



Automatisiert fahrende Regionalzüge in Niedersachsen

Individueller Schlussbericht von Alstom Signal GmbH

ALSTOM



**Finanziert von der
Europäischen Union**
NextGenerationEU

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Alle Inhalte dieses Schlussberichtes, insbesondere Texte, Fotografien und Grafiken, sind urheberrechtlich geschützt. Das Urheberrecht liegt, soweit nicht ausdrücklich anders gekennzeichnet, bei Alstom Signal GmbH. Wer gegen das Urheberrecht verstößt (z. B. Bilder oder Texte unerlaubt kopiert), macht sich gem. §§ 106ff UrhG strafbar, wird zudem kostenpflichtig abgemahnt und muss Schadensersatz leisten (§ 97 UrhG).

Individueller Schlussbericht, Teil I: Kurze Darstellung

FKZ: 19|21052D

Bearb.: Bettina Kapp

Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2022 - 31.03.2025

Vorhaben

Verbundprojekt: **ARTE – Automatisiert fahrende Regionalzüge in Niedersachsen;**

Teilvorhaben: Entwicklung von ATO-Subsystemen und Softwarekonfiguration des ATO-Systems für den Regionalverkehr

Aufgabenstellung

ARTE war ein Forschungsprogramm im Bereich ATO (Automatic Train Operation). Ziel des Projekts war die Entwicklung einer ATO-Lösung für Grade of Automation (GoA) 3/4, einschließlich Signal- und Hinderniserkennung. In GoA4 fährt der Zug vollständig autonom, während in GoA3 noch ein Zugbegleiter anwesend ist, der im Falle einer Störung eingreifen kann. Auch RTO (Remote Train Operation) wurde im Rahmen von ARTE entwickelt.

Alstom Signal GmbH (ASG) hatte die Leitung für die Umsetzung des Projektes und die technische Leitung. Zu den Aufgaben zählten die Erstellung der technischen Differenzialanalyse, des technischen Lastenheftes, der Systemarchitektur und Integration der Teilsysteme sowie die Entwicklung der Hindernis- und Signalerkennung. ASG entwickelte zudem einen fahrzeugseitigen RTO-Server und war federführend bei Laborversuchen, Testfahrten und der Auswertung der Versuchsergebnisse.

Voraussetzungen zur Umsetzung des Vorhabens

Für das ARTE-Projekt stellte die Landesnahverkehrsgesellschaft Niedersachsen mbH (LNVG) in Kooperation mit der NordWestBahn GmbH zwei Coradia Lint 41-Züge zur Verfügung. Eine weitere wichtige Voraussetzung für das Projekt war die Auswahl einer geeigneten Teststrecke in Niedersachsen. Die Wahl fiel auf die Strecke Northeim-Bodenfelde.

Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Planung des Projektes umfasste die wesentlichen Phasen: Anforderungsermittlung und Systemkonzeption, Entwicklung der Testsysteme, Fahrzeugintegration, Testen von RTO, ATO, Signal- und Hinderniserkennung und Auswertung der Tests. Die Grobplanung des Forschungsvorhabens wurde im Rahmen des Projektes weiter abgestimmt und detailliert. Es fand eine regelmäßige Abstimmung mit den ARTE-Partnern und den Alstom internen Stakeholdern für die Feinplanung und Umsetzung der Planung statt.

Wissenschaftlicher und technischer Stand

Der Stand der Wissenschaft und Technik ist in Kapitel 4 des gemeinsamen ARTE-Forschungsbericht dargestellt. Die für ARTE genutzte Lösung für Signalerkennung war eine Weiterentwicklung einer Alstom Lösung und deren Anpassung für deutsche Signale.

Zusammenarbeit mit Dritten

An dem Projekt waren folgende weitere Partner beteiligt: Alstom Transport Deutschland GmbH (ATD), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und Technische Universität Berlin (TUB). Ein wichtiger Alstom interner Lieferant war Alstom Transport SA. Dieser lieferte die Lösung für die Signal- und Hinderniserkennung.

