

AutomatedTrain: Anpassungen des ETCS-On Board Systems für den vollautomatisierten Betrieb unter ATO GoA4

Dieser Artikel stellt die im Projekt AutomatedTrain ermittelten notwendigen Anpassungen des ETCS-OB (European Train Control System Onboard) für den vollautomatisierten Betrieb (ATO GoA4) unter der Prämisse eines möglichst geringen Änderungsumfangs des Bestandssystems vor.



Einbindung des ETCS-OB im GoA4-Projekt AutomatedTrain

Projektansatz

Das Projekt AutomatedTrain entwickelt ein zugeseitiges System zur Durchführung vollautomatisierter Bereit- und Abstellfahrten sowie die automatisierte Auf- und Abrüstung von Triebfahrzeugen. Die vollautomatisierte Bereitstellung ermöglicht einen vom Personal unabhängigen Fahrzeugeinsatz und ermöglicht eine deutlich flexiblere Einsatzplanung. Dies führt zu einer höheren Arbeitseffizienz und ist eine geeignete Antwort auf den zunehmenden Fachkräftemangel insbesondere bei Triebfahrzeugführenden (Tf), vgl. [1].

Das Betriebskonzept von AutomatedTrain, vgl. [2], basiert auf der Verwendung von ATO (Automatic Train Operation) over ETCS (European Train Control System) nach System Version 2.2 (siehe [3]). Ein Betrieb ist daher nur mit Vollüberwachung von Zugfahrten durch ETCS Level 2 in den beiden Modi „Full Supervision (FS)“ und „Automatic Driving (AD)“ möglich.

Bisheriger ATO over ETCS-Regelbetrieb findet aktuell nur im Modus ATO GoA2 (Grade of Automation 2) statt, d. h. mit Tf, der die Streckenüberwachung übernimmt und in Notfällen eingreift (s. z. B. Digitale S-Bahn Hamburg [9]). Im fahrerlosen GoA4-Betrieb (Grade of Automation 4) hingegen wird diese Aufgabe automatisiert und von einem System, u. a. einer sensorbasierten



Oliver Martens-Knitter

Systemingenieur vollautomatisches Fahren, DB InfraGO AG, Berlin

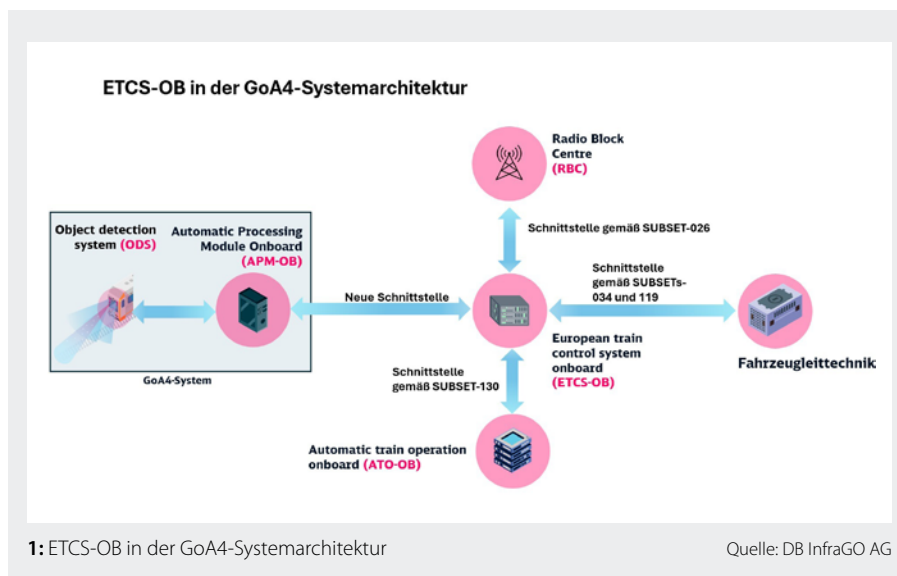
oliver.martens-knitter@deutschebahn.com



Peter Eimann

Systemingenieur, DB Systemtechnik GmbH, Frankfurt (Main)

