablet remote control's user interface. The results were directly incorporated into the individual revision stages of the interface [8]. Another goal involved evaluating the tablet control in relation to the new potential roles of the remote operator and the train attendant-plus.

3 Test preparation

The public line requirements for the test runs were defined as part of the project. The plan was to use a regional line in Lower Saxony which would also be in regular service with comparable vehicles. The line should have been equipped with conventional signalling and not with ETCS. The effort required for data processing, particularly on-site data acquisition (e.g. due to the length of the line or the number of signals) had to fit into the available project timeframe. The line's capacity and the existing sidings had to allow for additional runs for the ARTE tests. Finally, it was necessary to ensure that the relevant line characteristics would not change as a result of construction work between the data acquisition period and the test runs.

For example, the planned commissioning of new interlocking systems led to the exclusion of several originally favoured lines. Several lines were investigated, some including on-site data acquisition. Ultimately, the Northeim – Bodenfelde line (DB line no. 2975) was chosen. The single-track line is 36 km long and equipped with H/V home and warning signals and with combined Ks signals. It has two crossing stations, ten level crossings and a tunnel.

The line was not equipped for ATO under the project. An ATO trackside unit (ATO-TS) was simulated on a PC in the vehicle and connected to the ATO on-board unit via the on-board network. Trackside operations, such as timetable changes, can be simulated with this unit.

VGT (Vorbereitungsgesellschaft Transporttechnik mbH) was responsible for carrying out the test runs in the capacity of the railway undertaking. This company was heavily involved in planning the tests. The test run safety was ensured by a safety driver and a test manager who were permanently present in the driver's cab. The safety driver could take control of the vehicle at any time, thus ensuring safety. All the identified hazards were therefore reduced to an acceptable level. A positive AsBo



Bild 1: Der ARTE-Versuchszug auf dem Testgleis in Salzgitter

Fig. 1: The ARTE test train on the test track in Salzgitter

Quelle / Source: Alstom

duziert werden. Aufgrund dessen wurde ein positiver AsBo-Sicherheitsbericht erstellt, und der Eisenbahnbetriebsleiter erteilte die Erlaubnis zur Durchführung der Testfahrten.

Es wurden Test-Szenarien definiert, die einen möglichst realistischen Betrieb für einen Umlauf Northeim – Bodenfelde – Northeim abbilden. Dafür wurden jeweils die relevanten Daten der Infrastruktur und der Signale erfasst und in einer digitalen Karte hinterlegt. Dies erwies sich als sehr aufwendig, daher musste der Umfang im Rahmen der Möglichkeiten des Projektes begrenzt werden. So wurden z. B. nicht alle denkbaren Fahrstraßen und dazugehörige Signale hinterlegt. Bei kurzfristigem Gleiswechsel in ein nicht projektiertes Gleis wurde die Fahrt durch den Sicherheits-Tf fortgesetzt. Das PZB-Fahrzeuggerät (Punktförmige Zugbeeinflussung, PZB) wurde nicht mit ATO bzw. RTO verbunden, da gemäß europäischem Normentwurf für ATO GoA 3/4 der Ersatz nationaler Zugbeeinflussungssysteme durch ETCS mit Signalerkennung vorgesehen ist [9]. Bei den Probefahrten wurde die PZB nicht deaktiviert, sondern diente als Hintergrundüberwachung für den Sicherheits-Tf. Dies bedeutete, dass die ATO-Geschwindigkeitsprofile so ausgelegt werden mussten, dass ggf. wirksame PZB-Überwachungskurven unterfahren werden, um Zwangsbremsungen zu vermeiden.

Erste Versuche wurden auf dem Testgleis im Alstom-Werksgelände in Salzgitter durchgeführt (Bild 1). Dieses bietet zahlreiche Sicherheitsvorteile wie Umzäunung, Zutrittskontrolle und technische Überwachung. Außerdem ist es dort möglich, Hindernisattrappen im Gleis zu platzieren. So konnte auch die Hinderniserkennung erfolgreich erprobt werden (Bild 2). Der Nachteil des Testgleises ist die Länge und die damit verbundene Geschwindigkeitseinschränkung. Die technische Funktionsfähigkeit der RTO-Ausrüstung wurde ebenfalls zunächst im Testgleis überprüft [4].

