

Digitale S-Bahn Hamburg

Erstmalige Streckenausrüstung von ATO over ETCS in Deutschland

JAN SCHRÖDER | CHRISTOPH GONÇALVES
ALPOIM | BORIS DICKGIESSER | MARKUS TALG

Mit dem Projekt Digitale S-Bahn Hamburg wird erstmalig in Deutschland der digitalisierte Eisenbahnbetrieb mit Fahrgästen realisiert. Wesentliche Ziele des Projekts sind die Konzeption und Realisierung des hochautomatisierten Fahrens auf einem 23 km langen Streckenabschnitt der S-Bahn Hamburg sowie einer vollautomatisierten, fahrerlosen Bereitstellung in der Station Bergedorf. Es ist ein Pilotprojekt der sektorweiten Initiative „Digitale Schiene Deutschland“ zur erstmaligen Einführung des automatisierten Fahrens im deutschen Schienenverkehr. Die Ergebnisse dienen als Blaupause für weiterführende Digitalisierungsprojekte. Zum ITS (Intelligent Transport System) Weltkongress im Oktober 2021 werden Deutsche Bahn AG (DB) und Siemens Mobility den automatisierten Fahrgastbetrieb auf der Pilotstrecke erstmalig der Weltöffentlichkeit demonstrieren.

Einleitung

Hamburg wächst kontinuierlich und erlebt eine steigende Mobilitätsnachfrage. Diese Nachfrage soll klimafreundlich u.a. mit der Schiene und im konkreten Fall mit der S-Bahn Hamburg bedient werden. Die Stadt Hamburg plant hierfür die Einführung des Hamburg Taktes und die Erweiterung des Angebots auf acht S-Bahn-Linien um die neuen S-Bahn-Linien S32 und S4. Die S-Bahn Hamburg rechnet insgesamt mit einem überdurchschnittlichen Wachstum an Fahrgästen von bis zu 50 %. Damit stößt das Kernnetz an seine Kapazitätsgrenze.

Für ein weiterhin sicheres, zuverlässiges und pünktliches S-Bahn-System sind umfangreiche Investitionen zur Kapazitätserhöhung unvermeidlich. Im Vergleich zum Neubau von Gleisen stellt die Digitalisierung des Bahnbetriebs eine attraktive Alternative dar, insbesondere hinsichtlich Zeit und Investitionsbedarf.

Die S-Bahn Hamburg ist dabei Vorreiter für die umfassende Digitalisierung des Bahnbetriebs in Deutschland. Hierzu haben sich

die Freie und Hansestadt Hamburg, DB und Siemens Mobility auf eine Forschungs- und Entwicklungskooperation verständigt, einen hoch- und vollautomatisierten Bahnbetrieb zum ITS-Weltkongress im Oktober 2021 auf 23 km Strecke erstmals in Deutschland zu realisieren.

ETCS und ATO – Hochautomatisierte Fahrt und vollautomatisierte Bereitstellung

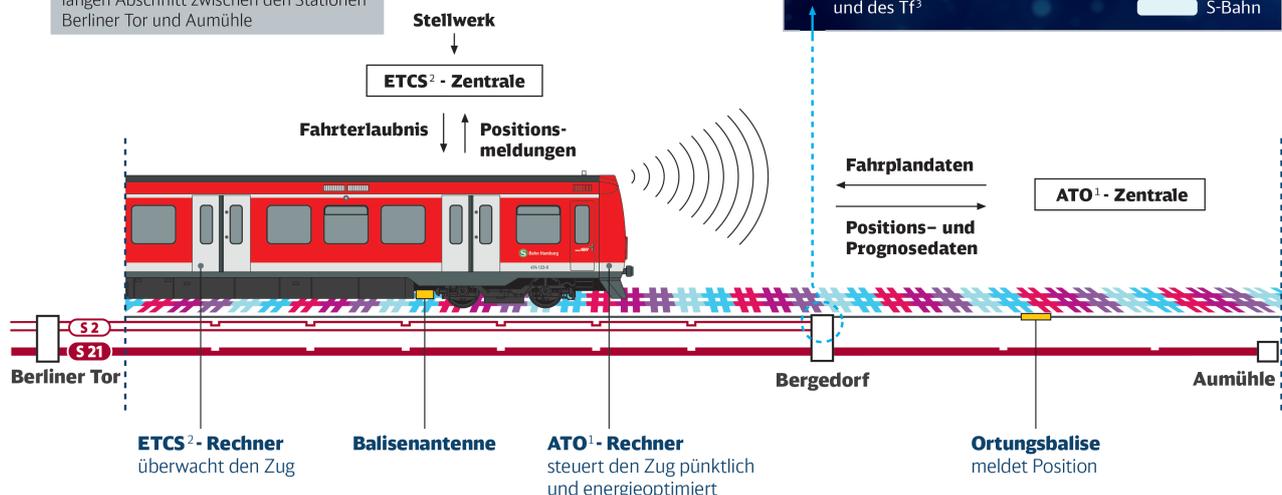
Im Rahmen des Projekts Digitale S-Bahn Hamburg sollen zwei Hauptanwendungen des Bahnbetriebs mit vier Fahrzeugen der Baureihe 474 der S-Bahn Hamburg vorgestellt werden (Abb. 1):