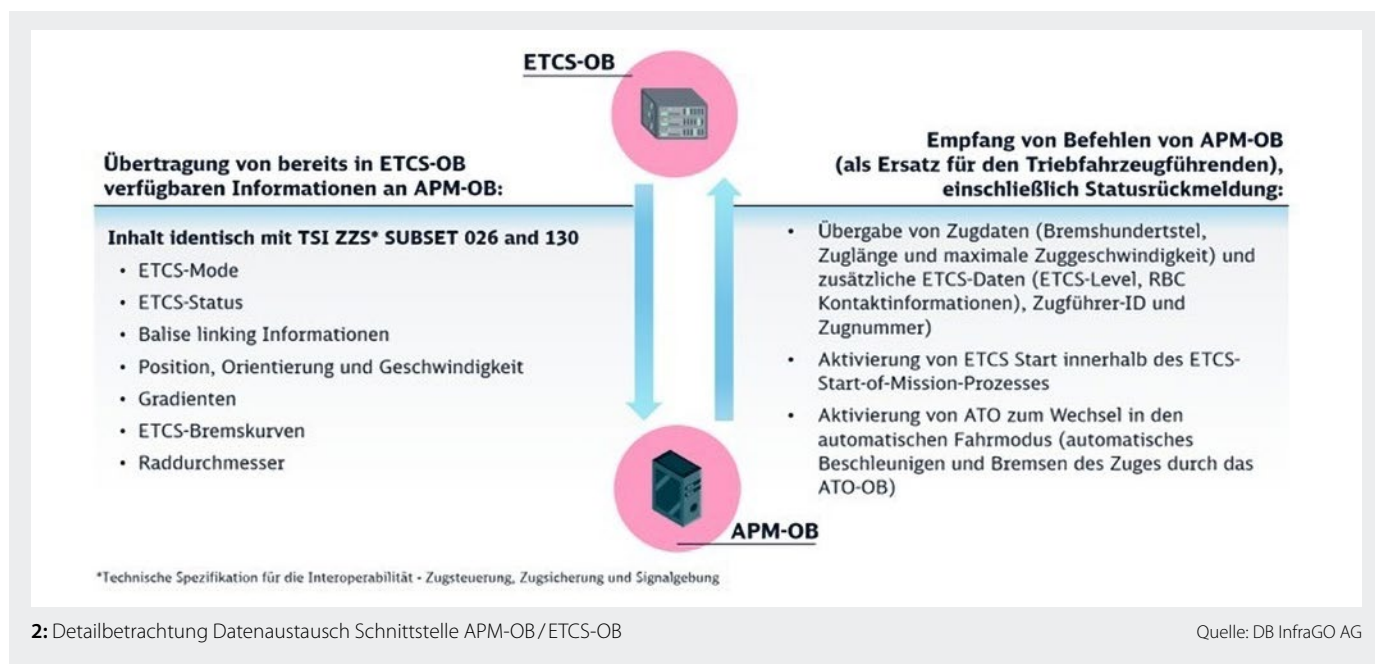
peter.p.eimann@deutschebahn.com



Umfeldbeobachtung, übernommen (im Folgenden GoA4-System). Dafür muss das ETCS-OB im Fahrzeug angepasst werden. Das Projekt folgt dabei der Prämisse, das ETCS-OB so wenig wie möglich zu ändern, da alle ETCS-Systeme einem aufwendigen Änderungs- und Validierungsprozess unterworfen sind und dies mit erheblichen Kosten und großem Zeitaufwand verbunden wäre. Zusätzlich ermöglicht diese Prämisse eine einfachere Integration des GoA4-Systems in Bestandsfahrzeuge.

ETCS-OB Schnittstellenübersicht

Die im Projekt gemeinsam zwischen der DB InfraGO AG, Bosch Engineering GmbH, DB Regio AG und Siemens Mobility GmbH entwickelte Systemarchitektur (vgl. [2]) sieht



eine Einbindung von ETCS-OB nach dem in Abbildung 1 gezeigten Schema vor.

