



Kapazität und Nachhaltigkeit

ATO als Zukunftstechnologie im Schienenverkehr

Dr.-Ing. Ireneus Suwalski, Programmleiter ATO@ML, und **Franziska Regin**, Systemmanagerin ATO over ETCS, beide Siemens Mobility GmbH, Berlin



Das Thema nachhaltige Mobilität und der Ausbau des öffentlichen Verkehrsnetzes wird in der Politik sowie in der Bevölkerung aktuell intensiv diskutiert. Ein akuter Handlungsbedarf wird neben dem im Dezember 2021 veröffentlichten Aktionsplan der Europäischen Kommission auch durch den Koalitionsvertrag der neuen Bundesregierung verdeutlicht.^{[1], [2]} Dieser sieht eine Verdopplung des Passagierverkehrs auf der Schiene bis 2030 und die Erhöhung des Schienengüterverkehrsanteils auf 25 Prozent vor. Bezogen auf den Personenverkehr soll laut Europäischer Kommission unter anderem eine effizientere Nutzung der bestehenden Infrastruktur, der Ausbau der Digitalisierung sowie im Allgemeinen die Steigerung der Attraktivität des nachhaltigen Angebots für den Personenverkehr gefördert werden.

Aus technischer Sicht könnte der Ausbau des automatisierten Fahrbetriebs durch die Kombination von ATO (Automatic Train Operation) und ETCS (European Train Control System) maßgeblich zur Erreichung dieser politischen Ziele beitragen. Diese Kombination wird als AoE (ATO over ETCS) bezeichnet und bietet gegenüber derzeitigen Lösungen diverse Vorteile, wie eine bessere Ausschöpfung der Kapazitäten und ein gesenkter Energieverbrauch. Der mögliche Nutzen hängt hierbei von den individuellen Randbedingungen und Zielen der Anwendung ab.

Die Bezeichnung „ATO“ ist im Kontext der Automatisierung von Vollbahnen vorwiegend auf den Automatisierungsgrad 2 (engl. Grade of Automation, GoA 2) bezogen. Dies beschreibt, anders als im Metroumfeld, in der Regel zunächst einen halbautomatisierten Fahrbetrieb unter Einbindung eines technischen Systems zur Automatisierung der Geschwindigkeitsregelung und unterstützt das Türmanagement entsprechend dem Fahrplan in Ergänzung zu einer bestehenden Zugsicherung. Der ATO übernimmt nach Anforderung durch den/die Triebfahrzeugführer*in (Tf) die Geschwindigkeitsregelung des Zuges bis zum nächsten Zielpunkt. Der/die Tf ist dabei stets für die Überwachung verantwortlich und kann jederzeit eingreifen.

Im Metroumfeld sind aufgrund der für die Automatisierung günstigeren Bedingungen, wie einem geschlossenen und abgegrenzten Umfeld, einer einheitlichen Fahrzeugflotte und kürzeren Fahrzeiten, bereits seit mehreren Jahrzehnten höhere Automatisierungsgrade realisiert. Beispielhaft kann hier die vollautomatische U-Bahn in Nürnberg genannt werden.

Im Vollbahnbereich hingegen ist aktuell weitestgehend der manuelle Zugbetrieb mit unterstützenden Systemen vorzufinden. Für höhere Automatisierungsgrade sind hier eine Spezifizierung und erste Pilotprojekte erforderlich. Einige Teilfunktionen sind bereits erfolgreich im Feld getestet worden, wie unter anderem die fahrerlose Kehre im Rahmen der Digitalen S-Bahn Hamburg.

Für das halbautomatische Fahren (entsprechend GoA2) ist die Spezifikation bereits europaweit nahezu abgeschlossen und wird mit der TSI 2022 (Technische Spezifikationen für die Interoperabilität) veröffentlicht.