1. Die hochautomatisierte Fahrt
 2. Die vollautomatisierte Bereitstellung
- Bei der hochautomatisierten Fahrt verkehrt der Zug angelehnt an den Automatisierungsgrad GoA 2 mit Fahrgästen und Triebfahrzeugführer auf der 23 km langen Strecke zwischen den Stationen Berliner Tor und Aumühle im Grunde vollautomatisch. Der Triebfahrzeugführer muss nur noch eingreifen, wenn Störungen auftreten.

S-Bahn Hamburg rollt digitalisiert

Pilotprojekt für die "Digitale Schiene Deutschland": Ab 2021 rollen auf einem Abschnitt der Hamburger S-Bahn vier Triebzüge hochautomatisiert in ATO¹ over ETCS²-Technologie (1) und werden in der Station Bergedorf vollautomatisch bereitgestellt (2).

- 1 Hochautomatisierte Fahrt mit Fahrgästen und Tf³ auf einem 23 Kilometer langen Abschnitt zwischen den Stationen Berliner Tor und Aumühle



¹ATO - Automatic Train Operation ²ETCS - European Train Control System ³Tf - Triebfahrzeugführer

Abb. 1: Infografik Projekt Digitale S-Bahn Hamburg

Quelle: Deutsche Bahn

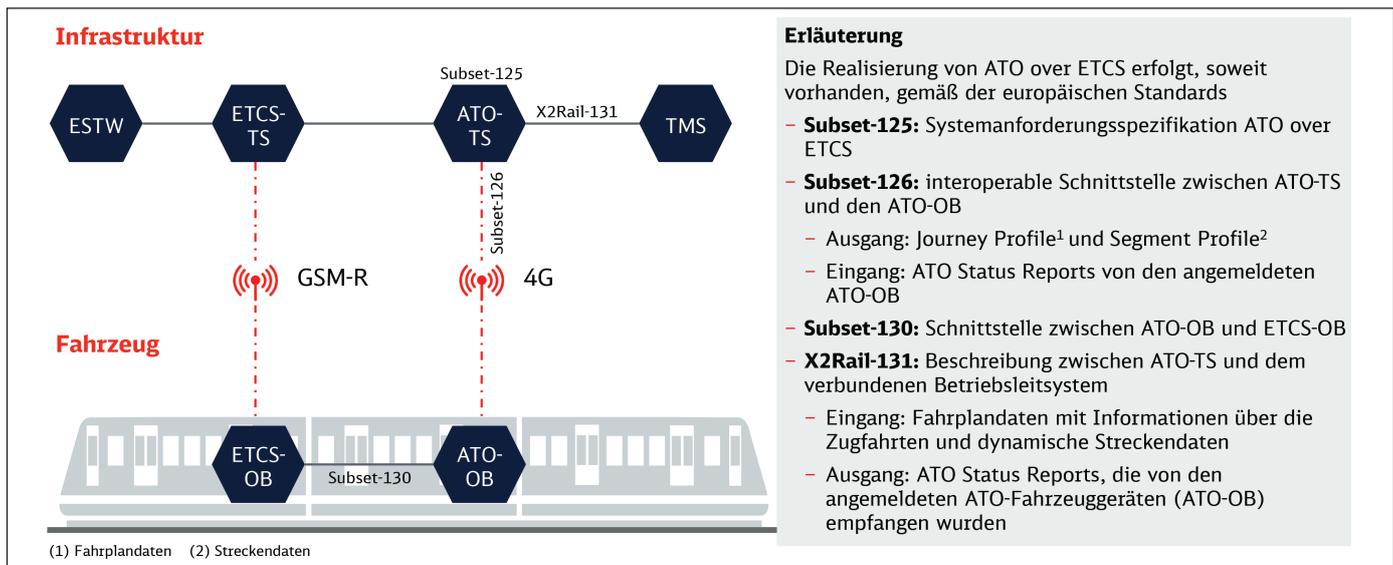


Abb. 2: Systemarchitekturskizze

Quelle: Deutsche Bahn

Im Bahnhof Bergedorf wird die vollautomatisierte Bereitstellung angelehnt an den Automatisierungsgrad GoA 4 vorgestellt. Dabei steigen Triebfahrzeugführer und Fahrgäste am Bahnsteig aus. Die S-Bahn fährt dann vollautomatisch in ein Kehrgleis, wendet und wird an der gegenüberliegenden Bahnsteigkante bereitgestellt, wo Triebfahrzeugführer und Fahrgäste wieder einsteigen können.

Die technische Basis des hoch- und vollautomatisierten Bahnbetriebs bildet der von Shift2Rail (Europäisches Forschungsprojekt zur Weiterentwicklung der Bahntechnologie) entwickelte, kommende europäische Standard ATO over ETCS. Statt einer Neuentwicklung und konzeptionellen Neugestaltung der Systemarchitektur für einen automatisierten Bahnbetrieb haben sich DB und Siemens Mobility bewusst dazu entschieden, den kommenden europäischen Standard ATO over ETCS als technische Systemarchitektur zugrunde zu legen, samt aller dazugehörigen funktionalen Beschreibungen und Schnittstellenspezifikationen. Die Vorteile liegen klar auf der Hand: ein europäischer Standard ETCS (European Train Control System) lässt nicht nur einen interoperablen und transeuropäischen Eisenbahnverkehr zu, sondern ermöglicht anhand der standardisierten Schnittstellen auch einen offenen Komponentenwettbewerb.