Im Vorfeld der Tests auf der öffentlichen Strecke wurden im Rahmen eines iterativen Entwicklungsprozesses der Benutzeroberfläche der RTO-Tablet-Steuerung von DLR und TU Berlin zwei initiale Probandentests durchgeführt. Dies waren zunächst ein Test in einem Modellbahnaufbau (siehe [10]) und darauffolgend ein Probandentest auf dem Alstom-Testgleis in Salzgitter (siehe [8]). Auf dem Testgleis konnten folgende Arbeitspositionen für die Tablet-Steuerung

safety report was prepared on this basis and the railway operations manager granted permission to conduct the test runs. Test scenarios that represented the most realistic operations possible for the Northeim – Bodenfelde – Northeim circuit were defined. The relevant infrastructure and signalling data were recorded for this purpose and stored on a digital map. This proved to be highly complex, so the scope had to be limited within the project's capabilities.

For example, not all the conceivable routes and associated signals were stored. In the event of a short-term track change to a track not covered by the digital map, the journey continued with the safety driver. The PZB on-board unit was not connected to the ATO or RTO, as the European draft standard for ATO GoA 3/4 envisages the replacement of national train control systems with ETCS with signal detection [9]. The PZB was not deactivated during the test runs, but served as background monitoring for the safety driver. This meant that the ATO speed profiles had to be designed to stay below any effective PZB supervision curves so as to avoid emergency braking.

Initial tests were conducted on the test track at the Alstom site in Salzgitter (fig. 1). This facility offers numerous safety advantages such as fencing, access control and technical monitoring. Furthermore, it is possible to place dummy obstacles on the track. This also enabled obstacle detection to be successfully tested (fig. 2). The test track's disadvantages include its length and the associated speed restrictions. The technical functionality of the RTO equipment was also initially tested on the test track [4]. Two initial user tests were conducted by DLR and TU Berlin prior to the tests on the public line as part of an iterative development process for the RTO tablet control system's user interface. This initially involved a test in a model railway setup (see [10]) followed by a user test on the Alstom test track in Salzgitter (see [8]). The following work positions for the tablet control system were able to be tested on the test track: from the driver's cab, from the passenger compartment, next to the track and from a more distant office space similar to a control centre [8]. The control system was adapted on the basis



Bild 2: Erprobung der Hinderniserkennung auf dem Testgleis

Fig. 2: Obstacle detection testing on the test track

Quelle / Source: Alstom

getestet werden: aus dem Führerstand, aus dem Fahrgastraum, neben dem Gleis und aus einem weiter entfernten Bürraum, ähnlich einer Zentrale [8]. Auf Grundlage dieser Versuche wurde die Steuerung so angepasst, dass auf der kommerziellen Strecke unter optimierten Bedingungen gefahren werden konnte [11].

Im Gegensatz zum Testgleis ermöglichte der Probandentest auf der öffentlichen Infrastruktur durchgehende Fahrten über mehrere Kilometer bei zu beachtenden Streckensignalen. Allerdings konnten aufgrund der Streckenkapazität zwischen den Regelzügen nur wenige Fahrten pro Tag geplant werden, sodass der Versuchsumfang auf die RTO-Steuerung aus dem Zug beschränkt wurde. Die Platzierung von Hindernissen im Gleis ist auf öffentlicher Infrastruktur im Betrieb aus Sicherheitsgründen nicht möglich. Daneben reduzierte die Sicherheitsanforderung einer G25-Tauglichkeit den Probandenpool auf vorwiegend Tf [12]. Um die Tests auf öffentlicher Infrastruktur sicher ausführen zu können, mussten die Probanden vorab gemäß den Sicherheitsanforderungen aus der Risikoanalyse, des Infrastrukturbetreibers und des EVU informiert und geschult werden. Die Umsetzung der Sicherheitsanforderungen im Testbetrieb ist ausführlich in [12] dargestellt.

4 Durchführung der Tests

Die Testfahrten auf der Strecke Northeim – Bodenfelde fanden im Jahr 2024 statt. Dabei wurden wiederholt Fahrten durchgeführt, bei denen die ATO-Funktionalität stufenweise erweitert und erprobt wurde. Anfangs wurden nur einzelne Teilsysteme getestet, z.B. die Signalerkennung. Sukzessiv kamen mehr Teilsysteme und Funktionen zur Anwendung. Fahrten mit der vollen Funktionalität (GoA 3 mit Signalerkennung) fanden schließlich im Oktober und Dezember 2024 statt. In der finalen Stufe konnte der geplante Umlauf Northeim – Bodenfelde – Northeim mit Automatisierung erfolgreich ab-

of these tests so as to enable optimal operations on the commercial line [11].