Die Automatisierungsgrade werden in der IEC 62290-1 für den schienengebundenen städtischen Verkehr (zum Beispiel Metro) definiert. Darin werden fünf Automatisierungsgrade unterschieden, welche die Beteiligung von Zugpersonal an den Funktionen des Fahrbetriebs beschreiben. Die Definition kann für den Vollbahnbereich Anwendung finden, müsste aber für einige Funktionen konkretisiert werden:

- GoA 0: Zugbetrieb ohne jedes Automatic Train Protection-System (ATP) bei dem die volle Verantwortung bei den Tf liegt

- GoA 1 (nicht automatisiert): manueller Zugbetrieb mit einem ATP-System, optional unterstützt ein Fahrassistenzsystem (Driver Advisory System, DAS) die Tf durch Hinweise für einen energieeffizienteren und pünktlicheren Betrieb
- GoA 2 (halbautomatisch): halbautomatischer Zugbetrieb, auf Anforderung der Tf fährt der Zug automatisch zum nächsten Ziel, wobei der Fahrplan und die von der ATP vorgegebenen Geschwindigkeitsbeschränkungen stets eingehalten werden. Tf ist an Bord, kann bei Bedarf eingreifen und hat die Aufgabe der Überwachung
- GoA 3 (fahrerloser Betrieb): Der Zug fährt automatisch; ein/e Zugbegleiter*in ist an Bord, um in Notfallsituationen einzugreifen und gegebenenfalls die Zugabfertigung durchzuführen
- GoA 4 (unbegleiteter Zugbetrieb): vollautomatischer und unbegleiteter Zugbetrieb

Systemarchitektur

Das System ATO over ETCS setzt sich aus zwei wesentlichen Systemen zusammen:

- dem automatischen Zugsicherungssystem ETCS und
- dem ATO-System zur teilweisen Automatisierung des Fahrbetriebs.

Ein detaillierterer Blick auf das ATO-System offenbart die beiden zugehörigen Bestandteile: eine ATO-Fahrzeugeinheit (ATO-OB) zur Regelung der Geschwindigkeit entsprechend dem kalkulierten Geschwindigkeitsprofil und dem streckenseitigen Anteil der ATO (ATO-TS) zur Versorgung der fahrzeugseitigen ATO sowohl mit statischen Streckendaten als auch aktuellen Fahrplaninformationen und dynamischen Streckendaten (Schnittstelle SS-126).

Mit der TSI 2022 werden die standardisierten Schnittstellen für das AoE-System festgelegt. Neben der für die Interoperabilität entscheidenden Schnittstelle SS-126 zwischen der fahrzeugseitigen und streckenseitigen ATO-Komponente, werden auch die Schnittstelle zwischen ATO-OB und ETCS-OB und die Schnittstelle SS-139 zum Fahrzeug definiert, um die Austauschbarkeit der Komponenten zu gewährleisten.

Über die Anbindung an das ETCS-Fahrzeuggerät durch das SS-130 wird die ATO-OB mit Informationen zur ETCS-Überwachung, Odometrie und Ortungsinformationen versorgt. Für den automatischen Betrieb eines ATO-Systems ist stets eine Vollüberwachung durch das ETCS-System erforderlich. Die ATO optimiert hierbei die Geschwindigkeitsprofile einer Fahrt, während ETCS die Sicherheit gewährleistet.