ATO over ETCS

Im Unterschied zum konventionellen Signalsystem ermöglicht ETCS Level 2 (L2) die kontinuierliche Zugsicherung über die tatsächlichen realen fahrdynamischen Eigenschaften der Fahrzeuge in Abhängigkeit von der aktuellen Geschwindigkeit.

Dabei werden die Züge nicht mehr durch Lichtsignale an der Strecke gegen das Auffahren gesichert, sondern erhalten über Funk die erlaubte Fahrdistanz sowie die zulässigen Geschwindigkeiten. Anhand dieser Informati-

onen und der fahrdynamischen Eigenschaften der Fahrzeuge errechnet sich das ETCS-Fahrzeuggerät die eigene Bremskurve, die erforderlich ist, um vor dem nächsten Gefahrpunkt, beispielsweise vor einem Grenzzeichen, zum Stehen zu kommen oder eine kommende Geschwindigkeitseinschränkung nicht zu überschreiten.

Diese individuelle Berechnung der Bremswege führt durch eine optimierte Teilung der Zugfolgezeiten zu einer Minimierung der Mindestzugfolgezeit. Die Mindestzugfolgezeit bestimmt den zeitlichen Abstand, mit dem zwei aufeinander folgende Züge behinderungsfrei hintereinander verkehren können. Durch die angewandten Technologien des Systems ETCS in Unterstützung durch ATO wird eine Minimierung der Mindestzugfolgezeit in Abhängigkeit von der Blockteilung bis nahezu auf die physikalischen Grenzen der Fahrdynamik ermöglicht. Dies führt zu einer höheren Kapazität im Gesamtsystem sowie einem stabileren Bahnbetrieb, der die Chance bietet, entstandene Verspätungen wieder aufzuholen bzw. das Ausmaß von Folgeverspätungen zu reduzieren. Bei dem System Automatic Train Operation (ATO) handelt es sich um die Technologie, die den hochautomatisierten Fahrbetrieb ermöglicht. Dabei wird die Steuerung des Zuges teilweise oder ganz durch das ATO-Fahrzeuggerät übernommen. Dies betrifft insbesondere das Beschleunigen und Bremsen des Zuges als auch die Türöffnung und -schließung. Dabei werden anhand der fahrdynamischen Informationen des Fahrzeugs und der per Funk aus der ATO-Strecken zentrale übermittelten Infrastruktur- und Fahrplaninformationen optimierte Fahrprofile entwickelt und automatisiert abgefahren. Dies führt dann zu einem kapazitäts- und energieoptimierten Betrieb, der aber im Verspätungsfall auch die maximalen Fahrreserven ausnutzen kann.