Die Schnittstellen zu den bereits bestehenden Systemen auf dem Fahrzeug, einerseits dem ATO-OB zum automatischen Fahren und andererseits zu der Fahrzeugleittechnik, werden gemäß bestehender europäischer Normung beibehalten. Die Schnittstelle zum ATO-OB folgt dem Subset-130 in der Version 1.0 [4] und die Schnittstelle zur Fahrzeugleittechnik dem Subset-034 [5] und 119 [6] jeweils in der Version 4.0. Als einzige Änderung dieser Spezifikationen wird die Übermittlung von Zugdaten von der Fahrzeugleittechnik an das ETCS-OB gemäß [5] und [6] von einem optionalen Feature zu einem verpflichtenden Feature angehoben. Damit verbunden ist auch, dass die Prozedur „Changing Train Data from sources different from the driver“ (siehe [3] §5.17) verpflichtend im ETCS-OB umgesetzt ist, um Änderungen an den von der Fahrzeugleittechnik übermittelten Zugdaten gemäß dieser Prozedur zu erkennen und zu verarbeiten. Die Schnittstelle zur Landseite, also zum Radio Block Centre (RBC), wird unverändert beibehalten und folgt dem Subset-026 in der Version 4.0 [3].

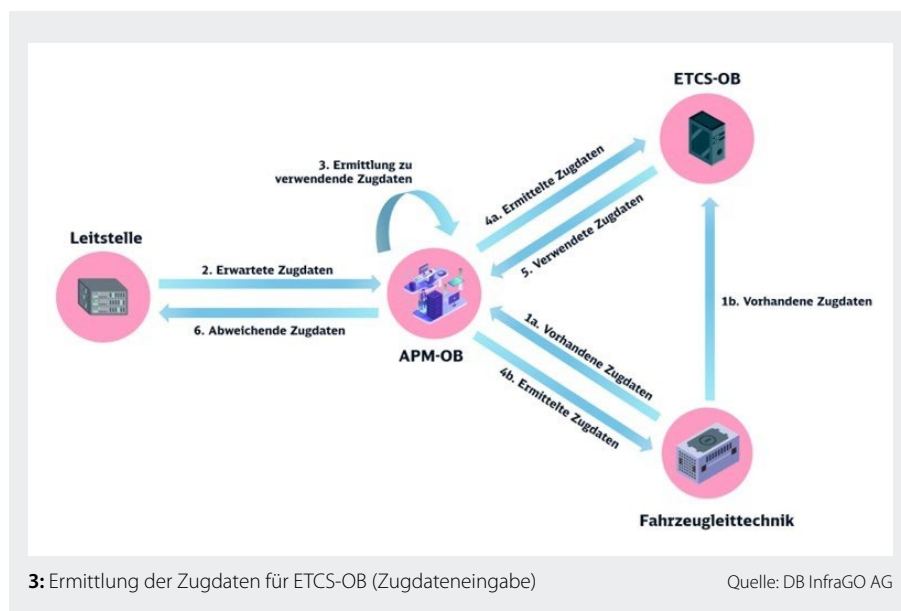
Mit dem GoA4-System ist das ETCS-OB nur über eine neue Schnittstelle zur Schalt- und Reaktionszentrale des GoA4-Systems, dem Automatic Processing Module On-board (APM-OB) verbunden. Zu weiteren Subsystemen des GoA4-Systems, insbesondere dem Object Detection System (ODS), besteht der Prämisse der geringen Änderungen folgend keine direkte Verbindung. Das