Wesentliche Ergebnisse

Auf der Alstom Teststrecke in Salzgitter wurden die ATO und RTO-Funktionalität und Hinderniserkennung getestet und erfolgreich validiert. Als herausragendes Ereignis des Gesamtprojekts im Rahmen der InnoTrans 2024 wurde das ARTE-Testfahrzeug der Öffentlichkeit in Salzgitter präsentiert. Es wurden das Fahrzeug und die Ausrüstung, sowie ATO- und RTO-Betrieb demonstriert. Das automatisierte Fahren mit Signalerkennung in GoA3 mit einem 20 Jahre alten Coradia Lint 41- Fahrzeug konnte auf der Strecke Northeim-Bodenfelde erfolgreich umgesetzt werden.

Individueller Schlussbericht, Teil II: Eingehende Darstellung

Verwendung der Zuwendung

Die Zuwendung der Förderung wurde im Rahmen von ARTE von Alstom Signal GmbH (ASG) genutzt, um folgende Ergebnisse zu erzielen.

- Erarbeiten einer technischen Differentialanalyse und des technischen Lastenheftes
- Realisierung und Erprobung von automatisiertem Fahren mit Signalerkennung basierend auf folgenden Komponenten:
 - Weiterentwicklung der Signalerkennungs-Lösung für deutsche Ks-Lichtsignale;
 - Entwicklung eines Gateways zwischen der Zugleitsteuerung und dem ATO (Automatic Train Operation) und RTO (Remote Train Operation);
 - Entwicklung einer Lösung für Relokalisierung mit Hilfe von virtuellen Balisen;
 - Erarbeiten einer digitalen Karte und der Input-Daten für die ATO-, Signal- und Hinderniserkennung
 - Entwicklung eines Systems für Datenerfassung, das die Ursachen-Analyse bei Fehlerfällen ermöglicht.
- Testen von automatisiertem Fahren auf der Salzgitter Teststrecke und der öffentlichen Strecke
- Konfiguration der Hinderniserkennung für die Teststrecke in Salzgitter und erfolgreiche Erprobung mit Stiermodell
- Entwicklung des fahrzeugseitigen RTO-Servers und erfolgreiche Integration mit Tablet und Konverter gemeinsam mit TUB
- Erfolgreiche RTO-Tests auf der Salzgitter Teststrecke und der öffentlichen Strecke
- Validierung, welche technischen Anforderungen aktuell umsetzbar sind
- Auswertung der Testfahrten und Entwicklung von Handlungsempfehlungen

Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises umfassen die Entwicklung und Integration der Teilsysteme. Ein wesentlicher Beitrag war davon das Arbeitspaketes von Alstom Transport SA, das die Signal- und Hinderniserkennung beinhaltet.

Basierend auf den Anwendungsfällen und dem technischen Lastenheft wurde die ARTE-Systemarchitektur definiert, die in Abbildung 1 dargestellt wird.