Neben ETCS ist auch ATO ein europäisch spezifiziertes System. Dabei ist das kombinierte Zielsystem als ATO over ETCS bezeichnet. Auch bei ATO sind insbesondere auch die interoperablen Schnittstellen für einen transeuropäischen ATO-Verkehr festgelegt (Abb. 2).

Die Aufgabenteilung zwischen ETCS und ATO ist klar beschrieben. Während ETCS als Zugbeeinflussungssystem das sicherheitsrelevante System ist, wird durch ATO im Schutze des ETCS die Zugsteuerung ohne Sicherheitsverantwortung übernommen. Nichtsdestotrotz der weitreichenden Automatisierungsfunktionen bleibt bei jeder Aktivität der Triebfahrzeugführer an Bord. Dieser überwacht den Betrieb und greift bei fahrzeug- oder streckenseitigen Störungen im System ein. Auch bei sonstigen Einflüssen im offenen Bahnsystem (z.B. Hindernisse im Gleis) übernimmt der Triebfahrzeugführer weiterhin die konventionelle Steuerung. Aus Sicherheitsgründen ist dieses Übersteuern der ATO auf mehreren Wegen und sehr einfach und intuitiv möglich. Beispielsweise reicht das Auslenken des Fahr- und Bremshebels in die Bremsstellung, um sofort das System ATO zu deaktivieren und die manuelle Steuerung zu übernehmen. Für die Realisierung von ATO over ETCS sind im Projekt Digitale S-Bahn Hamburg diverse Umbauten an der Bestandsinfrastruktur und an den Bestandsfahrzeugen notwendig. Infrastrukturseitig ist eine ETCS-Zentrale erforderlich, die die in ihrem Steuerbereich ETCS-geführten Züge verwaltet. Über eine Anbindung an das Stellwerk werden die Fahrstraßen aus dem Stellwerk über die ETCS-Zentrale an die ETCS-geführten Fahrzeuge per Funk übertragen. Die ETCS-Zentrale (engl. Radio Block Centre – RBC) kennt neben dem eigenen Streckenatlas des Steuerbereiches auch die Standorte aller ETCS-geführten Züge. Für die Standortbestimmungen sind infrastrukturseitig in den Gleisen Eurobalisen und auf der Fahrzeugseite Balisenantennen montiert.



Abb. 3: Streckenausrüstung S-Bahn-Strecke mit Ne 14 und Balisen

Quelle: Siemens Mobility

Spezifikationserstellung

Die Umsetzung des Systems ATO over ETCS im Rahmen des Projektes bedingte die Neuschaffung und Anpassung von Lastenheften. Beispielsweise mussten streckenseitig ein Delta-Lastenheft ETCS sowie ein Lastenheft ATO-TS (Automatic Train Operation – Track Side) geschaffen werden. Wesentliche Bestandteile des Delta-Lastenhefts ETCS sind die Anpassungen der Vorgaben des generischen Lastenhefts BTSF (Betrieblich Technische Systemfunktionen) auf ein S-Bahn-System mit besonders geringen Signalabständen und einer hohen Zugfolge, die Definition neuer Datenpunkte für ATO-Präzisionshalte und Bahnsteiginformationen, aber auch die Umsetzung technischer Unterstützungen für betriebliche Besonderheiten der S-Bahn Hamburg wie z. B. das Vorbeifahren auf Sicht an definierten Halt zeigenden Blocksignalen ohne Zustimmung des Fahrdienstleiters. Das Lastenheft für das technische System ATO-TS musste hingegen komplett neu erstellt werden. Basis hierfür waren im Wesentlichen die Shift2Rail-Spezifikationen Subset-125 und -126. Da aber beispielsweise die Schnittstelle zu einem Dispositionssystem noch nicht europäisch definiert wurde, war die Erarbeitung einer entsprechenden Spezifikation, die es ermöglicht, die Fahrplaninformation des Bestandssystems IMS (Integriertes Management System) dem System ATO-TS bereitzustellen, eine der besonderen Herausforderungen. Um auch auf kurzfristige, ungeplante Gleiswechsel reagieren zu können, wurde eine weitere Schnittstelle vom ATO-TS zum ETCS-Diagnosesystem geschaffen. Mittels dieser Schnittstelle werden in der ATO-TS aus den Movement Authorities (MA) der ETCS-Zentrale an die Fahrzeuge ständig die aktuellen Fahrwege gegen die geplante Route des Fahrplans auf Übereinstimmung geprüft und bei Bedarf als korrigiertes Journey Profile an ein Fahrzeug versendet.