In contrast to the test track, the user tests on the public infrastructure enabled continuous journeys of several kilometres with observance of the line side signals. However, the track capacity between the regular trains meant that only a few journeys could be planned per day, so the test scope was limited to RTO control from the train. The placement of obstacles on the track is not permitted during operations on public infrastructure for safety reasons. In addition, the safety requirement of G25 suitability primarily reduced the participant pool to train drivers [12]. In order to safely conduct the tests on public infrastructure, the participants had to be informed and trained in advance according to the safety requirements from the risk analysis, the infrastructure manager and the railway undertaking. The implementation of the safety requirements during the test operations is described in detail in [12].

4 Conducting the tests

The test runs on the Northeim – Bodenfelde line took place in 2024. Repeated runs were conducted during which the ATO functionality was gradually expanded and tested. Initially, only the individual subsystems, such as signal detection, were tested. More subsystems and functions were gradually implemented. Runs with full functionality (GoA 3 with signal detection) finally took place in October and December 2024. In the final phase, the planned Northeim – Bodenfelde – Northeim circuit was successfully completed with automation. Specific GoA 3/4 functions, such as transitions between GoA 3 and GoA 4, automatic selection of the active driver's cab and reversing, were used for the first time in Germany. Fig. 3 shows

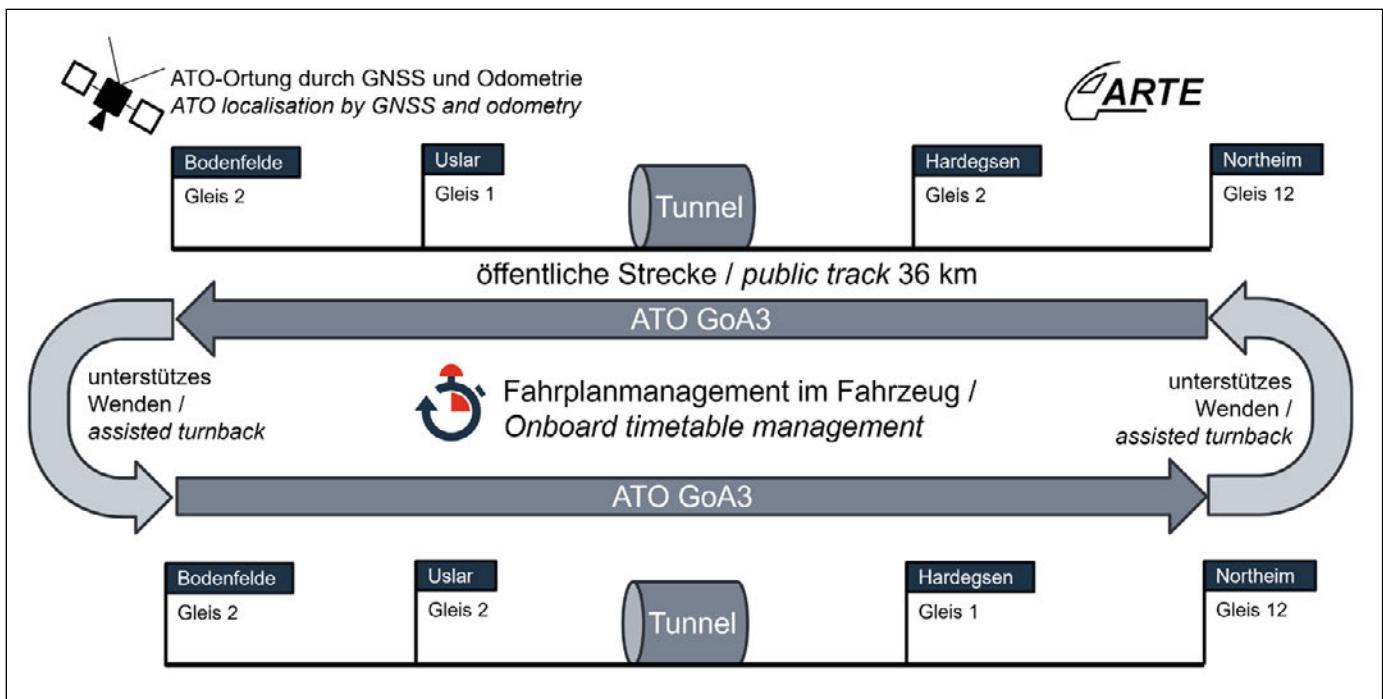


Bild 3: Übersicht eines ATO-Szenarios

Fig. 3: An overview of an ATO scenario

Quelle / Source: Alstom

solviert werden. Dabei kamen spezifische GoA 3/4-Funktionen, wie etwa Transitionen zwischen GoA 3 und GoA 4, automatische Auswahl des aktiven Führerraums und Wenden erstmals in Deutschland zur Anwendung. Bild 3 zeigt beispielhaft ein Szenario für einen Pendel Northeim – Bodenfelde – Northeim in GoA 3.

Aufgrund der Probefahrtgenehmigung konnten die Fahrten im Regelbetrieb der Strecke stattfinden. Die Strecke musste weder für die Tests gesperrt werden noch war ein besonderes Betriebsverfahren nötig. Die Auslastung der Strecke erlaubte in der Regel zwei bis drei Pendel pro Tag. Die Testfahrten fanden tagsüber bei unterschiedlichen Sichtverhältnissen statt.

