

Digitale S-Bahn Hamburg

*Jan Schröder, Christoph Gonçalves Alpoim,
Christopher Rudolph, Boris Dickgießer und Markus Talg*

1 Einleitung

Hamburg wächst! Laut einer jüngsten Prognose des Statistikamts Hamburg wird im Jahr 2031 Hamburg mehr als 2 Mio. Einwohner beherbergen – immerhin 146 000 Menschen mehr als noch heute. Allen Hamburgern, Touristen und Gästen will die S-Bahn Hamburg ein qualitatives Mobilitätsangebot bieten. Angesichts des Städtewachstums, aber auch des zukünftigen überdurchschnittlichen Wachstums von bis zu 50 % bei der S-Bahn Hamburg durch die Erweiterung des S-Bahn-Netzes um zusätzliche Linien (S4, S32), stößt das Kernnetz der S-Bahn Hamburg an Kapazitätsgrenzen. Zudem sieht der Hamburg-Takt der Freien und Hansestadt Hamburg eine Verbesserung von einem Zehn- zu einem Fünf-Minuten-Takt im Hamburger S-Bahn-Netz vor.

Neben dem Mehrbedarf an Verkehrsleistung ist ein Erneuerungsprozess bei der Stellwerkstechnik notwendig. In den vergangenen Jahrzehnten profitierten andere S-Bahn-Systeme in Deutschland von umfangreichen Erneuerungsmaßnahmen, da sie häufig im Zuge der Modernisierung von Regional- und Fernverkehrsstrecken mitberücksichtigt wurden. Hamburg hingegen ist als Inselnetz entkoppelt und infrastrukturseitig auf dem technologischen Stand der 1970er Jahre des 20. Jahrhunderts.

Exemplarisch für die Belastung und den Erneuerungsbedarf steht der Hamburger Hauptbahnhof als einer der wichtigsten Eisenbahnknoten Deutschlands. Mit mehr als 550 000 Reisenden pro Tag ist er seit vielen Jahren der meistfrequentierte Bahnhof Deutschlands. Davon entfallen allein auf die S-Bahn 270 000 Fahrgäste und machen den Hamburger Hauptbahnhof zum Dreh- und Angelpunkt im Streckennetz. Historisch bedingt führen alle S-Bahn-Linien über den Hamburger Hauptbahnhof, welcher von einem Relaisstellwerk aus dem Jahr 1975 gesteuert wird. Die avisierte Taktverdichtung wird mit der Bestandstechnik nicht abbildbar sein.

Im ersten Schritt sind daher Erneuerungsmaßnahmen zur Steigerung der Kapazität bzw. für den Betrieb von zusätzlichen S-Bahn-Linien in engerer Taktung als notwendig anzusehen.

Um dem Rechnung zu tragen, soll die S-Bahn Hamburg künftig hochautomatisiert auf Basis des Zugsteuerungssystems Automatic Train Operation (ATO) und des europäischen Zugbeeinflussungssystems European Train Control System (ETCS) fahren.

Für eine flächendeckende Ausrüstung mit ETCS Level 2 (L2) werden dabei elektronische (ESTW) oder digitale Stellwerke (DSTW) benötigt. Die auch in Hamburg zum Teil über 100 Jahre alten (elektro-)mechanischen Stellwerke und Relaisstellwerke sind für die erforderliche Erneuerung mit ETCS und ATO nicht geeignet.

Das im Jahr 2018 gestartete Pilotprojekt Digitale S-Bahn Hamburg erprobt bereits jetzt die Realisierbarkeit von ETCS und ATO auf der 23 km langen Strecke zwischen Berliner Tor und Aumühle und bietet die Möglichkeit, erste Erfahrungen zu sammeln sowie die Grundlagen für einen flächendeckenden Roll-out zu schaffen. In der Forschungs- und Entwicklungskooperation zwischen Deutsche Bahn AG (DB) und Siemens Mobility (Siemens) arbeiten Experten beider Häuser an nichts weniger als der Revolution im Bahnsystem. Das Projekt wird von der Freien und Hansestadt gefördert und ist der erste Pilot der Sektorinitiative Digitale Schiene Deutschland. Erstmals erfolgt hier die Realisierung des digitalisierten Bahnbetriebs in Deutschland.

Bereits jetzt können von den Erkenntnissen wesentliche Implikationen abgeleitet werden, die bei der Hochrüstung der Strecke und der Umrüstung der ersten vier Fahrzeuge gewonnen wurden. Dieses Wissen ebnet den Weg, die Digitalisierung im gesamten Netz sinnvoll zu Ende zu führen.

2 Hochautomatisierte Fahrt und vollautomatisierte Bereitstellung mit ETCS und ATO

Im Rahmen des Projektes 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 (Grade of Automation, GoA) mit Fahrgästen und Triebfahrzeugführer (Tf) auf der 23 km langen Strecke zwischen den Stationen Berliner Tor und Aumühle im Grunde vollautomatisch. Der Tf muss nur noch eingreifen, wenn Störungen auftreten.