Die Lastenhefte wurden im Rahmen des Projektes in einer Forschungs- und Entwicklungskooperation gemeinschaftlich zwischen der DB und Siemens Mobility erarbeitet. In der Kooperation wurden die Inhalte der Lastenhefte im Team aus Experten der Betreiber und Hersteller stets in Bezug auf betriebliche und technische Realisierbarkeit in dem höchst anspruchsvollen Zeitplan definiert und bewertet. Beschleunigt wurde das Verfahren durch die agile Arbeitsweise, indem die technischen Inhalte der Lastenhefte in regelmäßigen Sprint-Rhythmen erarbeitet und immer zeitnah abgestimmt wurden. Im Ergebnis dieser gemeinsamen Arbeitsweise lagen zwischen Beginn der Lastenhefterstellung im Juli 2018 und der ersten Probefahrt ATO over ETCS im November 2020 auf Basis der nach diesen Lastenheften entwickelten Systeme weniger als zweieinhalb Jahre!

Planung und Projektierung

Die Planung für die ETCS-L2-Ausrüstung einer Strecke erfolgt bei der DB für alle Strecken auf Basis der Richtlinie (Ril) 819.1344. Diese Richtlinie ist bisher hauptsächlich für den ETCS-Betrieb bei Fernbahnen ausgelegt und beinhaltet keine Erweiterung für ATO-Funktionen. Anpassungen dieser Richtlinie müssen jedoch stets auf Auswirkungen bestehender Planungen aller ETCS-Anlagen geprüft werden. Hier hat sich die Besonderheit, dass die S-Bahnen Hamburg und Berlin mit der Ril 819.20 ein eigenständiges Planungsregelwerk für LST-Planungen aufweisen, als äußerst vorteilhaft erwiesen. Dadurch war es möglich, erforderliche Regelwerkergänzungen und -änderungen in einem Zusatz zu dieser Richtlinie zu formulieren, sodass die Anpassungen keine Wirkung auf alle Netze der DB, sondern lediglich auf diese hatten und damit in einer Rekordzeit umgesetzt werden konnten.

Da sich Eingangsdaten für eine ETCS- und ATO-Projektierung zu ca. 90 % gleichen – beide System benötigen z. B. Geschwindigkeits- und Gradientenprofile, Balisenpositionen und Informationen über Stromschielenlücken –, wurde entschieden, die zusätzlichen Informationen für die ATO over ETCS-Funktionalität in der PT 1-Planung ETCS zu ergänzen. Der Vorteil liegt dabei in der Konsistenz der Daten, sodass Informationen, die in unterschiedlichen Systemen gleichermaßen genutzt werden, stets nur eine Quelle aufweisen. Als Ergänzung der PT 1-Planung wurden auf Basis des neu geschaffenen Zusatzes zum Regelwerk 819.20 z. B. die betrieblichen ATO-Halteorte (Timing Points), Bogenradien sowie neue ETCS-Datenpunkte für Präzisionshalte und Bahnsteigbereiche aufgenommen.