Nach erfolgreicher Erprobung der RTO-Tablet-Steuerung mit Probanden auf dem Testgleis bei Rangiergeschwindigkeit wurden im Sommer 2024 Testfahrten mit Probanden auf der öffentlichen Strecke Northeim – Bodenfelde durchgeführt. Zehn Teilnehmer fuhren dabei den Zug auf einer Strecke von 7 bis 8 km mit Schwerpunkt auf exakter Geschwindigkeit von 40 km/h und zielgenauem Halten am Bahnsteig der nächsten Station. Alle Probanden waren Tf oder Zugbegleiter, jeweils mit einer aktuellen G25-Bescheinigung.

Die Tablet-Steuerung erfolgte jeweils sowohl vom Führerstand mit direktem Blick auf die Strecke als auch vom Fahrgastraum aus ohne direkten Blick auf die Strecke (Bild 4). Die Durchführung der Tests ist ausführlich in [13] beschrieben. In allen Probandentests wurden insbesondere Fahrleistung, Benutzerfreundlichkeit (Usability) und Akzeptanz der Tablet-Steuerung sowie Optimierungsvorschläge für die weitere Gestaltung der Benutzeroberfläche erhoben [8, 14].

5 Erkenntnisse

Die umgesetzte technische Lösung ermöglicht automatischen Betrieb GoA 3/4 auch auf Strecken ohne ETCS und mit Bestandsfahrzeugen. Die automatische Signalerkennung erweist sich dabei als mögliche Lösung, falls die Fahrerlaubnis nicht wie bei ETCS digital von der Strecke übermittelt wird. Bei den Fahrten in der finalen Ausbaustufe gab es ca. 110 Annäherungen an Signale. Die

an example scenario for a Northeim – Bodenfelde – Northeim circuit in GoA 3.

The test run permit meant that runs could take place during regular line operations. The line did not have to be closed for the tests, nor were any special operating procedures necessary. The line's capacity typically allowed for two to three commutes per day. The test runs took place during the day under varying visibility conditions.

Test runs were conducted with test participants on the public Northeim – Bodenfelde line in the summer of 2024 once the RTO tablet control system had been successfully tested by the test participants on the test track at shunting speed. Ten participants drove the train on a 7 to 8 kilometre route, focusing on maintaining a precise speed of 40 km/h and stopping precisely at the platform of the next station. All the test participants were train drivers or train attendants, each with a current G25 certificate.

Tablet control was performed both from the driver's cab with a direct view of the line and from the passenger compartment without a direct view of the line (fig. 4). The test procedure is described in detail in [13]. In all the user tests, the driving performance, usability and acceptance of the tablet control, as well as any optimisation suggestions for the further design of the user interface were recorded [8, 14].