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

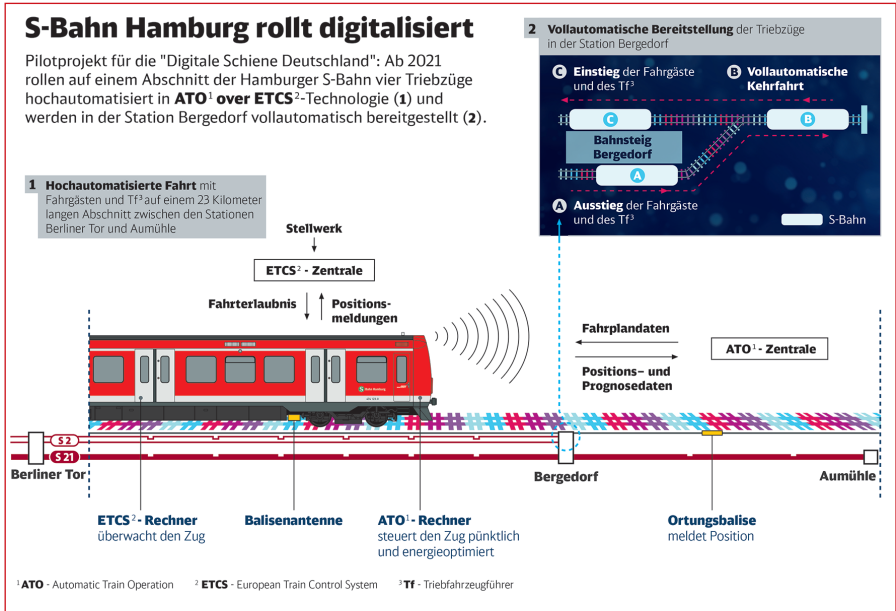


Abb. 1: Infografik Projekt Digitale S-Bahn Hamburg

für einen automatisierten Bahnbetrieb haben sich DB und Siemens 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 lässt nicht nur einen interoperablen und trans-europäischen Eisenbahnverkehr zu, sondern ermöglicht anhand der standardisierten Schnittstellen auch einen offenen Komponentenwettbewerb (Abb. 2).

3 ATO over ETCS

Bei dem System 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 Fahrzeuges und der per Funk aus der ATO-Streckenzentrale übermittelten Infrastruktur- und Fahrplaninformationen optimierte Fahrprofile entwickelt und automatisiert abgefahren. Dies führt dann zu einem kapazitäts- und energieoptimierten Betrieb, welcher aber im Verspätungsfall auch die maximalen Fahrreserven ausnutzen kann.

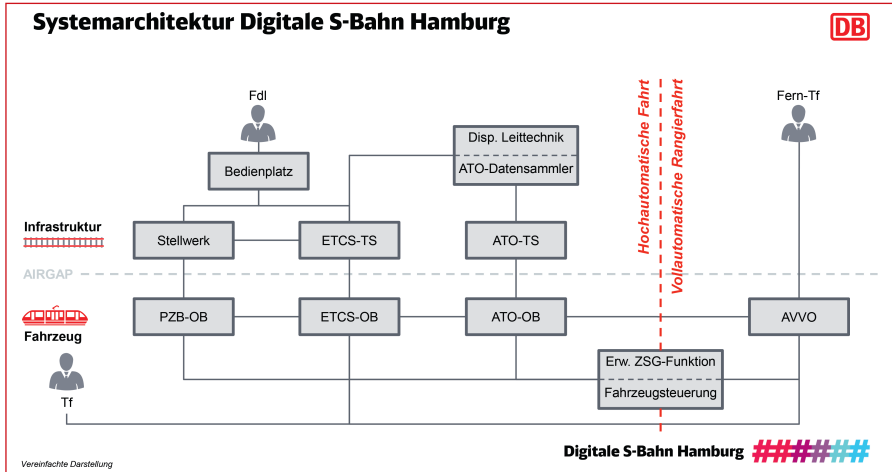


Abb. 2: Systemarchitekturskizze

Neben ETCS ist auch ATO ein europäisch spezifiziertes System. Dabei ist das kombinierte Zielsystem als ATO over ETCS bezeichnet. Auch bei ATO sind insbesondere 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 darstellt, wird durch ATO im Schutze des ETCS die Zugsteuerung ohne Sicherheitsverantwortung übernommen. Trotz der weitreichenden Automatisierungsfunktionen bleibt bei jeder Aktivität der Tf 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 Tf 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, welche die in ihrem Steuerbereich ETCS-geführten Züge verwaltet. Über eine Anbindung an das Stellwerk werden die Signalbegriffe und Weichenlagen an die ETCS-Zentrale übertragen, die daraus Fahrterlaubnisse an die ETCS-geführten Fahrzeuge per Funk überträgt. Die ETCS-Zentrale (engl. Radio Block Center – 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.

Während der Überfahrt des ETCS-geführten Zuges über die Eurobalise liest die Balisenantenne die Baliseninformationen. Hierdurch erkennt das ETCS-Fahrzeuggerät seine Position und meldet diese per Funk an die ETCS-Zentrale. Neben dem Fahrzeuggerät und der Balisenantenne sind noch weitere Umbauten an den Fahrzeugen erforderlich. Dies betrifft insbesondere die Wegmessung mittels Radare und Wegimpulsgeber. Diese sind maßgeblich für die Wegmessung zwischen Eurobalisen erforderlich. Somit erkennt das Fahrzeuggerät kontinuierlich auch zwischen den Eurobalisen seine Position. Die Schnittstelle zum Tf bildet das Fahrzeuggerät über das sogenannte „Driver Machine Interface“ (DMI). Das DMI zeigt dem Tf die aktuelle und die zulässige Geschwindigkeit sowie die zulässige Fahrdistanz. Darüber hinaus werden dem Tf Informationen zur Topografie, zum Wechsel von zulässigen Geschwindigkeiten sowie zu fahrplanerischen Halten angezeigt.

4 Advanced Vital Vehicle Operation

Bei der konzeptionellen Betrachtung der vollautomatisierten, fahrerlosen Bereitstellung auf Basis des Systems ATO over ETCS hat sich schon zu Beginn des Projektes das Erfordernis einer sicherheitsrelevanten Komponente herauskristallisiert. Da es im Rahmen der vollautomatisierten Bereitstellung weitere sicherheitsrelevante Bedienhandlungen, wie beispielsweise das Auf- und Abrüsten, Abschließen des Führerstands oder die vereinfachte Bremsprobe, Bedienung der Sifa, zu automatisieren gilt, die über die standardisierten Funktionalitäten von ATO over ETCS hinausgehen, war es erforderlich, ein eigens dafür entwickelte Komponente zu verankern. Hierdurch bleibt die Standardisierung von ATO over ETCS unberührt. Gleichzeitig werden die Basisfunktionalitäten des automatisierten Betriebs für die vollautomatisierte Bereitstellung nicht neuentwickelt, sondern werden mit den Funktionen von ATO over ETCS bedient.