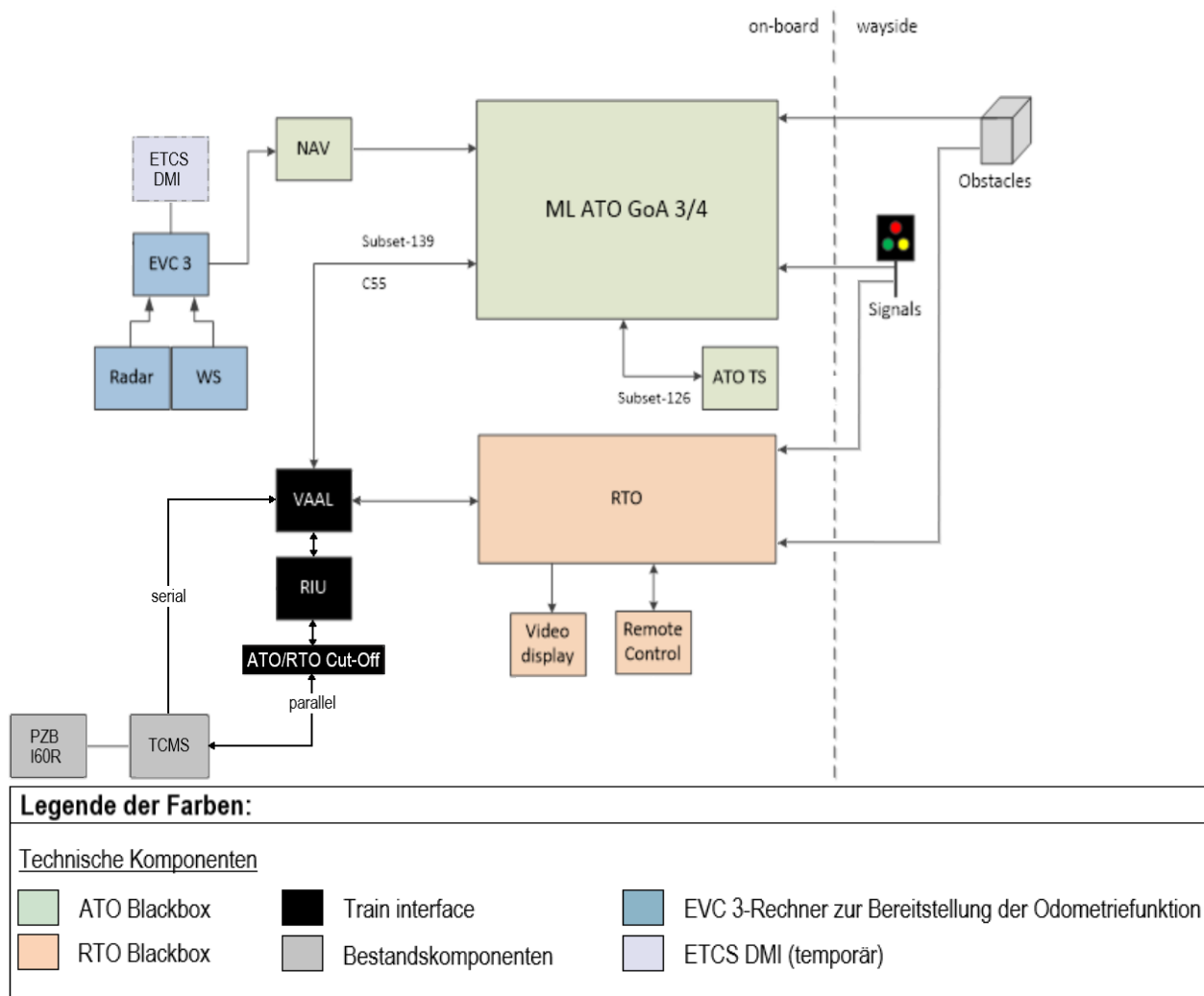


Abbildung 1: ARTE-Systemarchitektur

Die Darstellung zeigt das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten:

- In grün: ATO-Komponenten inklusive NAV für Lokalisierung
- In orange: RTO-Komponenten für die Zugfernsteuerung
- In schwarz: RIU/VAAL – das Gateway zwischen Zugleittechnik (TCMS, Train Control System) und ATO und RTO
- In grau: TCMS (Zugleittechnik) und PZB (Zugsicherung)
- In blau: ETCS-Komponenten, die für die Lokalisierung genutzt werden.

Folgende Komponenten sind die Bausteine für das gesamte ARTE-System, die den hochautomatisierten Betrieb des Zuges ermöglichen.