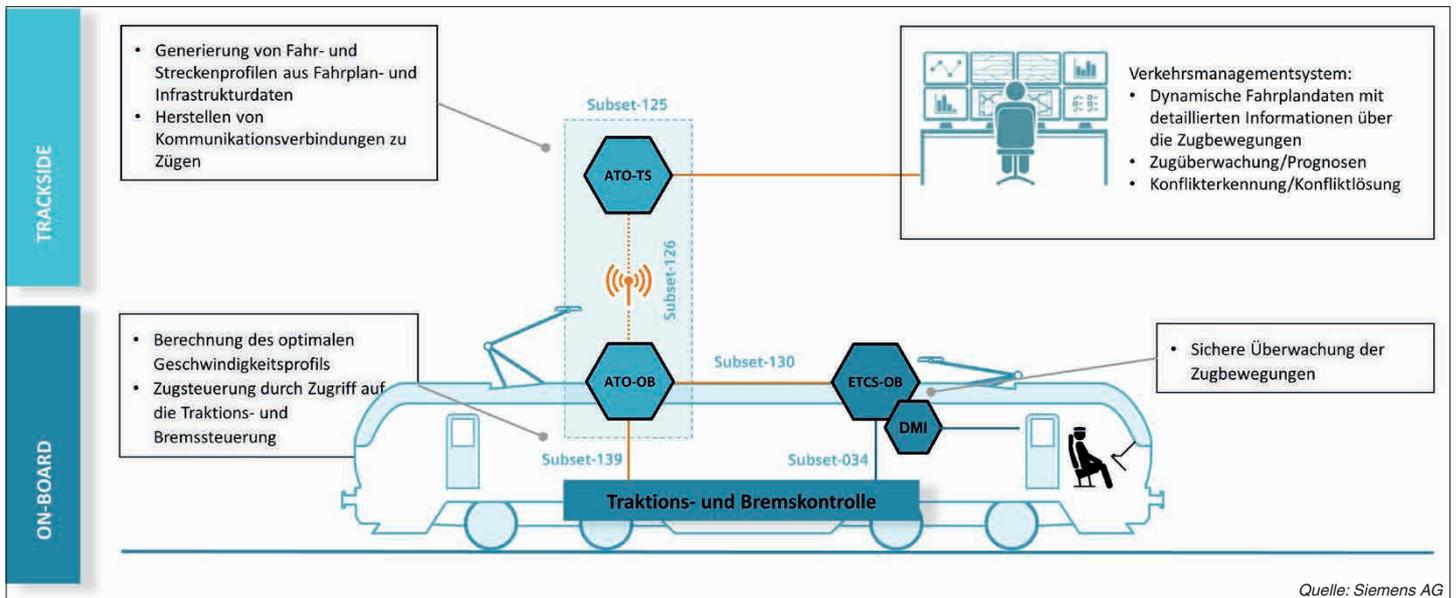


Abbildung 1: Referenzarchitektur von ATO over ETCS

Zusätzlich wird durch das SS-139 eine für Neufahrzeuge standardisierte Schnittstelle zum Fahrzeug zum Einsatz kommen, welche die für die ATO-relevanten Fahrzeuginformationen bereitstellt, Statusinformationen austauscht und der ATO-OB eine Ausgabe von Traktions- und Bremsstellwerten ermöglicht.

Die Abbildung 1 stellt die grundlegende Architektur dar und beschreibt wesentliche Aufgaben der jeweiligen Systeme.

Funktionalität

Nach Erhalt der Zugdaten vom ETCS-Fahrzeuggerät fordert das ATO-Fahrzeuggerät mit Hilfe der Zugnummer relevante, standardisierte Fahrplan- und Streckeninformationen (Journey Profile, JP und Segment Profile, SP) bei der ATO-Streckeneinheit an. Ist die Datenversorgung erfolgt und liegen die Bedingungen für den ATO-Betrieb vor (zum Beispiel ETCS Vollüberwachung und fahrzeugeitige Kriterien), bietet die ATO-OB den Tf die Übernahme an.

Sobald der/die Tf die ATO-OB über einen Button aktiviert, übernimmt diese die Regelung und steuert das Anfahren, Beschleunigen, Fahren, Ausrollen, Abbremsen und Anhalten des Zuges über das Traktionsystem und die Bremsen des Fahrzeuges.

Die Geschwindigkeit wird durch die ATO-OB bis zum nächsten Zielpunkt so geregelt, dass Fahrplaneinschränkungen eingehalten, die verbrauchte Traktionsenergie optimiert und die ETCS-Beschränkungen berücksichtigt werden. Dabei besteht stets ein Austausch zum Betriebsleitsystem (Traffic Management System, TMS) über die ATO-Streckeneinheit, sodass auf die aktuelle Betriebslage zum Beispiel

durch eine aktualisierte Zeitvorgabe eingegangen werden kann.

Der vorgegebene Zielpunkt (zum Beispiel Halteplatz am Bahnsteig) wird durch die ATO-OB zielgenau angefahren. Ergänzend dazu ist es einerseits durch die Zentrale, als auch durch die Tf möglich, auf aktuelles Betriebsgeschehen einzugehen, indem zum Beispiel Halte ausgelassen, die Haltezeit verlängert oder Halte eingefügt werden können.

Am Stationshalt angekommen, unterstützt die ATO das Türmanagement, entweder ausschließlich durch Anzeigen oder ergänzend dazu auch durch Bereitstellung der Informationen zur Türsteuerungsstrategie an das Fahrzeug.