Die PT 1-Planung wurde zudem in einem elektronisch einlesbaren Übergabeformat erstellt, sodass manuelle Fehler in der Datenübernahme zur Projektierung der technischen Systeme vermieden werden konnten. Analog zu der PT 1-Planung wurde auch die Projektierung für die Systeme ATO-TS und ETCS-TS nicht in unterschiedlichen, sondern in ein und demselben Projektierungswerkzeug durchgeführt. So ist sichergestellt, dass die Zielsystemdateien für ATO-TS und ETCS-TS konsistent zueinander sind. Da für die ATO-Funktionalität, insbesondere für das präzise Halten am Bahnsteig, eine besonders hohe Genauigkeit der Vermessungsdaten gefordert ist, wurde im Projektierungswerkzeug die zusätzliche Möglichkeit geschaffen, abweichend von der metergenauen Information in ETCS eine zentimetergenaue Position der Balisen anzugeben. Im Ergebnis dieser Vorgehensweise bei der Projektierung können auch bei späterem Erweiterungs- oder Anpassungsbedarf der Strecke gleichzeitig in einem Projektierungsschritt aktualisierte Zielsystemdateien für ATO-TS und ETCS-TS erzeugt werden.

Montage und Realisierung

Der für die Ausrüstung mit ATO over ETCS vorgesehene Abschnitt der Strecke 1244 (Berliner Tor – Aumühle) ist zum Zeitpunkt des Projektstarts mit Siemens ESTW-Technik (Simis C) (Elektronisches Stellwerk – ESTW) und punktförmiger Zugbeeinflussung (PZB) ausgerüstet. Um die ETCS-Zentrale anzubinden, erfolgte zunächst die Hochrüstung des ESTW-Z Bergedorf (S-Bahn) auf Basis des Simis C ZeSAR Z3 (Zentraler Schnittstellen- und Aufrüstrechner). Dieser wurde dort, nach erfolgter Typzulassung durch das Eisenbahn-Bundesamt und darauf aufbauender Prototypfreigabe durch die DB Netz, erstmals eingesetzt. Die Inbetriebnahme inklusive Softwarewechsel erfolgte am 15. April 2019.

Die im Stellbereich des ESTW-Z Bergedorf (S-Bahn) installierte Gleisfreimeldeanlage war aufgrund der Haltfallenforderungen durch ETCS nicht kompatibel. Aus diesem Grund wurden Zählpunkte versetzt und in den Bahn-

höfen Bergedorf und Aumühle der Ersatz von Frequenz-Ton-Gleisstromkreisen (FTGS) durch Achszählung durchgeführt. Ebenso wurden alle betroffenen 79 Hauptsignale mit ETCS-Halttafeln (Ne 14) ausgerüstet (Abb. 3). Die Montgearbeiten erfolgten im ersten und zweiten Quartal des Jahres 2020, die ESTW-Inbetriebnahme mit Softwarewechsel wurde am 22. Juni 2020 durchgeführt.

Parallel zum Umbau der ESTW-Streckenausrüstung erfolgte die Verlegung der ETCS-Balisen, insgesamt wurden 379 Datenpunkte (jeweils aus ein oder zwei Balisen bestehend) installiert. Es handelt sich hierbei um Festdatenbalisen. Die Datenpakete wurden vor der Auslieferung nach Hamburg im Siemens-Werk Braunschweig aufgespielt und dort vom Abnahmeprüfer geprüft. Die Installation der Trainguard 200 RBC ETCS-Zentrale Bergedorf im Rechnerraum der ESTW-Zentrale Bergedorf erfolgte im Mai 2020. Die dauerhafte Kopplung mit dem ESTW erfolgte am 31. Juli 2020, womit die Herstellung der Funktionsfähigkeit (HdF) erklärt wurde. Auf dieser Grundlage erfolgten ab dem 3. August 2020 unter Nutzung der nächtlichen Betriebspause der S-Bahn die ETCS-Abnahmeprüffahrten. Als Abnahmeprüffahrzeug wurde der VT1.0/1.5 ETCS (Desiro) eingesetzt.

Die Inbetriebnahme ETCS L2 auf der Strecke 1244 im Abschnitt Berliner Tor – Aumühle erfolgte am 1. März 2021, seit diesem Tag sind planmäßige, ETCS-geführte Zugfahrten im Regelbetrieb auf der Strecke möglich.

Die ATO-Zentrale Hamburg Bergedorf (S-Bahn) wurde im August 2020 im Rechnerraum der ESTW-Z und ETCS-Z Bergedorf S-Bahn installiert. Am 28. August 2020 wurde dafür die HdF erklärt. Die ATO-Abnahmeprüffahrten mit zwischenzeitlich umgerüsteten S-Bahn-Fahrzeugen wurden im März 2021 auf Basis des bereits in Betrieb befindlichen Systems ETCS durchgeführt. Die Inbetriebnahme ist für August 2021 vorgesehen, Grundlage hierfür wird eine entsprechende Weisung der DB Netz sein.