Die hierfür neu entwickelte Komponente ist zusammengefasst die vitale Zugsteuerungseinheit zur Anwendung sicherheitsrelevanter Bedienhandlungen, die für den vollautomatisierten Betrieb erforderlich sind und gleichzeitig über die Funktionalitäten von ETCS und ATO hinausgehen. Hierfür hat das Projekt der Komponente den Namen „Advanced Vital Vehicle Operation“ (AVVO) gegeben. Schlussendlich kommen bei der vollautomatisierten Bereitstellung drei Systeme zum Einsatz:

- ETCS als (sicherheitsrelevantes) Zugbeeinflussungssystem zur Überwachung der Geschwindigkeit und der Fahrdistanz
- ATO als (nicht sicherheitsrelevantes) Zugsteuerungssystem zur Beschleunigung und Bremsung der Rangierfahrt, zur Bereitstellung sowie der Türsteuerung in Anlehnung an die über Funk übermittelten Fahrplandaten gemäß ATO over ETCS
- AVVO als (sicherheitsrelevantes) Zugsteuerungssystem zur Bedienung und Fernüberwachung der fahrzeugbezogenen Prüffunktionen und der Rangierfahrt zur Bereitstellung (Abb. 2).

Analog zu ATO und ETCS ist auch das AVVO-System in eine strecken- und eine fahrzeugseitige Komponente aufgeteilt, die über den Mobilfunkstandard 5G miteinander kommunizieren.

Während die fahrzeugseitige Komponente die direkten Bedienhandlungen am Fahrzeug ausführt, bildet die streckenseitige AVVO einen Bedienplatz für die Rolle des Fern-Tf. Der Fern-Tf ist die personalbezogene Rolle für die Durchführung der Rangefahrt gemäß betrieblichen Regelwerken.

Hieraus folgt auch der Unterschied zu ATO over ETCS: Bei der AVVO sind sowohl die strecken- als auch die fahrzeugseitige AVVO dem Eisenbahnverkehrsunternehmen zuzuordnen.

5 Innovativ in der hybriden Form der Zusammenarbeit

Der enge Zeitplan – vom ersten Grobkonzept bis zum vom Eisenbahn-Bundesamt (EBA) genehmigten Fahrgastbetrieb in dreieinhalb Jahren – erforderte organisatorische Rahmenbedingungen, die dem Projektziel und dem Projektgeist Genüge leisten. Daher wurde aufbauorganisatorisch eine Forschungs- und Entwicklungs Kooperation zwischen DB und Siemens geschlossen. Die tatsächliche Arbeit erfolgt dabei konsequent in integrierten Teams von Siemens und der DB, um in kurzen Iterationen einen Wissensaustausch sicherzustellen und dabei das Kreativitäts- und Innovationspotenzial maximal auszuschöpfen. Hierbei agieren beide Partner auf gleicher Höhe und teilen sich nach Projektabschluss die Rechte am erarbeiteten geistigen Eigentum zu gleichen Teilen. Dabei profitiert die DB insbesondere von Einblicken in die Entwicklungsarbeit, um ein besseres Verständnis für die nachgelagerten Prozesse zu erhalten. Siemensseitig kann wiederum enorm viel Wissen aus dem Betrieb und den notwendigen Abläufen gesammelt werden, was auch in anderen Projekten und Entwicklungsleistungen zukünftig gewinnbringend eingesetzt werden kann.

Ablauforganisatorisch wurde im Projekt ein hybrider Projektmanagementansatz verfolgt. Das hybride Projektmanagement zielt dabei auf die Kombination von klassischem Projektmanagement („Wasserfall-Projekte“) und agiler Arbeit nach Scrum ab. Dabei gab es weiterhin die bekannten, traditionellen Rollen des Management Boards mit den Projektsponsoren aus beiden Unternehmen sowie jeweils einem benannten hauptverantwortlichen Gesamtprojektleiter von DB und Siemens, die im unmittelbaren Austausch mit den Stakeholdern stehen.

Aus der agilen Welt flossen die Rollen des Scrum Masters (der bedarfsweise auch zum Projektsteuerer wurde) und Product Owner (im Projekt auch Teilprojektleiter genannt) ein. Betrachtet man das magische Dreieck aus Zeit, Kosten und Umfang, wird deutlich, warum diese Kombination für das Projekt sinnvoll ist. Im klassischen Projektmanagement sind nach reiner Lehre Zeit und Kosten variabel und der Umfang fix, während in

der agilen Welt Zeit und Kosten fix und Umfang variabel sind. Bezogen auf das Projekt Digitale S-Bahn Hamburg lassen sich beide Projektmanagementansätze wiederfinden. Kosten und insbesondere Zeit waren von Anfang an durch den ITS-Weltkongress gesetzt (Elemente der agilen Welt), jedoch waren die Top-Anforderungen (hochautomatisierte Fahrt und vollautomatisierte Bereitstellung) ebenfalls von Anfang an bekannt, der daraus resultierende Umfang der Arbeiten jedoch noch unscharf.