ATO – beinhaltet die fahrzeugseitigen Module und managet die Fahr- und Bremsfehler basierend auf dem Input von anderen Systemen wie Signalerkennung und Hinderniserkennung

- RIU/VAAL – ist ein Gateway für die Verbindung zwischen ATO und Fahrzeugleittechnik und RTO und Fahrzeugleittechnik. Über dieses System werden Fahr- und Bremsbefehle sowie Türfreigaben an die Fahrzeugleittechnik weitergeleitet.
- Signalerkennung – dieses System erkennt den Status der lichtseitigen Signalisierung gemäß einer vom fahrzeugseitigen ATO-System bereitgestellten Anforderung und übermittelt diesen Status an ATO.
- Hinderniserkennung – dieses System erkennt Hindernisse und übermittelt diese Information an ATO.
- Digitale Karte – diese verschafft dem ARTE-System Streckenkenntnis und ermöglicht mit ihren virtuellen Balisen dem auf ETCS basierendem ATO-Standard die Fahrt.
- Der fahrzeugseitige RTO-Server dient der Bereitstellung eines Videostreams und der Geschwindigkeit für RTO und dem Management der Übermittlung dieser Informationen an das Tablet; zusätzlich wird dort auch ein RTO-Konverter zur Übersetzung der durch eine App auf dem Tablet erzeugten Steuereingaben betrieben.

ASG war verantwortlich für die Abstimmung der Anforderungen der Komponenten und deren Integration. Im Arbeitsumfang von ASG war die Entwicklung der folgenden Komponenten enthalten:
Signal- und Hinderniserkennung, RIU/VAAL, Digitale Karte und fahrzeugseitiger RTO-Server.

Darüber hinaus war ASG federführend bei Laborversuchen, Testfahrten und der Auswertung der Versuchsergebnisse der RTO-Testfahrten, der ATO-Testfahrten mit Signal- und Hinderniserkennung.

Die folgende Tabelle zeigt den Abgleich der Arbeitspakete in Verantwortung von ASG und der Darstellung der Aktivitäten und Ergebnisse im gemeinsamen ARTE-Forschungsbericht.

AP / UAP Nr.	AP/UAP Titel	Kapitel Nr.	Kapitel / Unterkapitel Titel
1.4	Differenzialanalyse Technik	5.2.3	Differentialanalyse Technik – Ergebnisse
1.5	Technisches Lastenheft erstellen	5.3.1	Technisches Lastenheft
2	Teilsysteme entwickeln	6 5.4 6.2 6.6	Entwicklung der Teilsysteme Technische Systemarchitektur RIU/VAAL Input-Daten für Teilsysteme
2.2	Hinderniserkennung	6.4	Hinderniserkennung
2.3	Re-Lokalisierung auf der Strecke	6.7 6.8	Erstellen einer digitalen Karte für ARTE-Teilsysteme Virtuelle Balisen
2.4	Signalerkennung und -interpretation	6.3	Signalerkennung
2.5	Zugfernsteuerung	6.5	Remote Train Operation
3.2	Messinstrumente an Bord / auf der Strecke einbauen	6.9.2.4 9.2	Planung und Durchführung der Installation Datenerfassung und Analyse
4	ATO testen		Siehe UAPs
4.2	Versuchsdurchführung	9 12 6.5.8 13.1	Erprobung ATO Auswertung der Testergebnisse ATO RTO Testfahrten Auswertung Testfälle RTO im Lab und auf der Strecke (Technik)
4.3	Versuche mit Störfallszenarien	13.2	RTO Probandentests
6.3	Erkenntnisauswertung aus dem Versuchsbetrieb	12 13.1 13.2	Auswertung der Testergebnisse ATO Auswertung Testfälle RTO im Lab und auf der Strecke (Technik) RTO-Probandentests

Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Arbeitspakete von ASG waren zwingend nötig für die Entwicklung eines Prototypens für das automatisierte Fahren mit Signalerkennung auf einer Regionalstrecke ohne ETCS. Die Arbeit von ASG war auch eine wichtige Voraussetzung für die Forschungstätigkeiten der Partner, wie z.B. die Probandenfahrten mit RTO und die diesbezügliche Forschung im Zusammenhang mit Human Factors. Weiterhin ASG hat zu Arbeitspaketen der Partner mit ihrer spezifischen Expertise beigetragen.