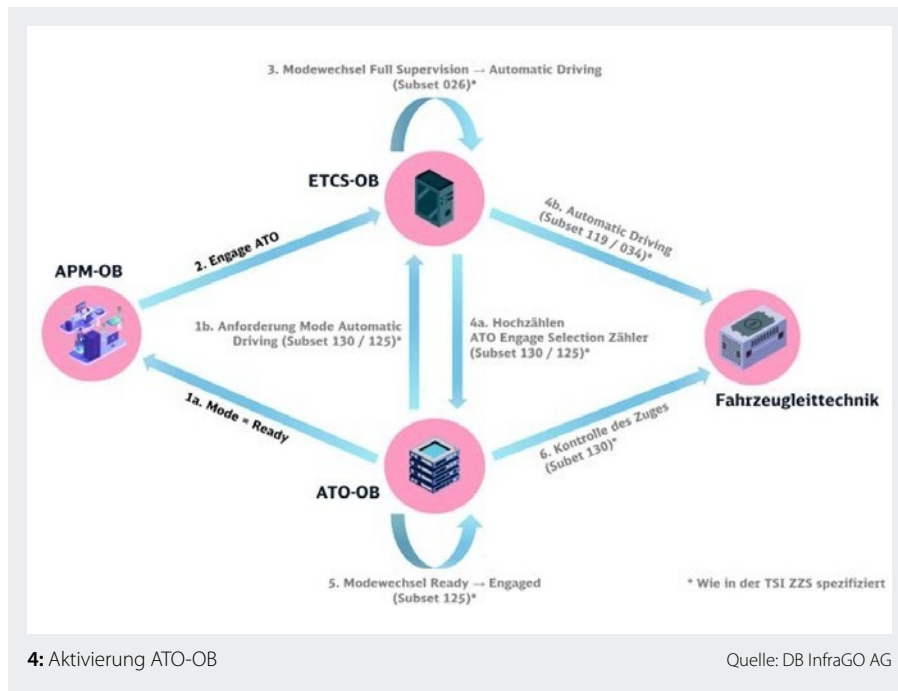
ODS ist das Teilsystem des GoA4-Systems, welches die Hinderniserkennung inklusive der Positionsbestimmung der Objekte in Gleis und Gleisumfeld zur Aufgabe hat.

Schnittstelle zum GoA4-System

Zur Durchführung vollautomatisierter Fahrten benötigt das GoA4-System einige Informationen des ETCS-OB. Zudem muss es Aufgaben des Tf übernehmen. Eingaben, die bisher durch den Tf erfolgten, werden nun durch das APM-OB geregelt und laufen entsprechend über die neu geschaffene Schnittstelle. Abbildung 2 zeigt

alle auszutauschenden Informationen, gefolgt von einer näheren Erläuterung. Diese sind, wie auch die oben beschriebene Architektur, das Resultat intensiver Abstimmung der genannten Projektpartner aus Betrieb und Industrie. Bei der Auswahl der vom ETCS-OB bereitzustellenden Daten wurde darauf geachtet, dass alle Informationen bereits in gleicher Form im ETCS-OB vorhanden sind und ggf. bereits auf einer von den in Abbildung 1 gezeigten Schnittstellen vom ETCS-OB an ein System übermittelt werden, sodass der Änderungsbedarf im ETCS-OB minimal bleibt und lediglich die neue Schnittstelle zum





APM-OB mit bereits vorhandenen Informationen versorgt wird.

Eingaben des APM-OB im ETCS-OB

Kommandoschnittstelle

Die mit dem GoA4-System ausgerüsteten Züge sollen auch weiterhin konventionell durch einen Tf gefahren werden können. Daher muss sichergestellt werden, dass das ETCS-OB die Eingaben entweder vom GoA4-System oder von einem Tf über das ETCS-Display verarbeitet, aber nicht von beiden gleichzeitig. Aus diesem Grund übermittelt das APM-OB als Kontrollinstanz des GoA4-Systems seinen aktuellen Status an das ETCS-OB. Nur so lange das APM-OB signalisiert, dass es aktiv ist und die Kontrolle über den Zug hat, nimmt das ETCS-OB dessen Eingaben an.

Der ETCS Start-of-Mission Prozess

Nach der Aktivierung des Führerstands durchläuft das ETCS-OB den sogenannten Start-of-Mission Prozess (siehe [3] §5.4), um aus dem ETCS Modus Standby (SB) mit aktiver Stillstandsüberwachung in einen Modus zu gelangen, in dem eine Bewegung des Zuges zulässig ist. Im Rahmen dieses Prozesses wartet das ETCS-OB an bestimmten Stellen auf Eingaben bzw. Bestätigungen, um den Prozess fortzuführen und abschließen zu können. Bislang

finden diese ausschließlich durch den Tf statt und müssen nun durch das APM-OB durchgeführt werden.