Aus diesen Gründen wurden seit Projektbeginn die Aufgaben (User Stories) in zweiwöchigen Sprints abgearbeitet und in Daily Scrum Meetings entlang eines Scrum Boards besprochen. Die Daily Scrum Meetings wurden hierbei genutzt, um über den Fortschritt der einzelnen Aufgaben zu informieren. Parallel wurde ein Rahmenterminplan gepflegt, um sämtliche Abhängigkeiten zwischen der Vielzahl an Teilprojekten (u.a. Fahrzeug, Infrastruktur, Zulassung und Safety) zu erfassen. Aus dem Rahmenterminplan wurden Epics (größere Arbeitspakete von ca. zwei bis drei Monaten Arbeitszeit) abgeleitet, die den Link zwischen klassischem Projektmanagement und agiler Welt herstellten und eine Art Product Backlog kreierten. Die Epics samt Terminplan boten den Teams Orientierung bei der Organisation ihrer Tätigkeiten. Die Tätigkeiten wurden gemeinsam mit dem jeweiligen Teilprojektleiter besprochen, inhaltlich beschrieben und mit Story Points abgeschätzt. Im übergeordneten Sprint Planning wurden dann die Aufgaben aus den einzelnen Teilprojekten erneut diskutiert, Abhängigkeiten zwischen Teilprojekten transparent aufgedeckt und hinsichtlich des erforderlichen Aufwands noch einmal verifiziert. Das Sprint Planning dient damit auch als ideales Projektsteuerungsinstrument. Der Aufwand wird präziser geschätzt, Aufgaben werden personenscharf zugeordnet und mit einem zeitlichen Horizont versehen. Fokus der Tätigkeiten in den dann gestarteten Sprints war dabei die iterative Arbeitsweise. Dokumente wurden bereits im frühzeitigen Entwurfsstadium mit den Experten diskutiert und überarbeitet.

Nach Abschluss des Sprints wurden die Ergebnisse im Sprint Review vorgestellt und insbesondere offene Fragestellungen diskutiert. Das Sprint Review wurde zur zentralen Kommunikationsplattform für den Austausch zwischen Projektmitarbeitern und der Projektleitung. In beide Richtungen konnten Informationen ausgetauscht werden. Zum Sprint Review wurde dabei auch das Top-Management eingeladen, die sich bei Bedarf ein Bild vom Fortschritt des Projekts machen konnten. Aufgaben und Ergebnisse wurden konsequent in den Tools Jira (Projektmanagement-Tool) und Confluence (Wiki-System) dokumentiert. Die von Anfang an toolbasierte Arbeit ermöglichte ein unkompliziertes und dezentrales Arbeiten der Projektbeteiligten. Eine besondere Rolle ist im gesamten skizzierten Ablauf den Teammitgliedern zuzuordnen, die eigenverantwortlich Aufgaben übernehmen, für diese verantwortlich sind und die Finalisierung ihrer Aufgaben selbstständig anzeigen. Gleichzeitig spürt jedes Teammitglied aber

auch die Teamverantwortung. Für einen reibungslosen Ablauf des komplexen Projektmanagementansatzes wurden den Kollegen monatliche Onboardings angeboten, um Sicherheit in der Bedienung der Tools, aber auch in der Methodik zu erhalten.

Auch beim Reporting wurden beide Welten des Projektmanagements möglichst vereint. Einerseits diente der Rahmenterminplan als klassisches Instrument, um einen Überblick auf alle zentralen Meilensteine zu erhalten. In den Sprint Reviews hingegen wurden Velocity Charts oder Burndown-Diagramme geteilt und Implikationen abgeleitet. Beispielsweise wurde temporär die Sprintdauer verkürzt, um neue Impulse und noch zügigere Iterationen zu ermöglichen. Die agilen Messinstrumente wurden auch gegenüber dem Management Board vorgetragen, sodass die Reporting-Struktur konsistent auf allen Ebenen war.

Mit dem gewählten Projektmanagementansatz konnten in kurzer Zeit wesentliche Meilensteine erreicht werden, die die Sinnhaftigkeit dieser Lösung für den konkreten Projektfall bestätigen. Während bei Innovationsprojekten häufig sofort der Ruf nach rein agiler Arbeit laut wird, ist zunächst völlig unabhängig zu bewerten, welches Modell für den Projekterfolg das geeignete ist. Während in der IT-Branche und insbesondere in der Softwareentwicklung agile Methoden sinnvoll und zielführend sind, stoßen diese Ansätze bei klassischen Zulassungsprozessen oder der Ausrüstung von Infrastruktur und Fahrzeugen an ihre Grenzen. Hier bietet das klassische Projektmanagement auch weiterhin einen sinnvollen organisatorischen Rahmen – auch bei der Einhaltung unternehmensinterner Prozesse. Der hybride Ansatz wird daher beiden Welten gerecht. Teams arbeiten selbstorganisiert und iterativ über die Unternehmensgrenzen hinweg zusammen. Das klassische Projektmanagement bildet eine übergeordnete Klammer und stellt über Elemente wie Terminpläne eine zeitgerechte Fertigstellung sicher.

6 Agiles Vorgehen in der Spezifikationserstellung

Die Definition und Umsetzung neuer Spezifikationen/Lastenhefte im Rahmen der Projektlaufzeit bedingten die Anwendung der agilen Arbeitsweise. Zunächst wurden in enger Zusammenarbeit der Projektmitarbeiter beider Unternehmen betriebliche Szenarien für die Anwendung ATO over ETCS bei der S-Bahn Hamburg entwickelt. Insgesamt wurden 16 Regel- und zwölf Störszenarien definiert. Als Mittel der Wahl kamen Swimlane-Diagramme (Abb. 3) zum Einsatz. Diese Art der Darstellung der betrieblichen Szenarien stellt optimal den Datenfluss zwischen den unterschiedlichen Systemen dar, sodass insbesondere das Verhalten an den Schnittstellen untereinander abgeleitet werden kann. Mittels kurzer Sprint-Zyklen wurden parallel von unterschiedlichen Teams die Szenarien erstellt, verifiziert und bei Bedarf kurzfristig angepasst. Die betrieblichen Szenarien stellten die Grundlage für die anschließende Erstellung der Systemspezifikationen dar.