Die durchgeführten Aktivitäten wurden insgesamt im Rahmen des im Forschungsvorhabens abgeschätzten Budgets umgesetzt. Eine Beschreibung der Aktivitäten und Ergebnisse finden sich im gemeinsamen ARTE-Forschungsbericht der Partner in den folgenden Kapiteln.

Darstellung in gemeinsamen ARTE Partner Forschungsbericht	
5	Konzeption des ARTE-Gesamtsystems
5.2	Differentialanalyse Betrieb und Technik
5.3	Lastenhefte
5.4	Technische Systemarchitektur
6	Entwicklung der Teilsysteme
6.2	RIU/VAAL
6.3	Signalerkennung
6.4	Hinderniserkennung
6.5	Remote Train Operation (enthält die Beschreibung der funktionalen RTO-Tests)
6.6	Input-Daten für die Teilsysteme (Data Preparation) ODS, SDS und ATO
6.7	Erstellen einer digitalen Karte für die ARTE-Teststrecken
6.8	Virtuelle Balisen
9	Erprobung ATO
9.1	Testfälle ATO - Szenarien
9.2	Datenerfassung und Analyse
12	Auswertung der Testergebnisse ATO
12.1	Testfahrt - Methodik der Analyse:
12.2	Ergebnisse der Testfahrten auf der öffentlichen Strecke
12.3	Ergebnisse der ODS-Tests auf der Salzgitter Teststrecke
15	Handlungsempfehlungen
15.1	Strategien zur schrittweisen Automatisierung im Bahnbetrieb
15.2	Zentralisierung und Automatisierung von Aufgaben
15.5	Künftige Anforderungen an die Infrastruktur
15.6	Empfehlungen hinsichtlich Europe's Rail

Voraussichtlicher Nutzen

Nutzen für die Bahnbetreiber und Endkunden

In der Bahnbranche sind derzeit verschiedene Herausforderungen zu bewältigen, für die es dringender Lösungen bedarf. Dazu zählen:

- **Wachstum bei gleichzeitigem Lokführermangel:** Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) prognostiziert ein deutliches Wachstum des Schienenverkehrs [1], u. a. durch die Verlagerung des Verkehrs auf die Schiene. Gleichzeitig kommen auf 100 offene Lokführer Stellen nur 50 Bewerber [2] und die Lage wird sich weiter verschärfen, wenn die geburtenstarken Jahrgänge in Rente gehen.
- **Kundenorientierung und Fahrgastzufriedenheit:** Die Kunden erwarten zuverlässige und pünktliche Zugverbindungen, was die Vermeidung von Zugausfällen aufgrund von Ressourcenengpässen und eine regelmäßige Taktung selbst auf weniger frequentierten Strecken beinhaltet.
- **Digitalisierung und Automatisierung:** Ziel ist es, die Effizienz und Sicherheit zu steigern. Dazu gehören die Einführung automatisierter Fahrzeugsysteme, digitalisierte Leit- und Sicherungstechnik und digitale Fahrpläne. Deutschland soll flächendeckend mit dem European Train Control System (ETCS) ausgestattet werden.

Ein wichtiger Lösungsansatz zur Bewältigung dieser Herausforderungen ist der automatisierte Bahnbetrieb.

ARTE hat gezeigt, dass automatisiertes Fahren auf eine Regionalstrecke ohne ETCS mit einem 20 Jahre alte Diesellokomotiv möglich ist und ist damit einer künftigen, kommerziellen Lösung einen wichtigen Schritt nähergekommen. ARTE bietet somit für die Bahnbetreiber einen Nutzen unter folgenden Aspekten:

- **Lösungsansatz für den Fachkräftemangel:**
Die Automatisierung adressiert den bereits bestehenden und künftig zunehmenden Mangel an qualifiziertem Zugpersonal.
- **Nutzung bestehender Infrastruktur:**
Die ARTE-Technologie ermöglicht automatisiertes Fahren auf PZB-Strecken ohne infrastrukturelle Anpassungen. Dies ist insbesondere für Nebenstrecken, Abstellanlagen und Wartungseinrichtungen von hoher Relevanz.
- **Technologie:**
Die entwickelte Lösung kann als Brückentechnologie bis zur flächendeckenden Einführung von ETCS und GoA4 dienen.