Alle relevanten Informationen bezüglich der ATO-Fahrt werden über die ATO-TS ans TMS gemeldet, sodass eine zentrale, streckenseitige Bewertung des Geschehens erfolgen kann. So können beispielsweise Fahrzeuge auf Bereiche mit verringerten Reibwerten hingewiesen werden, in denen die ATO entsprechend das Fahrverhalten anpassen soll. Ein vereinfachter Ablauf einer ATO-Fahrt ist in Abbildung 2 dargestellt.

Vorteile

AoE kann maßgeblich zur Erreichung einer nachhaltigen Mobilität beitragen. Bessere Ausnutzung der Infrastruktur, erhöhter Fahrgastkomfort und Energieeinsparungen sind nur einige der Aspekte, zu denen der ATO einen Beitrag liefern kann. Abbildung 3, S. 26 zeigt im Überblick die wichtigsten Vorteile eines AoE-Systems. Dabei gilt jedoch stets zu beachten, dass die im Zusammenhang mit ATO genannten Vorteile

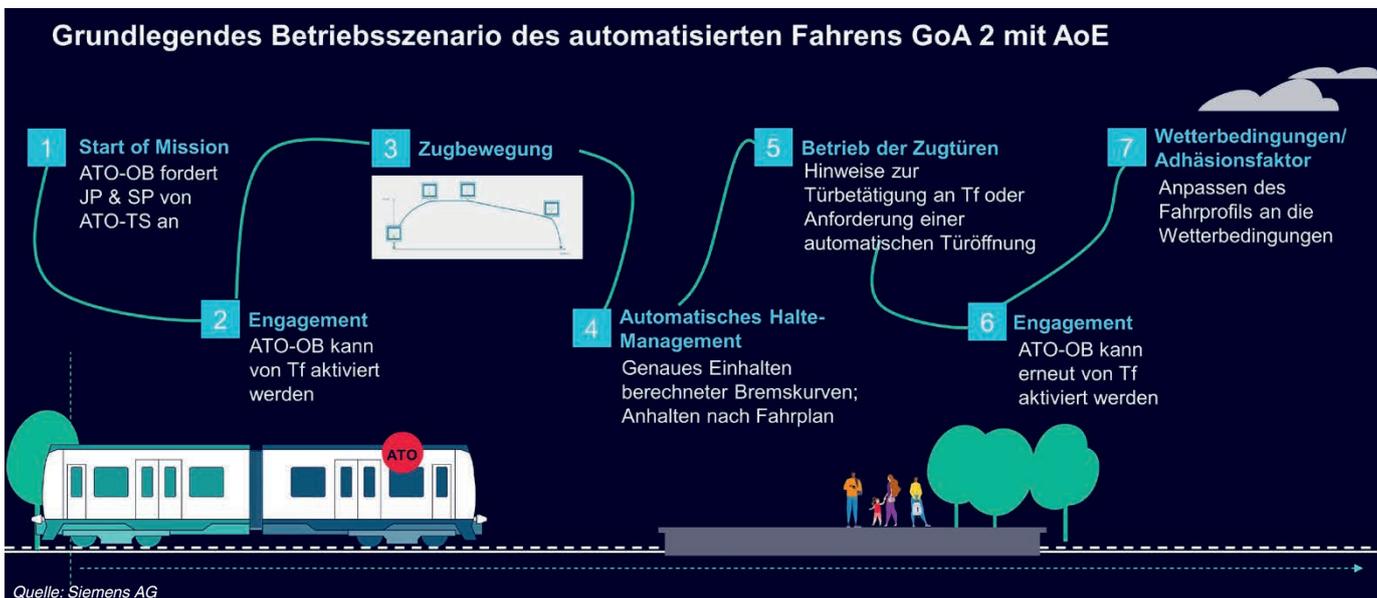


Abbildung 2:
Vereinfachter Ablauf
einer ATO-Fahrt

sich auch im Ansatz entgegenstehen können und der Nutzen der ATO nicht ausschließlich an einer Stelle anfällt. Für ein Gesamtsystem AoE wird der Nutzen bei unterschiedlichen Stakeholdern anfallen. Dies betrifft neben den Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU), den Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) und den Fahrgästen zum Beispiel auch die Politik oder Gesellschaft.