5 Results

The implemented technical solution enables automatic GoA 3/4 operations even on lines without any ETCS and with existing vehicles. Automatic signal detection proves to be possible, if the movement authority is not transmitted digitally from the track, as is the case with ETCS. There were approximately 110 approaches to signals during the journeys in the final expansion stage. The signal recognition system continuously determined the signal aspect during the approach. This was correct every time. Scenarios with signal enhancement, i.e. cases where the

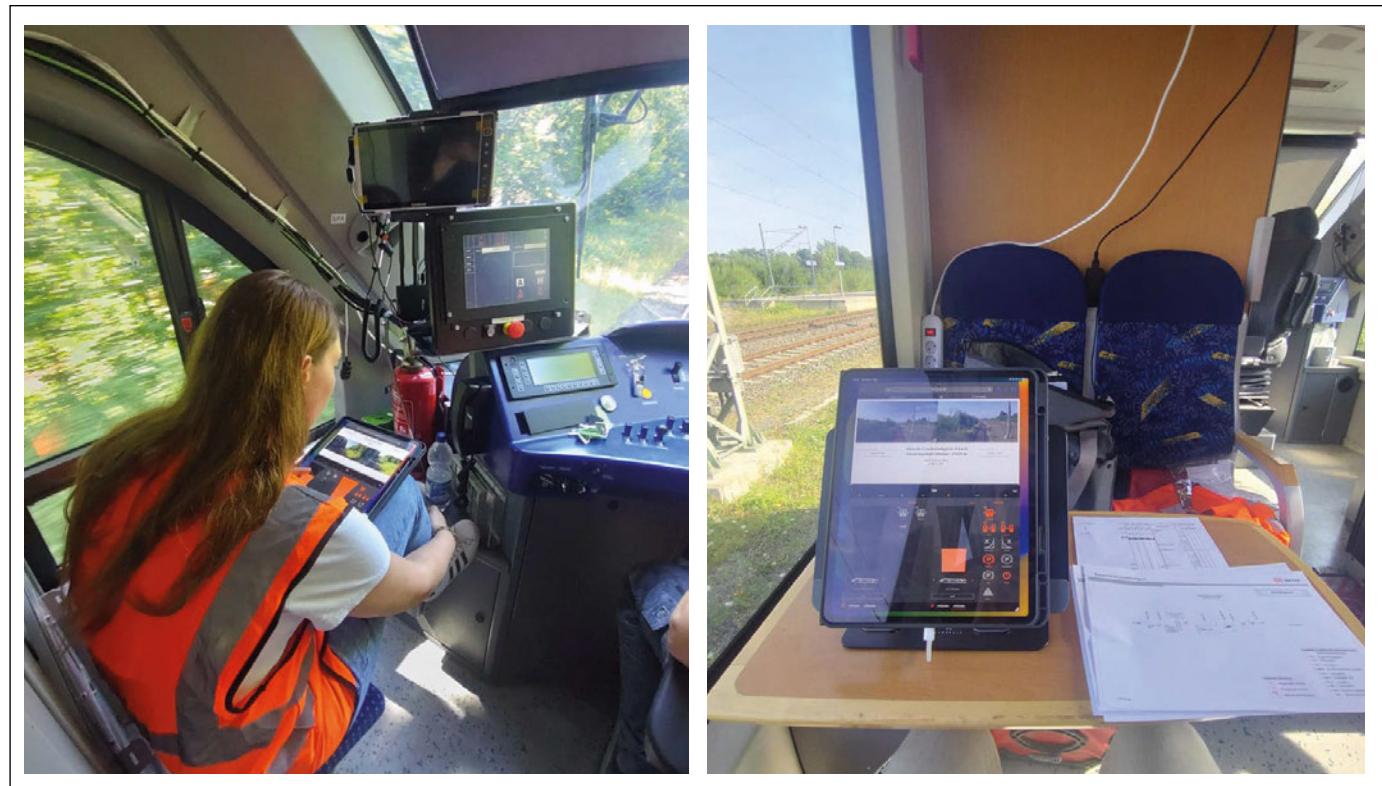


Bild 4: RTO-Probandentests mit Tablet-Steuerung: links im Führerstand, rechts im Fahrgastraum

Fig. 4: RTO test subjects with the tablet control: left in the driver's cab, right in the passenger compartment

Quelle / Source: [13]