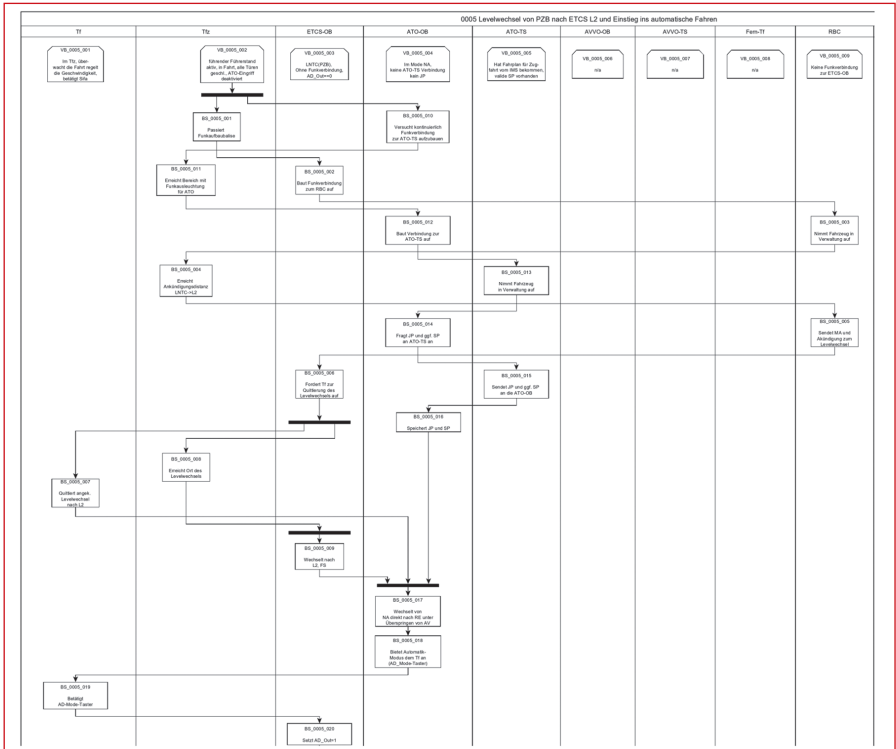


Abb. 3: Darstellung betrieblicher Szenarien in Form eines Swimlane-Diagramms

Eine weitere Grundlage für die Spezifikationen der Streckeninfrastruktur stellte eine Machbarkeitsstudie der S-Bahn Hamburg dar. Diese untersuchte den Änderungsbedarf der infrastrukturseitigen Spezifikationen auf Basis der vorhandenen Betriebsverfahren und Regelwerke. So wurde beispielsweise identifiziert, dass die im bestehenden ETCS-Lastenheft Betrieblich-technische Systemfunktionen (BTSF) der DB Netz AG definierten Distanzen für Levelwechsel-Ankündigungen, aber auch Override-Distanzen, zu groß für die Anwendung bei der S-Bahn Hamburg mit ihren relativ kurzen Signalabständen sind. Ebenso wurde im Rahmen der Analyse festgestellt, dass die im BTSF definierten Datenpunkte zur Absenkung der SR-Geschwindigkeit (Staff Responsible, SR) von 40 km/h auf 20 km/h vor Hauptsignalen betrieblich nicht sinnvoll auf der Strecke umsetzbar sind. Stattdessen wurde die bestehende Lösung unter punktförmiger Zugbeeinflussung (PZB) mit dem Einsatz von 500 Hz-Magneten für den Anwendungsfall der S-Bahn Hamburg untersucht und daraus die Einführung eines neuen Datenpunkts zur Absenkung der Geschwindigkeit von Fahrten in der Betriebsart SR insbesondere an den Orten, an

welchen 500 Hz-Magneten verlegt sind, empfohlen (siehe Anwendungsbeispiel: Absenkung SR-Geschwindigkeit bei kurzen Schutzstrecken).

Der Anpassungsbedarf bestehender Spezifikationen (bei ETCS), aber auch der neu zu erstellender Spezifikationen für ATO-TS war mit den betrieblichen Szenarien und den Empfehlungen der Machbarkeitsstudie hinreichend definiert. Zunächst wurde der Bedarf in kleine, überschaubare Arbeitspakete strukturiert. Die Größe wurde so gewählt, dass ein Arbeitspaket stets innerhalb eines Sprintzyklus von zwei Wochen komplett erfüllt werden konnte. Zudem wurden so unterschiedliche Arbeitspakete von unterschiedlichen Teams parallel mit kleinstmöglicher gegenseitiger Beeinflussung bearbeitet. Durch die eng getakteten Iterationen der Sprints konnten die Lastenhefte sukzessive erstellt und konsequent nach jeder Iteration einem Review unterzogen werden. Auf diese Weise wurden sämtliche inhaltlichen Fragestellungen und Entwürfe immer kurzfristig abgestimmt und das Ergebnis direkt im Lastenheft verarbeitet. Durch die kooperative Zusammenarbeit zwischen DB und Siemens konnte stets zügig evaluiert werden, ob die entstandenen Spezifikationen innerhalb der Projektlaufzeit technisch realisierbar sind.

Neben den Lastenheften musste ebenso das Planungsregelwerk Ril 819.20 für die S-Bahn Hamburg erweitert und angepasst werden. Analog des ETCS-Planungsregelwerks Ril 819.1344 erfolgte die Regelwerksanpassung stets auf Basis entsprechender Lastenheftanforderungen. Durch die agile Arbeitsweise mit kleinen Arbeitspaketen musste in diesem Fall mit der Regelwerksanpassung nicht gewartet werden, bis das Delta-Lastenheft vollständig vorliegt, sondern es konnte sukzessive auf Basis der bereits abgeschlossenen Arbeitspakete zum Lastenheft im kurzen zeitlichen Abstand erfolgen.