Energieeffizienz

Die optimierte und vorausschauende Fahrweise des ATO durch die Vermeidung unnötiger Halte, die Reduzierung der Bremsvorgänge oder optimales Ausnutzen von Ausrollen ermöglicht ein erhebliches Energieeinsparpotenzial. Erste Erfahrungen deuten auf eine Reduzierung des Energieverbrauchs von bis zu 37 Prozent hin.^[4] Das zu erreichende Potenzial ist hierbei jedoch von einer Vielzahl weiterer Faktoren abhängig. Hierzu zählen neben dem konkreten Streckenlayout auch die eingesetzten Fahrzeuge und die Fahrzeitreserven im Fahrplan, um nur einige zu nennen. Durch die reduzierten Energiekosten kann ein EVU jedoch signifikante Einsparungen erzielen.

Erhöhung der Kapazität

Für EIU und auch die Politik steht die bessere Ausnutzung vorhandener Infrastruktur im Fokus. Hierzu bietet ATO in Ergänzung zu ETCS neben der Verkürzung der Zugfolgeabschnitte oder ETCS Level 3 eine sinnvolle Ergänzung. Durch die Fahrweise im ATO kann der Zugfolgeabstand um bis zu 30 Prozent verringert werden,^[4] dies wird durch schnelleres Räumen eines Zugfolgeabschnittes ermöglicht. Die ATO kann aufgrund ihres deterministischen Verhaltens einen späteren Bremsenstartpunkt als die Tf wählen und damit näher an die ETCS-Bremskurve (Emergency Brake Deceleration, EBD) fahren.

Fahrplanstabilität

Der ATO ermöglicht ein reproduzierbares Fahrverhalten, welches dem optimalen Geschwindigkeitsprofil entspricht und somit für eine verbesserte Fahrplanstabilität und Pünktlichkeit sorgt.

Haltegenauigkeit

Aufgrund von steigenden Passagierzahlen und begrenzten Bahnsteiglängen kann insbesondere im Nahverkehrs- beziehungsweise S-Bahnbetrieb die Haltegenauigkeit beziehungsweise das Fahrgastmanagement an einer Station bei Vollbahnen von Bedeutung sein. Die ATO kann hier abseits der Ziele in der TSI sehr hohe Haltegenauigkeiten von bis zu +/- 30 Zentimeter erreichen. Eine Abhängigkeit von Größen wie dem Bremsverhalten, der Verzögerung der eingesetzten Fahrzeuge oder Umwelteinflüssen wie Regen, Laub, Schnee müssen hierbei genauso berücksichtigt werden, wie die bei sehr hohen Haltegenauigkeiten erforderlichen Anforderungen an die Qualität der Streckendaten und gegebenenfalls die Projektierung von Balisen. Die konkreten Anforderungen bezüglich der Haltegenauigkeit sollten daher auf die Bedürfnisse einer Strecke hin abgewogen werden.

Fahrgastkomfort

Zu den weniger messbaren Vorteilen gehört der erhöhte Fahrgastkomfort durch sanftes und gleichmäßiges Fahren. Eine Optimierung bezüglich der Beschleunigungs- beziehungsweise Bremsvorgaben des ATO sollte auch im Hinblick auf die angestrebte Kapazitätserhöhung erfolgen.

Reduktion von Verschleiß und Lärm

Durch die Verringerung der mechanischen Beanspruchung und eine optimierte Fahrweise mit weniger Bremsvorgängen können Verschleiß und



Abbildung 3:
Vorteile von ATO
over ETCS

Lärm reduziert werden. Abgeleitet aus den zuvor beschriebenen Argumenten zur Fahrplanstabilität und der Infrastrukturausnutzung kann man dem ATO auch einen Beitrag zur verbesserten Leistung des Netzbetriebs zuschreiben. Hierbei übernimmt der ATO eine ausführende Rolle der in der Leitzentrale durch das TMS oder die Disponent*innen netzweioptimierten Fahrplanvorgaben.

Beispiele aus der Praxis

Die praktische Anwendbarkeit von ATO GoA2 wurde im Rahmen von Pilotanwendungen und den ersten kommerziellen Projekten bereits nachgewiesen. Siemens Mobility prägt die Einführung des hochautomatisierten Fahrens entscheidend und hat bereits zwei kommerzielle Projekte erfolgreich abgeschlossen.