Signalerkennung hat dabei kontinuierlich während der Annäherung den Signalbegriff ermittelt. Dieser war jedes Mal korrekt. Auch Szenarien mit Signalaufwertung, d.h. Fälle, in denen das Signal während der Annäherung zu einem weniger restriktiven Signalbegriff wechselt, wurden erfolgreich durchgeführt. Die Signalerkennung registrierte die Aufwertung, und ATO setzte die Fahrt fort. Die Anpassung der ATO-Geschwindigkeitsprofile an die im Hintergrund wirksame deutsche Zugbeeinflussung PZB stellte insofern eine Einschränkung dar, dass der Zug langsamer fahren musste als z.B. mit ETCS Level 2, wo Signalaufwertungen unmittelbar an die Zugbeeinflussung übermittelt werden.

Die erstmals eingesetzte Ortungsplattform, welche Satellitennavigation verwendet, erwies sich als geeignet. Der fehlende Satellitenempfang im Tunnel konnte durch die anderen Sensoren kompensiert werden.

Sowohl die Fahrzeugausrüstung als auch ihre Konfigurationen konnten während und zwischen den Tests aufgrund der Erkenntnisse weiterentwickelt und ihre Leistungsfähigkeit konnte dadurch weiter verbessert werden.

Beispielsweise wurde die Projektierung von Infrastrukturdaten an Haltepunkten optimiert, um ein signalabhängiges Anfahren mit ATO nach Betriebshalten zu vereinfachen. Insgesamt erwies sich die Bereitstellung geeigneter digitaler Infrastrukturdaten als wesentliche Voraussetzung für den automatischen Betrieb.

Die RTO-Steuerung wurde ebenfalls angepasst. Dabei wurden zwei Modi beim Starten bereitgestellt („Safety“: Verbindungsabbrüche nach Timeouts und „Availability“: stabile Verbindung, keine Timeouts). Je nach Versuchsdurchgang wurde der gewünschte Modus gestartet [11].

In den Probandentests auf dem Testgleis Salzgitter und der öffentlichen Strecke beurteilten die Teilnehmer das Konzept der Zugfernsteuerung im Interview positiv. Einfachheit und Erlernbarkeit

signal changes to a less restrictive signal aspect during the approach, were also successfully completed. The signal recognition system registered the enhancement and ATO continued the journey. Adapting the ATO speed profiles to the German PZB train control system operating in the background presented a limitation in that the train had to travel more slowly than, for example, with ETCS where signal enhancements are transmitted directly to the train control system.

The positioning platform, which was used for the first time and uses satellite navigation, proved to be suitable. The lack of satellite reception in the tunnel was compensated for by the other sensors.

Both the vehicle equipment and its configurations were further developed during and between the tests based on the findings, thus further improving their performance.

For example, the configuration of the infrastructure data at the stopping points was optimised to simplify signal-dependent starting with ATO after operational stops. Overall, the provision of suitable digital infrastructure data proved to be an essential prerequisite for automatic operations.

The RTO remote control system was also adapted. Two modes were provided at startup („Safety“: connection interruptions after timeouts and „Availability“: a stable connection, no timeouts). The desired mode was started depending on the test run [11].

The participants in the user tests on the Salzgitter test track and the public line positively rated the remote train operating concept in the interviews. The simplicity and learnability of the tablet control system were rated as good. Furthermore, a number of suggestions and requests for further development of the control system and displays were also collected [13]. The participants requested a non-linear brake force curve for more precise brak-

der Tablet-Steuerung wurden als gut beurteilt. Darüber hinaus wurden Hinweise und Wünsche zur Weiterentwicklung der Steuerung und der Anzeigen erhoben [13]. Die Teilnehmer wünschten sich eine nichtlineare Bremskraftkurve zum feineren Anbremsen, einen größeren Tacho (in die Steuerung integriert), größere Videobilder, noch einfachere Symbole und Zeichen, einen stärkeren Farbkontrast sowie eine Integration von Fahr- und Bremssteuerung in einem Regler.