1) Zugdaten

Die Zugdateneingabe als Bestandteil innerhalb des Start-of-Mission Prozesses hat aufgrund ihrer Sicherheitsrelevanz eine besondere Bedeutung. Die Zugdaten teilen sich auf in Brems-hundertstel (relevant für die Berechnung der Bremskurven), die Zuglängen (z. B. relevant für die Berechnung, an welchem Punkt die Geschwindigkeit erhöht werden kann) und die maximale Geschwindigkeit des Zuges (relevant für die Auswahl des restriktivsten Geschwindigkeitsprofils). Da gegenüber dem heutigen Verfahren der Tf als Kontrollinstanz für die Eingabe und Validierung dieser Daten entfällt, wurde die Zugdateneingabe für den GoA4-Betrieb, wie in Abbildung 3 dargestellt, als mehrstufiger Prozess entwickelt. Die Zugdaten werden dabei aus zwei unterschiedlichen Quellen (Fahrzeugleittechnik und Leitstelle) miteinander verglichen und daraus die zu verwendenden Daten ermittelt.

a) Schritt 1

Das APM-OB empfängt die von der Fahrzeugleittechnik ermittelten Zugdaten (1a.). Gleichzeitig übermittelt die Fahrzeugleittechnik diese Daten auch an das ETCS-OB (1b., siehe [5] §2.6).

b) Schritt 2

Das APM-OB empfängt von der Leitstelle die zu erwartenden Zugdaten. Es ist davon auszugehen, dass die Leitstelle für jede GoA4 Zugfahrt den eingesetzten Zug mit seinen Charakteristiken kennt und damit auch die korrekten Zugdaten ermitteln kann.

c) Schritt 3

Das APM-OB vergleicht die Zugdaten aus den beiden in Schritt 1 und 2 genannten Quellen. Bei einer Abweichung fällt die Ermittlung zur sicheren Seite und es werden

- die geringeren Brems-hundertstel
- die größere Zuglänge
- die geringere Maximalgeschwindigkeit

aus beiden Quellen verwendet.

d) Schritt 4

Die in Schritt 3 ermittelten Zugdaten werden als die für die Zugfahrt gültigen Zugdaten vom APM-OB an das ETCS-OB übergeben (4a.). Da die Fahrzeugleittechnik herstellerabhängig auch eine Bestätigung der Zugdaten fordern kann, werden diese daher gleichzeitig auch an die Fahrzeugleittechnik übergeben (4b.)

e) Schritt 5

Um zu prüfen, dass das ETCS-OB auch die vom APM-OB übergebenen Zugdaten verwendet, verlangt das APM-OB eine Rückmeldung der Zugdaten vom ETCS-OB.

f) Schritt 6

Ergibt der Vergleich in Schritt 3 eine oder mehrere Abweichungen zu den von der Leitstelle übermittelten Zugdaten, so werden diese Abweichungen zurückgemeldet. Die Leitstelle kann dadurch entscheiden, ob und wie sie den Einsatzplan des Fahrzeugs anpassen muss.