Nutzen für die Hersteller in den Bahnbranche

Erfahrungen aus ARTE können in die Entwicklung des Standards für Europe's Rail einfließen. Siehe Kapitel 15.6 des gemeinsamen ARTE-Forschungsberichts der Partner.

Nutzen für Alstom

Für Alstom stellt ARTE einen bedeutenden Innovationsschritt dar, der sowohl technologisch als auch strategisch genutzt wird:

- **Technologischer Vorsprung:**
Alstom hat durch ARTE umfassendes Know-how im Bereich automatisierten Fahren aufgebaut, insbesondere in der Signalerkennung, Hinderniserkennung, Re-lokalisierung und Fernsteuerung.
- **Verwertungsperspektive:**
Die im Projekt entwickelten Komponenten und Systeme werden fließen in die Weiterentwicklung kommerzieller Produkte ein.
- **Internationale Sichtbarkeit:**
Die Live-Demonstration vor der InnoTrans 2024 und die mediale Berichterstattung haben Alstom als Technologieführer im Bereich automatisierten Fahren positioniert.

Das ARTE-Projekt hat einen entscheidenden Beitrag dabei geleistet, die Nordsternvision von Alstom "hochautomatisiertes Fahren auf offener Strecke im GoA3/4 Modus" einen Schritt näher zu bringen.

Aus betrieblicher Sicht erscheint der GoA3/4 Betrieb auch ohne streckenseitige Aufrüstung mit moderner Signaltechnik durchaus vorteilhaft zu sein. Die Lösung, welche bei ARTE aufgezeigt wurde, wird vor dem Hintergrund des langwierigen Umrüstungsplans der Infrastruktur auf absehbare Zeit eine zwingende Alternative zu hochautomatisiertem Fahren über ETCS sein. Für Nebenstrecken, aber auch für Abstellanlagen und Wartungseinrichtungen steht derzeit nicht Aussicht, diese vollumfänglich mit moderner Leittechnik auszurüsten. Es ist also unabdingbar, eine Brückentechnologie mit Hindernis- und Signalerkennung ohne moderne Leittechnik weiter voranzutreiben und zur Zulassungsreife zu bringen.

Alstom sieht dabei eine schrittweise Annäherung als wahrscheinlichstes Szenario. So müssen zunächst die Basisanforderungen erfüllt werden und die Rückfallebene "Ferngesteuertes Fahren" sichergestellt werden. Derzeit steht das Zieldatum 2032 im Raum, die TSI für GoA3/4 im Vollbahnbetrieb zu veröffentlichen.

Alstom arbeitet aktiv an Projekten, diese Basisanforderungen zeitnah in den Betrieb zu bringen. Erste Analysen zeigen, dass bereits die Vorstufen von GoA3/4, also automatische Zugvorbereitung, ferngesteuertes Fahren und automatische Zugbewegungen im Depot und in Abstellanlagen einen positiven wirtschaftlichen Nutzen mit sich bringen. Die Erprobung dieser Entwicklungsschritte muss also in einer nächsten Phase sichergestellt werden. Dabei liegt der Fokus klar auf der Umrüstung bestehender Fahrzeugflotten.

Alstom arbeitet an der Entwicklung der gesamten Bandbreite und Automatisierungslösungen und intensiviert auch dank der vielversprechenden Ergebnisse des Projekts ARTE seine Bemühungen, diese Lösungen schnellstmöglich zur Marktreife zu bringen. Vorteilhaft sind in diesem Stadium Entwicklungspartnerschaften mit Bahn- und Infrastrukturbetreibern, so dass die entwickelten Lösungen direkt im Betrieb getestet werden können. Erkenntnisse und Ergebnisse von ARTE werden in diese künftigen Lösungen einfließen.