Zeitgleich erfolgte die Anpassung und Ausrüstung der vier Bestandsfahrzeuge der Baureihe 474 der S-Bahn Hamburg mit der Trainguard 200 ETCS- und ATO-Fahrzeugausrüstung.

Wichtiger Baustein für die Digitale Schiene Deutschland

Mit der Digitalen S-Bahn Hamburg wird ein weiterer, wichtiger Baustein der Digitalisierung des deutschen Schienennetzes Realität. Während die erste Stufe des Programms „Digitale Schiene Deutschland“ die Digitalisierung der Infrastruktur mit Digitalen Stellwerken (DSTW) sowie der Infrastruktur und der Fahrzeuge mit ETCS beinhaltet, sollen in der zweiten Stufe neue Technologien für den Bahnbetrieb eingeführt werden. Das im Projekt Digitale S-Bahn Hamburg erstmals realisierte hochautomatisierte Fahren auf Basis von ETCS und ATO ist bereits ein Kernelement der zweiten Stufe des digitalisierten Bahnbetriebs mit neuen Technologien. Zudem

wurde mit der Realisierung einer vollautomatischen Bereitstellung ein weiterer wichtiger Schritt zu einer höheren Automatisierungsstufe geschaffen.

Die Projektpartner DB und Siemens Mobility haben darüber hinaus eindrucksvoll bewiesen, wie die neuen Technologien ETCS und ATO inklusive eines erweiterten, hochautomatisierten Bahnbetriebs in kürzester Zeit auf einer bestehenden Strecke und existierenden Fahrzeugen erfolgreich umgesetzt werden kann. Von Anfang an stand das Projekt unter einem enormen Zeitdruck. Der Zeitraum zwischen Projektstart 2018 und der öffentlichen Vorstellung im Oktober 2021 zum ITS-Weltkongress beinhaltete neben der Entwicklung, Realisierung, Installation und Inbetriebnahme der Fahrzeug- und Streckenkomponenten auch eine vorangestellte umfangreiche Spezifikationsphase für den ATO over ETCS-Betrieb für die „Digitale Schiene Deutschland“ auf Basis offener Schnittstellen, inklusive der zu berücksichtigenden Spezifika des Hamburger S-Bahn-Betriebs.

Das Ergebnis, hochautomatisiertes Fahren mit ATO over ETCS, steht für effiziente sowie nachhaltige Mobilität. Die erhöhte Leistungsfähigkeit des Schienennetzes durch dichtere Zugfolgen, die kontinuierliche Übertragung der Informationen zur aktuellen Verkehrslage an die Fahrzeuge per Funk, ein optimales Geschwindigkeitsprofil mit weniger Bremsvorgängen und dadurch ein sinkender Energieverbrauch führen zu einem stabileren Fahrplan mit pünktlicheren Zügen und zu einem deutlich höheren Reisekomfort für die Fahrgäste.

Mit der besonderen Form der Zusammenarbeit im Rahmen einer Entwicklungskooperation wurden zweifellos Maßstäbe gesetzt. Die überaus positiven Erfahrungen fanden vielfach höchste Anerkennung. Dieses Zusammenarbeitsmodell hat sich somit bestens für kommende Vorhaben empfohlen. Zurzeit wird an Plänen gearbeitet, diese Technik über die Pilotstrecke hinaus im Hamburger S-Bahn-Netz einzusetzen. ■



Dipl.-Ing. (FH) Jan Schröder

Projektleiter
Digitale S-Bahn Hamburg
Deutsche Bahn AG, Berlin
jan.schroeder@deutschebahn.com



Christoph Gonçalves Alpoim, M. Sc.

Stellv. Projektleiter
Digitale S-Bahn Hamburg
Deutsche Bahn AG, Berlin
christoph.goncalves-alpoim@deutschebahn.com



Dipl.-Inform. Boris Dickgießer

Projektleiter
Digitale S-Bahn Hamburg
Siemens Mobility GmbH,
Braunschweig
boris.dickgiesser@siemens.com



Dipl.-Math. Markus Talg

Systemmanager
Projekt Digitale S-Bahn Hamburg
Siemens Mobility GmbH,
Braunschweig
markus.talg@siemens.com