Regulatorisch vorgeschriebene Prozesse wie die Verwaltungsvorschrift Neue Typzulassung (VV NTZ) für das sicherheitsrelevante System ETCS wurden mit der agilen Arbeitsweise in der Erstellung der Spezifikationen nicht verletzt, sondern es fand lediglich eine Beschleunigung statt. So wurden nicht nur die Lastenhefte selbst, sondern, insbesondere für das sicherheitsrelevante System ETCS-Strecke, die sogenannten Dokumente für das Erläutern und sicherheitliche Ermessen (E&E) erstellt. Mit diesen Dokumenten wurden die Ziele hinter den neu definierten bzw. geänderten Funktionen erläutert und die sicherheitlichen Auswirkungen analysiert. Die anschließende Begutachtung und die Prüferklärung durch den Freigabeverantwortlichen stellten den Abschluss der Phase Lastenheft ETCS dar. Da die Inhalte der Lastenhefte bereits gemeinsam zwischen DB und Siemens erstellt und in kurzen Iterationen abgestimmt wurden, konnten die Pflichtenhefte parallel mit nur einem kurzen zeitlichen Versatz zu den Lastenheften erstellt, geprüft und begutachtet werden. So lag zwischen der Prüferklärung zum Delta-Lastenheft ETCS (20. April 2020) und der Prüferklärung zum Delta-Pflichtenheft ETCS (19. Mai 2020) lediglich ein Monat.

7 Anwendungsbeispiel: Absenkung SR-Geschwindigkeit bei kurzen Schutzstrecken

Gemäß dem generischen ETCS-Lastenheft BTSF ist ein Datenpunkt zur Absenkung der Geschwindigkeit von Fahrten in der Betriebsart Staff Responsible (SR) an allen Signalen, an denen Fahrstraßen enden und der Gefahrpunktabstand kleiner als 325 m ist, vorzusehen. Dieser Datenpunkt ist mindestens 720 m vor dem betreffenden Signal zu planen und wirkt so, dass die Geschwindigkeit bei ETCS-Befehlsfahrten schon 100 m vor dem Ziel von 40 km/h auf 20 km/h abgesenkt wird. Aufgrund der geringen Signalabstände hätte die Planung dieser Datenpunkte bedeutet, dass die Ankündigung oftmals bereits vor dem vorhergehenden Signal hätte geplant werden müssen. Dies ist aber nicht möglich, da ein Fahrzeug zu diesem Zeitpunkt ggf. noch nicht in der Betriebsart SR ist und so die spätere Absenkung nicht wirksam wird. Ebenso hätten oftmals vorhergehende Signale aus ETCS-Einstiegen ausgeschlossen werden müssen, da sonst unnötigerweise die Geschwindigkeitsabsenkung wirksam wird, wenn der Datenpunkt im Level „National Train Control“ (NTC) gelesen wird.

Aus diesem Grund wurde in Delta-Lastenheft ETCS für DSH eine spezifische Lösung für die

Für Schutzstrecken, die für 45,5 km/h nicht hinreichend lang ausgelegt sind, muss das Fahrzeug spätestens am Signal am Beginn der Schutzstrecke mit einer TSR auf 15 km/h überwacht werden. Die TSR muss im Abstand von mindestens 200 m vor Beginn der TSR aus einer Balisengruppe übertragen werden.
 Die TSR muss 1 m vor dem Signal mit kurzer Schutzstrecke beginnen, am Signal enden und nur mit der Zugs Spitze berücksichtigt werden (no train length delay).
 Die Balisengruppe für die Übertragung der TSR darf nicht im Paket 'Linking' für Fahrerlaubnisse für die Wirkrichtung der TSR enthalten sein.
 Die betrieblichen Einschränkungen durch die TSR sollen möglichst gering gehalten werden.
 Hinweis: bei einer nominalen TSR-Geschwindigkeit von 15 km/h findet der Bremsengriff bei 20,5 km/h statt.

Anwendung bei S-Bahnen

Abb. 4: Anforderung aus Delta-Lastenheft ETCS für DSH

definiert, sodass Datenpunkte zur Absenkung der Geschwindigkeit nur dann zu planen sind, wenn die konkrete Schutzstrecke für die eingesetzten Fahrzeuge zur Bremsung aus der SR-Geschwindigkeit (plus Marge für den Eingriff durch das System) nicht ausreicht. Zudem kann der Abstand des Datenpunkts auf bis zu 200 m an das betroffene Signal abgesenkt werden, und er wirkt erst am Signal (Abb. 4).

Die Planungsvorgabe für die PT1-Erstellung wurde anschließend auf Basis der Anforderung des Delta-Lastenhefts ETCS in ergänzende Planungsvorgaben für die S-Bahn Hamburg aufgenommen und per TM2-2019-10299 I.NPS 3 freigegeben (Ausschnitt in Abb. 5).

(13) Der Datenpunkt zur Absicherung von verkürzten Schutzstrecken überträgt eine Langsamfahrstelle um die Geschwindigkeit von Fahrten in der Betriebsart SR bei der Heranfahrt an das Signal zu beschränken. Der DP ist innerhalb des L2-Bereichs immer dann zu planen, wenn hinter dem Hauptsignal keine ausreichende Schutzstrecke für eine Geschwindigkeit von 45,5 km/h vorhanden ist. Dabei sind auch die Hauptsignale zu berücksichtigen, auf die keine Zugfahrten stattfinden.

Datenpunkt zur Absicherung von verkürzten Schutzstrecken, Typ 76

Abb. 5: Ergänzende Planungsvorgaben ATO over ETCS für die S-Bahn HH

8 Anwendungsbeispiel: Vorbeifahrt auf Sicht ohne Zustimmung des Fahrdienstleiters in ETCS L2

Eine charakteristische Besonderheit der S-Bahnen Berlin und Hamburg ist die Anwendung der Vorbeifahrt an Halt-zeigenden Blocksignalen ohne jegliche Zustimmung des örtlich zuständigen Fahrdienstleiters (Fdl). Dieses Verfahren wird seit mehreren Jahrzehnten bei den S-Bahnen erfolgreich angewendet. Hierdurch soll auch bei einer Signalstörung eine hohe Abfolge der Züge gewährleistet werden. Dies ist insbesondere bei den S-Bahnen Hamburg und Berlin wichtig, da es für die Realisierung der hohen Zugfolge dementsprechend auch verhältnismäßig viele Zugfolgestellen gibt. Im Zuge dessen ist es auch erforderlich, diese Technologie analog in ETCS anzuwenden.