In Bezug auf die bei ARTE genutzten Lösungsbausteine bedeutet das:

- Die ATO (Automatic Train Operation)-Lösung, die im Rahmen von ARTE entwickelt wurde, wird eine Basis für künftige Lösungen für Alstom Kunden sein.
- Alstom S.A. hat im Rahmen von ARTE an einer Signalerkennungslösung weitergearbeitet, die zulassungsfähig sein wird. Parallel hat sie an einem Branch (Abzweig) einer Lösung zur Signalerkennung für deutsche Signale im Rahmen von ARTE gearbeitet. Erkenntnisse von ARTE werden in die künftige, zulassungsfähige Lösung einfließen.

Nutzen für Alstom Signal GmbH

Im Rahmen des Forschungsprojekts konnte Alstom Signal GmbH wertvolle Erkenntnisse im Bereich der automatisierten Zugsteuerung und der Fernsteuerung von Zügen (RTO) gewinnen. Der Wissensaufbau beinhaltet folgende Aspekte:

- Erstellung eines Lastenhefts für automatisiertes Zugfahren und RTO,
- Analyse und Anwendung relevanter Standards,
- Entwicklung einer technischen Systemarchitektur sowie Spezifikationen für die einzelnen Teilkomponenten,
- Entwicklung eines Gateways für die Verbindung zwischen ATO und Fahrzeugleittechnik und RTO und Fahrzeugleittechnik,
- Entwicklung einer digitalen Karte,
- Integration und Erprobung der Gesamtlösung.

Darüber hinaus wurde die unternehmensinterne Vernetzung mit relevanten Stakeholdern geschaffen, um die Voraussetzungen für die Umsetzung solcher Lösungen zu schaffen. Das im Projekt aufgebaute Know-how wird künftig in Kundenprojekten eingesetzt. Die am Projekt ARTE beteiligten Mitarbeitenden werden dabei entweder direkt oder in beratender Funktion in entsprechende Vorhaben eingebunden.

Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Im Rahmen des Projekts ARTE wurde erstmals ein Regionalzug auf dem öffentlichen Schienennetz in Deutschland automatisiert betrieben. Dafür wurde ein 20-jähriger Dieselzug umgerüstet. Das Versuchsfahrzeug verkehrte dabei erfolgreich in den fahrplanmäßigen Taktlücken des regulären Zugbetriebs. Nach Kenntnisstand des Projektteams ist es während der Laufzeit von ARTE keinem anderen Vorhaben gelungen, einen vergleichbaren automatisierten Betrieb unter realen Bedingungen auf dem öffentlichen Netz durchzuführen.

Eine umfassende Darstellung des zu Projektbeginn bestehenden Stands von Wissenschaft und Technik findet sich im Abschlussbericht des Projekts ARTE in Kapitel 4. Diese Darstellung hatte auch zum Zeitpunkt des Projektabschlusses weiterhin Gültigkeit.

Erfolgte oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr.11.

Die Liste der Veröffentlichungen aller Partner bezogen auf das Projekt ARTE findet sich im gemeinsamen ARTE-Abschlussbericht in den Anlagen. Die in der Übersicht genannten Autoren Tobias Bekehrmes und Bettina Kapp sind Mitarbeiter von ASG. Eine letzte gemeinsame Veröffentlichung der Partner zum Thema « Erprobung von ATO GoA3/4 und RTO auf einer Strecke ohne ETCS » ist in Signal + Draht für Oktober 2025 geplant.

Literaturverzeichnis:

- [1] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, „Masterplan Schienenverkehr,“ Berlin, 2020.
- [2] „Lokführermangel: Warum Triebfahrzeugführer so stark nachgefragt sind – Zahlen und Fakten | Norddeutsche Eisenbahnfachschule,“ 04 04 2025. [Online]. Available: <https://www.meinezugunft.de/fachkraeftemangel-im-eisenbahn-sektor/>.