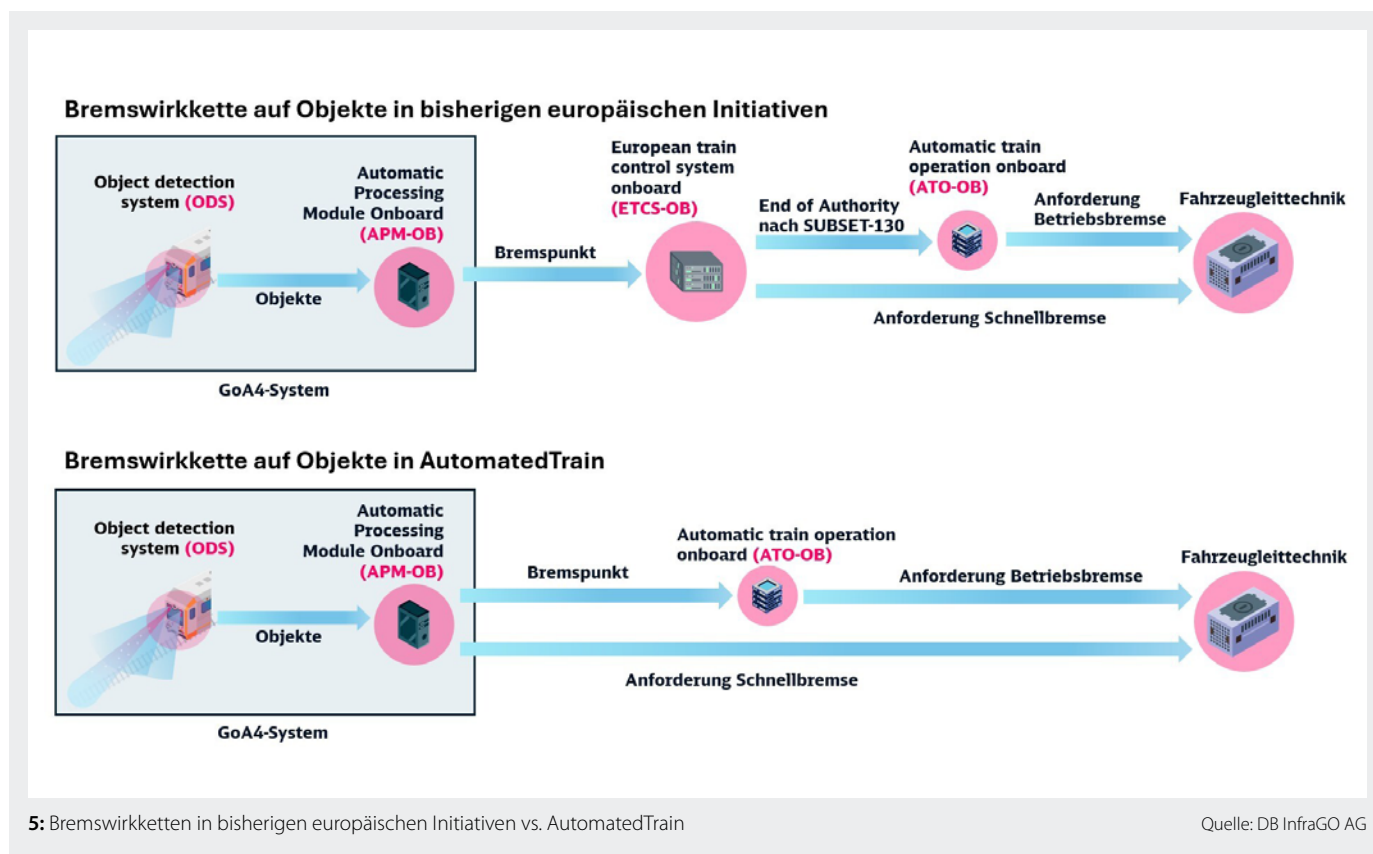
2) ETCS Additional Data

a) ETCS-Level

In der Regel bietet das ETCS-OB mehrere zur Auswahl stehende ETCS-Level an (wie Level NTC oder Level 2). Das APM-OB fordert hier immer den ETCS-Level 2 als einzigen unterstützten Level an.

b) RBC Kontaktdaten

Die im ETCS-Level 2 für einen Verbindungsaufbau zum RBC notwendigen Kontaktdaten (Rufnummer des RBC).



c) Driver ID

Die Driver ID (Tf-Nummer) wird für die Identifizierung des verantwortlichen Fahrers als Teil der Datenaufzeichnung (Juridical Recording) verwendet. Das APM-OB übermittelt dem ETCS-OB dabei eine von der Leitstelle übergebene ID, die den GoA4-Betriebsmodus identifiziert.

d) Zugnummer

Das APM-OB übergibt die für die vorge-sehene Zugfahrt von der Leitstelle über-mittelte Zugnummer an das ETCS-OB.