Im konventionellen Signalsystem mit PZB kann der Tf bei Halt vor einem haltzeigenden Ks-Signal mit weiß-schwarz-weiß-schwarz-weißem Mastschild ohne Zustimmung des Fdl mit Bedienung des Befehlstasters vorbeifahren. Dafür prüft der Tf durch Hinsehen, ob der Blockabschnitt offensichtlich belegt ist. Wenn dies nicht der Fall ist, kann er in den Blockabschnitt auf Sicht mit höchstens 40 km/h einfahren. Ein wesentliches und ambitioniertes Detail im Projekt Digitale S-Bahn Hamburg war es, diesen Vorteil in der Betriebsführung analog in ETCS umzusetzen.

Für die Ausrüstung von ETCS L2 auf einer Strecke mit Mischbetrieb mit PZB-Zügen war es erforderlich, alle Hauptsignale mit einer ETCS-Halt-Tafel (Ne 14) auszustatten. Für eine analoge Realisierung der Vorbeifahrt am Halt-zeigenden Signal ohne Zustimmung des Fdl – hier die Vorbeifahrt am End of Authority (EoA) – wäre es erforderlich, dass der Tf beim Halt des Zuges vor dem EoA das weiß-schwarz-weiß-schwarz-weiße Mastschild am Hauptsignal mit Ne 14-Tafel erkennt und daraufhin mit der Bedienung der ETCS-Funktion „Override“ an der ETCS-Halt-Tafel vorbeifährt (Abb. 5). Dieses Verfahren wäre sehr deckungsgleich mit dem Verfahren im konventionellen Signalsystem: Der Zug muss vor dem Halt-zeigenden Signal anhalten, der Tf muss das korrekte Mastschild identifizieren, und mit einer Bedientätigkeit fährt er ohne Zustimmung



Abb. 6: Blocksignal mit ws-sw-sw-sw-weiße Mastschild und Ne 14

des Fdl auf Sicht vorbei. Die Vorteile bei diesem Vorgehen liegen klar auf der Hand: Es wären keine technischen Weiterentwicklungen erforderlich. Die Funktionalitäten von ETCS wären bereits alle vorhanden, um dieses betriebliche Vorgehen abzubilden (Abb. 6).

Dennoch würde dieses Verfahren einige betriebliche Konflikte im aktuellen ETCS-Regelwerk nach sich ziehen. Dies betrifft insbesondere folgende drei Faktoren:

1. Die Auswertung von Mast Schildern im ETCS-Betrieb ist grundsätzlich nicht vorgesehen. Die einzigen relevanten streckenseitigen Signalisierungen im ETCS L2-Betrieb sind die ETCS-Halt-Tafeln (und ggf. ETCS-Blockkennzeichen). Eine Erweiterung auf die Mast Schilder würde die betriebliche Komplexität von ETCS erhöhen und die zu betrachtenden betrieblichen Grenzfälle vergrößern. Die Anwendung von Mast Schildern in ETCS wäre darüber hinaus auch nur auf weiß-schwarz-weiß-schwarz-weiße Mast Schilder explizit zu begrenzen.
2. Die Vorbeifahrt mit „Override“ am EoA ohne Zustimmung des Fdl würde der aktuellen ETCS-Regelwerksphilosophie widersprechen. Für die Bedienung von Override ist aktuell stets ein schriftlicher Befehl erforderlich. Die Bedienung von Override ohne Befehl würde einer Ausnahme im Regelwerk bedürfen mit ggf. einer vorangegangenen Gefährdungsbetrachtung über insb. eine unzeitige Bedienung der Funktion Override.

Bremsprobegerät

BPG Gz 3

NEU

kompakt smart mobil

Das BPG Gz 3

- Für enge Gleisabstände geeignet — nur 100 mm tief — mit DB-Zulassung
- Browserbasierte Funkfernsteuerung, keine App-Installation erforderlich
- kostengünstig mieten oder kaufen
- mobiles Fundament möglich

INDUSTRIE-PARTNER

www.ip-coswig.de

3. Damit verbunden schließt mit Bedienung von Override eine Fahrt der Betriebsart SR an. Eine Fahrt in der Betriebsart SR würde nur zu einer statischen Geschwindigkeitsüberwachung führen, ohne weitere Führungsgrößen. Eine Fahrt in der Betriebsart On Sight (OS) wäre die betrieblich passendere und auch sichere Betriebsform.

Im Zuge dieser ersten nicht zufriedenstellenden Analyse haben sich die Experten von DB und Siemens alternative Lösungsmöglichkeiten überlegt. Gewählt wurde in diesem Fall eine Lösung, die verhältnismäßig wenig Eingriff in das Regelwerk und stattdessen eine zusätzliche technische Funktion auf Seiten der ETCS-Zentrale und damit auch im ETCS-Lastenheft bedeutet. In dieser Lösung werden bereits in der ETCS-Projektierung die EoA festgelegt, die eine Vorbeifahrt auf Sicht ohne Zustimmung des Fdl ermöglichen sollen. Dies sind üblicherweise Zugfolgestellen, deren einziger Gefahrenpunkt der Zugschluss des vorausfahrenden Zuges bedeutet. In der Praxis wurden die Hauptsignale mit weiß-schwarz-weiß-schwarz-weißem Mastschild als EoA mit dieser Funktionalität projektiert. Wenn nun ein Zug vor so einem EoA zum Halten kommt und die Movement Authority (MA) nicht unverzüglich verlängert wird, erhält das ETCS-Fahrzeug automatisch nach Halt von der ETCS-Zentrale eine MA für die Weiterfahrt auf Sicht. Die automatische Aufforderung zur Weiterfahrt auf Sicht ist vom Tf zu quittieren.