Die Teilnehmer der Rangierversuche konnten sich eine Anwendung bei geringer Geschwindigkeit für Rangierbewegungen vorstellen, waren jedoch skeptisch bezüglich höherer Geschwindigkeiten. Die Teilnehmer auf der öffentlichen Strecke bewerteten die Fahrerfahrung als realitätsnah [13]. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse aller Probandentests findet sich in [14]. Es zeigte sich auch, dass die kognitive Belastung am höchsten und das Bewusstsein über die Situation am geringsten ist, wenn kein direkter Blick auf die Strecke aus dem Führerstand möglich ist und Videobilder die einzige Quelle für visuelle Informationen sind. Die schwierigste Bedingung stellte dabei aufgrund der größten Entfernung vom realen Zug und der größten Latenzen die Fernsteuerung aus einer Zentrale dar (Tests auf dem Testgleis). Hier besteht noch Optimierungsbedarf in der Ausgestaltung der Arbeitsumgebung [14].

6 Fazit und Ausblick

Vollautomatischer Zugbetrieb (ATO GoA 3/4) ist dank Signalerkennung auch auf Strecken ohne ETCS und mit Bestandsfahrzeugen möglich. RTO stellt eine geeignete Rückfallebene dar, bietet aber auch eigene Anwendungsmöglichkeiten. Im Zusammenhang mit ATO und RTO stehen als nächste Schritte die Automatisierung weiterer betrieblicher Funktionen wie etwa Vor- und Nachbereitungsdiens, die automatische Behandlung von Störungsszenarien sowie der Sicherheitsnachweis des Systems an.

Die Probandentests in ARTE haben gezeigt, dass die Nutzung eines Tablet-Computers auch aus Human-Factors-Sicht eine praktikable Lösung für die Fernsteuerung eines Zuges (RTO) ist, insbesondere wenn sich Personal an Bord befindet (GoA 3). Für eine Erhöhung der Akzeptanz der Tablet-Steuerung sind jedoch noch einige Verbesserungen der Benutzeroberfläche und der technischen Voraussetzungen notwendig [14]. Diese betreffen vor al-

ing, a larger speedometer (integrated into the control system), larger video images, even simpler symbols and icons, a stronger colour contrast and the integration of the driving and braking control into a single controller.

The participants in the shunting tests could imagine an application at low speeds for shunting movements, but were sceptical about higher speeds. The participants on the public track rated the driving experience as realistic [13]. A summary of the results of all user tests can be found in [14]. It was also shown that the cognitive load is highest and the situational awareness is lowest when there is no direct view of the track from the driver's cab and the only source of visual information is video images. The most difficult condition involved remote control from a control centre (tests on the test track) due to the greatest distance from the real train and the highest latencies. There is still room for optimisation in the working environment design [14].

6 Conclusion and outlook

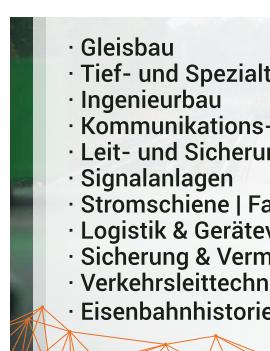
Fully automatic train operation (ATO GoA 3/4) is possible even on tracks without ETCS and with existing vehicles thanks to signal detection. RTO represents a suitable fallback level, but also offers its own application possibilities. The next steps in connection with ATO and RTO include the automation of additional operating functions such as preparation and follow-up services, the automatic fault scenario handling and system safety verification.

The user tests in ARTE have shown that the use of a tablet computer is a viable solution for RTO, even from the perspective of the human factors, especially when personnel are on board (GoA 3). However, some improvements to the user interface and technical requirements are still necessary so as to increase the acceptance of the tablet control [14]. This primarily concerns improved video quality, consistent control and direct feedback. Adequate mobile or Wi-Fi coverage is a prerequisite for low latency in video transmissions [14].

Further research is needed for a detailed design of the new roles and job profiles for the operating personnel (see [6] and [7]), especially for any preparatory and follow-up activities. ■

WEGE IN DIE ZUKUNFT.