Kommerzielle Projekte

Im Jahr 2018 wurde mit dem Thameslink-Programm die weltweit erste kommerzielle AoE-Anwendung im Fernverkehr in Betrieb genommen. Die Kapazität für die Londoner Nord-Süd-Verbindung konnte mit 22 Zügen pro Stunde im Dezember 2020 erhöht werden, als Fahrplanänderungen in Kraft traten. Letztendlich sind bis zu 24 Züge pro Stunde in der finalen Ausbaustufe möglich. In diesem Projekt wurden 115 Siemens-Fahrzeuge der Class 700 mit der eigens entwickelten voll integrierten ETCS und ATO ausgerüstet und in Betrieb genommen.^[5] Im Vordergrund stand dabei die Erhöhung der Linienkapazität.

Ein weiteres Beispiel ist die im Juli 2018 mit der Hansestadt Hamburg, der Deutschen Bahn und Siemens Mobility eingegangene Partnerschaft „Digitale S-Bahn Hamburg“. Ziel des Pilotprojekts aus der Bahnsektorinitiative „Digitale Schiene Deutschland“ ist die erstmalige Einführung des hochautomatisierten Fahrens im deutschen Schienenverkehr auf Basis des neuen

europäischen AoE-Standards sowie einer vollautomatisierten, fahrerlosen Rangierfahrt.

Die Projektpartner haben in einer gemeinsamen Projektorganisation sehr eng zusammengearbeitet. Dazu wurden ein 23 Kilometer langer Streckenabschnitt der S-Bahn Hamburg sowie 4 Fahrzeuge mit der erforderlichen Technik ausgerüstet. Im Juni 2021 wurde dieses Projekt bereits als herausragendes Beispiel für effiziente und nachhaltige Mobilitätslösungen mit dem Deutschen Mobilitätspreis in der Kategorie „Best Practice“ ausgezeichnet. Die erste offizielle Demonstration von DB und Siemens auf der Pilotstrecke fand im Rahmen des ITS-Weltkongress im Oktober 2021 statt.^[3]

Pilotprojekte

Neben den kommerziellen Projekten wurden zahlreiche Pilotanwendungen mit der Beteiligung von Siemens Mobility erfolgreich in aufwendigen Feldversuchen getestet: Im September 2019 wurde ATO GoA2 im schweizer Fernverkehr gemäß S2R/UNISIG Standards (SS126, SS130, SS139) in einem Innovationsprojekt zusammen mit den SBB (Schweizerische Bundesbahnen) erfolgreich umgesetzt.^[6] Als technische Grundlage für die Umsetzung des Piloten wurde die AoE-Referenzarchitektur für GoA2 angewandt (siehe oben).

Die GoA2-Testfahrten fanden auf der mit ETCS ausgerüsteten, 30 Kilometer langen S-Bahn-Strecke Lausanne–Villeneuve mit 13 Haltestellen statt. Das Testfahrzeug stammte aus der Reihe FLIRT RABe 523 Vaudois. Für die notwendige Test-Zulassung beim Bundesamt für Verkehr (BAV) wurden neben dem Systemänderungsbericht für die ETCS-Software auch ein Bedienkonzept, ein Umrüstungs- und ein Testkonzept für das Fahrzeug erstellt. Die positiven Ergebnisse und die Bewertung der untersuchten nutzbringenden Faktoren können dem SBB-Report entnommen werden.^[4]

Ein nächster Meilenstein in der Erprobung des automatisierten Fahrbetriebs wurde unter der Leitung von DB Cargo mit dem „Automated Rail Cargo Consortium“ sowie dem S2R-Arbeitspaket des X2Rail-3 Konsortiums im Piloten für den Schienengüterverkehr erreicht. Zum ersten Mal in der Geschichte der europäischen Schiene wurden die Feldversuche eines automatisierten Güterzuges unter ETCS im offenen Netz in der Schweiz erfolgreich durchgeführt.