3) ETCS-Start

Nach der Eingabe der relevanten Daten innerhalb des Start-of-Mission Prozes-ses erwartet das ETCS-OB eine Bestäti-gung, dass eine Fahrerlaubnis beim RBC angefragt werden soll (siehe [3] §5.4 Step S20). Diese Bestätigung wird jetzt vom APM-OB anstelle des nicht mehr vorhandenen Tf gegeben.

Engage ATO

Damit das ATO-OB die Steuerung des Zu-ges übernehmen kann, muss es durch eine explizite Bedienhandlung aktiviert en-gaged) werden. Diese Bedienung erfolgt

heute durch den Tf entweder über das ETCS-Display oder einen separaten Schal-ter und muss hier durch das APM-OB erfol-gen. In der Abbildung 4 ist der Prozess der Aktivierung dargestellt.

Wie aus Abbildung 4 ersichtlich, wird der bisherige durch die TSI ZZS spezifi-zierte Prozess (grauer Text) für die Ak-tivierung des ATO-OB lediglich an zwei Stellen angepasst (schwarzer Text). Zum einen wird das Engage ATO-Kommando nicht durch den Tf, sondern über das APM-OB an ETCS-OB übergeben. Zum anderen benötigt das APM-OB eine Mel-dung über den aktuellen Betriebsmodus des ATO-OB, um zu entscheiden, wann das Engage ATO-Kommando ausgeführt werden kann.

Eine Alternative zu dem hier gewähl-ten Prozess wäre, das Engage ATO-Kom-mando direkt vom APM-OB an das ATO-OB zu senden. Für dieses Szenario wären je-doch Änderungen in der dahinterliegen-ten Logik von ATO-OB, ETCS-OB und der Fahrzeugleittechnik notwendig, was eine Anpassung der bestehenden Subsets be-deuten würde. Aus diesem Grund wurde für AutomatedTrain die Lösung mit den geringsten Anpassungen an den bestehen-ten Systemen ausgewählt.

Bereitstellung von Daten durch das ETCS-OB an APM-OB

Das GoA4-System benötigt für die vollau-tomatische Steuerung des Zuges die nach-folgend aufgelisteten Daten, die durch das ETCS-OB über die neue Schnittstelle an APM-OB übermittelt werden:

- 1) ETCS-Mode:** Das APM-OB verwendet den ETCS-Modus zur Überwachung, ob sich das ETCS-OB in den für die GoA4-Fahrt unterstützten Betriebsmodi Full Supervision (FS) oder Automatic Driving (AD) befindet.
- 2) Status Kommandoschnittstelle:** Das APM-OB prüft, ob ein Kommando von ETCS-OB verarbeitet wurde, damit nicht mehrere, sich möglicherweise wider-sprechende Kommandos zur gleichen Zeit an das ETCS-OB gesendet werden. Weiterhin kann das APM-OB darüber erkennen, ob das Kommando durch das ETCS-OB erfolgreich verarbeitet wurde.
- 3) Aktuell gültige Zugdaten:** Das APM-OB nutzt die Rückmeldung der Zugdaten für die Prüfung, ob die vom APM-OB er-mittelten und an ETCS-OB übergebenen

Zugdaten auch in der Form verwendet werden (siehe Schritt 5 bei der Beschreibung der Zugdateneingabe).