Komplettlösungen für Verkehrswege von morgen



- Gleisbau
- Tief- und Spezialtiefbau
- Ingenieurbau
- Kommunikations- und Elektrotechnik
- Leit- und Sicherungstechnik
- Signalanlagen
- Stromschiene | Fahrleitung | Starkstrom
- Logistik & Gerätevermietung
- Sicherung & Vermessung
- Verkehrsleittechnik
- Eisenbahnhistorie



 **BUG-GRUPPE**

#DeutschlandweitVernetzt

BUG-GRUPPE
t +49 30 818 700-0
www.bug-gruppe.de



iem die Erhöhung der Videoqualität, eine gleichmäßige Steuerung und direktes Feedback. Eine ausreichende Mobilfunk- bzw. WLAN-Abdeckung ist eine zwingende Voraussetzung für geringe Latenzen bei der Videoübertragung [14]. Weiterer Forschungsbedarf ergibt sich für die detaillierte Ausgestaltung der neuen Rollen und Berufsbilder für Betriebspersonal (siehe [6] und [7]), insbesondere auch für Vor- und Nachbereitungstätigkeiten. ■

Förderhinweis

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

Funding information

The Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Protection (Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, BMWK) funded the work presented here in the “New Vehicle and System Technologies” program. This content has been developed as part of the “ARTE – Automated Regional Trains in Lower Saxony” project.

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

Technische Universität 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

LITERATUR | LITERATURE

- [1] Adam, J.; Hofstädter, R.; Kapp, B.; Naumann, A.: Hochautomatisierte Zugsteuerung für Bahnstrecken ohne ETCS, Deine Bahn 6/2025
- [2] Bekehermes, T.; Arslan, B.; Naumann, A.: ARTE – eine technische Lösung für fahrerlose Züge auf Nicht-ETCS-Strecken, SIGNAL+DRAHT (115) 12/2023, S. 18–25
- [3] Bekehermes, T.: Fahrzeugausstattung für GoA 3/4 und RTO auf Nicht-ETCS-Strecken im Projekt ARTE, in: 7th Scientific Railway Signalling Symposium, 2024-11-28, Berlin, S. 60–71
- [4] Arslan, B.; Bekehermes, T.: ARTE – Erste technische Versuche mit Remote Train Operation, EI – DER EISENBAHNINGENIEUR 12/2024
- [5] Adebahr, F.-A.; Milius, B.; Naumann, A.: Flexible Arbeitsumgebungen für die ATO-Rückfallebene, EI – DER EISENBAHNINGENIEUR 01/2023, S. 39–41
- [6] Naumann, A.; Adam, J.; Oehme, A.: ARTE – Neue Rollen und Berufsbilder im automatisierten Fahren, EI – DER EISENBAHNINGENIEUR 06/2025
- [7] Naumann, A.; Adam, J.; Fritsch, M.; Hofstädter, R.: ARTE: Neue Aufgaben und Rollen für Betriebspersonal, EI – DER EISENBAHNINGENIEUR 08/2024, S. 42–45
- [8] Adam, J.; Arslan, B.; Naumann, A.: Entwicklung und Realerprobung einer Steuerung über Tablet für Remote Train Control. In: 7th Scientific Railway Signalling Symposium, 2024-11-28, Berlin, S. 7–22
- [9] Shift2Rail X2Rail-4 (Hrsg.): Deliverable D5.1 WP5 GoA3/4 Specification, Version 1.0.0, [online]. Available at: <https://projects.shift2rail.org/download.aspx?id=351d8551-cf6a-49ca-b213-8ce4e37892f8> (Accessed: 25 June 2025)
- [10] Naumann, A.; Arslan, B.; Herholz, H.; Schöne, S.: Evaluation einer Zugfernsteuerung mit Tablet im Modellbahnaufbau, EI – DER EISENBAHNINGENIEUR 12/2023, S. 10–15
- [11] Arslan, B.; Ramsdorf, T.; Herholz, H.: ARTE – Eine Zugfahrt mit Z21, EI – DER EISENBAHNINGENIEUR 02/2025
- [12] Adebahr, F.-A.; Adam, J.; Milius, B.: RTO-Erprobung im Spannungsfeld zwischen Testmethodik und Safety, EI – DER EISENBAHNINGENIEUR 02/2025
- [13] Adam, J.; Naumann, A.: Performance and usability testing of a tablet based train remote control. 6th German Conference on Rail Human Factors, 2025-02-18 – 2025-02-19, Berlin, Germany. Available from: <https://elib.dlr.de/213190/>
- [14] Naumann, A.; Adam, J.: Human Factors evaluation of a tablet based train remote control, Presentation at HFES Europe Chapter Annual Meeting 2025, 2025-04-09 - 2025-04-11, Bologna. Available from: <https://elib.dlr.de/214192/>