9 Systementwicklung und -nachweisführung

Die Umsetzung der gemeinsam abgestimmten Spezifikationen in der Entwicklung und die Nachweisführung für die Produkte erfolgte bei Siemens nach agilen Methoden. Für die streckenseitige Ausrüstung kommen die Systeme Trainguard 200 RBC und Siemens ATO-TS zum Einsatz und fahrzeugseitig Trainguard 200 OBU (ETCS-Onboard Unit) und ATO-OB (ATO-Onboard). Da diese Leistungsanteile vollständig bei Siemens angesiedelt waren, wurde keine Aufteilung der Arbeitspakete der Entwicklungsleitungen in der gemeinsamen Sprint-Planung unternommen. Stattdessen wurden regelmäßige Statusberichte der Entwicklung zu den Sprint-Reviews übermittelt. Aufgrund der bereits gemeinsam abgestimmten Spezifikationen konnte die Dauer der Systementwicklung erheblich reduziert werden. So lag bereits ca. sieben Monate nach der Freigabe zum Delta-Pflichtenheft ETCS das Produktgutachten im Dezember 2020 vor. Die Zulassung in Form einer ZiE Typ B durch das EBA erfolgte am 8. Februar 2021. Die Nachweisführung für das System ATO-TS konnte nach erfolgten Testfahrten ATO over ETCS am 17. Mai 2021 mit einem Validierungsbericht positiv abgeschlossen werden.

10 Planung, Projektierung und Montage

Die Planung, Projektierung und Montage der Strecke 1244 (Berliner Tor – Aumühle) erfolgte nicht agil, sondern auf klassische Weise, da insbesondere die Tätigkeiten von den

Teams der Planer, Projektierer, Fachprüfer und Montage nach fest definierten Prozessen zu erfolgen haben. Hierfür wurden z. B. die klassischen regelmäßigen Baubesprechungen genutzt. Dennoch profitierte insbesondere die Planung PT1 und Projektierung PT2 von der agilen Spezifikationserstellung, da diese bereits auf Basis der fertiggestellten Arbeitspakete zu den Themen die Umsetzung beginnen konnten und so nicht unmittelbar auf eine Freigabe der Planungsgrundlage angewiesen waren. Die Abhängigkeit zur Regelwerksfreigabe konnte so in Abhängigkeit von dem Abschluss und der entsprechenden Fachprüfung von Planung und Projektierung geplant werden.

In Rahmen der Montage und Inbetriebsetzung erfolgte zunächst die Hochrüstung der Zentraleinheit ZeSAR Z3 (Zentraler Schnittstellen- und Aufrüstrechner) des elektronischen Stellwerks Simis C und eine Anpassung der Gleisfreimeldung, um die Voraussetzungen für die ETCS-Anbindung zu schaffen. Nach Installation von Balisen auf der Strecke und der Errichtung der ETCS-Zentrale in den Stellwerksräumen in Bergedorf wurde im Juli 2020 die Herstellung der Funktionalität (HdF) erklärt. Auf dieser Basis wurden die Abnahmefahrten ETCS im August 2020 durchgeführt. Nach erfolgreicher Installation der ATO-TS ebenso in den Stellwerksräumen in Bergedorf und der Anbindung an das Dispositionssystem

Rail
BUSINESS

Der Wirtschaftstitel
für den Bahnmarkt

JETZT
3 WOCHEN
TESTEN!

„Integriertes Management System“ (IMS) im August 2020 war die infrastrukturseitige Funktionalität errichtet. Nach weiteren Testfahrten ETCS und ATO over ETCS erfolgte am 1. März 2021 die Inbetriebnahme der ETCS-Einrichtung, sodass anschließend die weiteren ATO-Testfahrten nicht mehr im Rahmen von nächtlichen Betriebspausen, sondern, in Verbindung mit einer Unbedenklichkeitserklärung, im täglichen Regelbetrieb stattfinden konnten. Die Inbetriebnahme der ATO-TS erfolgte nach umfangreicher Testdurchführung im August 2021.

11 Wichtiger Baustein für die Digitalisierung des Schienennetzes

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 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 mit ATO auf Basis von ETCS ist bereits ein Kernelement der zweiten Stufe des digitalisierten Bahnbetriebs mit neuen Technologien. Die entwickelte Lösung für die Digitale S-Bahn Hamburg basiert dabei auf dem neuesten Europäischen Standard ATO over ETCS mit seinen offenen Schnittstellen. Auf dieser Grundlage ist sie für die gesamte Bandbreite des Schienenverkehrs, also für den Regional-, Güter- und Fernverkehr ausgelegt und kann in ganz Europa und auch weltweit zum Einsatz kommen.

Zusätzlich wurde im Projekt Digitale S-Bahn Hamburg mit der Realisierung einer vollautomatisierten Bereitstellung ein weiterer wichtiger Automatisierungsschritt geschaffen.

Die Projektpartner DB und Siemens haben darüber hinaus eindrucksvoll bewiesen, wie die neuen Technologien ETCS und ATO inklusive eines erweiterten, automatisierten Bahnbetriebs in kürzester Zeit auf einer bestehenden Strecke und auf existierenden Fahrzeugen erfolgreich umgesetzt werden können. In Zusammenarbeit mit dem Fahrzeughersteller Alstom (ehemals Bombardier Transportation) konnte die Schnittstelle zur Fahrzeugleittechnik realisiert werden. Von Anfang an stand das Projekt unter einem sehr hohem Zeitdruck. Der Zeitraum zwischen Projektstart 2018 und Vorstellung im Oktober 2021 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 und auf Basis der offenen Schnittstellen darüber hinaus.

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 Entwicklungs-kooperation wurden zweifellos Maßstäbe gesetzt. Die überaus positiven Erfahrungen fanden vielseitig höchste Anerkennung. Dieses Zusammenarbeitsmodell hat sich somit bestens für kommende Vorhaben empfohlen.



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



Christopher Rudolph, M. Sc.
Projektmanager Digitale S-Bahn Hamburg
Deutsche Bahn AG, Berlin
christopher.c.rudolph@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