DB Cargo und Siemens Mobility gelang es, vier verschiedene ATO-Systeme auf der Streckenlok BR 185 mit Siemens-ETCS erfolgreich zu integrieren und zu testen. Neben dem sicheren automatisierten Zugbetrieb auf einer Fernverkehrsstrecke war die dynamische Steuerung des kompletten Güterzugs bei sehr niedriger Geschwindigkeit zur Simulation des Zugladebetriebs ein funktionales Highlight. Durch die Optimierung der innovativen Algorithmen während der laufenden Feldphase und einer engen sowie vertrauensvollen Kommunikation über die Unternehmensgrenzen hinweg konnte das Projekt in Abstimmung mit der DB Cargo Schweiz als durchführendem EVU sowie der SBB-Infrastruktur entwickelt und umgesetzt werden.

Das Ziel der Erprobung, die betriebliche Funktionalität des automatisierten Fahrens unter realen Bedingungen bei voller Last und Länge unter Beweis zu stellen, wurde erreicht, obwohl gleichzeitig weitere Optimierungsmöglichkeiten der komplexen Steueralgorithmen aufgrund der unterschiedlichen Zuglängen oder verschiedenen Beladungszuständen offenbart wurden. In diesem Projekt standen im Vordergrund die Interoperabilität der ATO sowie die Regelungsalgorithmen, die wiederum einen entscheidenden Einfluss auf den Energieverbrauch haben.

Fazit

Ein ATO ist als sinnvolle Ergänzung zu ETCS und einem intelligenten TMS zu sehen und kann für alle Beteiligten eine Vielzahl an Mehrwert bringen, welcher bezogen auf die Anwendung unterschiedlich stark ausgeprägt sein kann.

Eine für den Kunden angepasste Strategie, sowohl für die technische Umsetzung als auch für die Nutzung der ATO-Vorteile im Hinblick auf den positiven Business Case ist Teil des Angebots von Siemens Mobility und beschreibt einen Weg hin zu einem vollständigen, gewinnbringenden und standardisierten automatisierten Bahnbetrieb.

Siemens Mobility bietet bereits heute mehrere angepasste Strategien und kann einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der Kundenziele leisten. Dabei steht die am besten geeignete und interoperable ATO vor ETCS-Lösung basierend auf der TSI 2022 zur Reduzierung von Betriebsausgaben (Operational Expenditures, OPEX) beim Kunden im Vordergrund. ■

Literatur

- [1] Europäische Kommission: „Aktionsplan zur Stärkung des Schienenpersonenverkehrs auf Fern- und grenzüberschreitenden Strecken“, online unter: <https://transport.ec.europa.eu/news/action-plan-boost-passenger-rail-2021-12-14>
- [2] Koalitionsvertrag zwischen SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP 2021-2025: „Mehr Fortschritt wagen – Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit“, online unter: www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1990812/04/221173eef9a6720059cc353d759a2b/2021-12-10-koav2021-data.pdf?download=1
- [3] Schröder, J; Alpoim, C.; Dickgießer, B.; Dr. Knollman, V: „Digitale S-Bahn Hamburg - Erstmalige Realisierung von „ATO over ETCS“ in Deutschland“, SIGNAL+DRAHT, 2021, Heft 7.
- [4] SBB Smartrail 4.0 program, ATO2Basic Phase 2 Final Report, online unter: www.smartrail40.ch/index.asp?inc=downloads_search.asp
- [5] Presseinformationen Siemens: „Großprojekt Thameslink: Züge von Siemens nehmen in London Betrieb auf“, online unter: <https://press.siemens.com/global/de/feature/grossprojekt-thameslink-zuege-von-siemens-nehmen-london-den-betrieb-auf>
- [6] Suwalski, I.; Wünsche, H.: „ATO over ETCS als Schlüssel für mehr Effizienz, Kapazität und Nachhaltigkeit“, SIGNAL+DRAHT, 2021, Heft 9.

Weitere Informationen online unter:

www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/rail/automation/automatic-train-control/ato-over-etcs.html

Lesen Sie auch

Betriebsarten bei Schienenbahnen

Deine Bahn 10/2019

Digitalisierter Bahnbetrieb bei der Hamburger S-Bahn

Deine Bahn 6/2019

Vollautomatisches Fahren: Vom Baustein zum System

Deine Bahn 10/2017

Betriebliche Randbedingungen für autonomes Fahren auf der Schiene

Deine Bahn 9/2017