- 4) **Warten auf ETCS-Start:** Da nur ETCS-OB erkennt, ob sich der Start-of-Mission Prozess an der Stelle befindet, an der auf die Betätigung von ETCS-Start gewartet wird, muss diese Information an das APM-OB übergeben werden. Unzeitige Start-Bedienungen würden durch ETCS-OB nicht verarbeitet und somit der Start-of-Mission Prozess nicht erfolgreich beendet werden.
- 5) **Balise-Linking:** Das Balise-Linking wird vom GoA4-System zur Bestimmung des Fahrwegs benötigt. Darauf basierend verortet das ODS erkannte Objekte, wodurch das APM-OB eine entsprechende Reaktion ableiten kann, vgl. [7].
- 6) **Positionsdaten:** Die Positionsdaten (Position, Gültigkeit der Position und die Orientierungsinformationen) werden zum einen vom ODS für die Plausibilisierung der ermittelten Position benötigt. Zum anderen verwendet APM-OB diese Daten anstelle einer eigenen Odometrie.
- 7) **Geschwindigkeit:** Das GoA4-System nutzt die Geschwindigkeit, inklusive einer sicheren Stillstandsinformation, zur Plausibilisierung im ODS und für die Reaktionsableitung innerhalb des APM-OB.
- 8) **ETCS-Bremsparameter:** Die aktuellen ETCS-Bremsparameter werden vom APM-OB als Eingabewerte für die eigene Bremskurvenberechnung verwendet.
- 9) **Raddurchmesser:** Der Raddurchmesser wird vom ODS zur Auswertung der Wegimpulsgeberdaten verwendet, um den zurückgelegten Weg des Zuges zu bestimmen.

Schnellbremseingriff des GoA4-Systems

In den bisherigen europäischen Initiativen (siehe [7]) ist vorgesehen, das ETCS-OB in die Bremswirkkette bei erkannten Objekten im Fahrweg einzubeziehen. APM-OB übermittelt dabei die Position der von ODS erkannten Objekte an das ETCS-OB, welches daraufhin die Fahrtfreigabe (End of Authority) einkürzt. Die geänderte Fahrtfreigabe wird an ATO-OB zur Einleitung einer Betriebsbremse weitergeleitet. Bei zu geringem Abstand des Fahrzeuges zur eingekürz-

ten Fahrtfreigabe initiiert das ETCS-OB eine Schnellbremse über den eigenen Schnellbremseingriff und die Fahrzeugleittechnik.

In AutomatedTrain besitzt das APM-OB einen eigenen Schnellbremseingriff in die Fahrzeugleittechnik und leitet die aufgrund der Objektposition ermittelten Bremspunkte direkt an ATO-OB weiter. Dafür muss zwar im APM-OB eine eigene Bremskurvenberechnung stattfinden, jedoch ist das ETCS-OB im Gegenzug nicht Teil der Bremswirkkette und bleibt auf Funktionen der Zugsicherung beschränkt. Dadurch wird das ETCS-OB nicht mit zusätzlicher Funktionalität für den GoA4-Betrieb zweckentfremdet und es ergeben sich gemäß [8] einige entscheidende Vorteile:

- Weniger Änderungsaufwand am ETCS-OB
- Verkürzung der Wirkkette durch Aussparung eines Elementes, wodurch sich kürzere Reaktionszeiten auf Objekte ergeben
- Verkürzung des angenommenen Bremsweges für GoA4-Funktionen durch Verwendung eines eigenen Sicherheitsniveaus statt Nutzung der SIL4-Parameter des ETCS-OB.

Aus diesen Gründen haben sich die Experten bei AutomatedTrain im Vergleich zu bisherigen europäischen Initiativen dafür entschieden, keine Bremsanforderungen oder Ähnliches zwischen ETCS-OB und APM-OB zu übertragen und das APM-OB stattdessen mit einem eigenen Schnellbremseingriff auszustatten, siehe Abbildung 5.

Ausblick

Die in diesem Artikel beschriebenen Inhalte sorgen aus Sicht der Projektpartner dafür, dass das ETCS-OB einem möglichst geringen Änderungsaufwand unterzogen wird und gleichzeitig die Integration eines GoA4-Systems, ggf. auch als Nachrüstlösung, angemessen unterstützt wird. Eine sinnvolle Weiterentwicklung der Spezifikation beinhaltet die Erweiterung um Kuppelvorgänge und Rangierbewegungen in den entsprechenden ETCS-Modi On-Sight (OS) und Shunting (SH), obgleich beide Modi mit größerem Änderungsaufwand sowohl an den ZZS-Komponenten ATO-OB und ETCS-OB wie auch am GoA4-System verbunden wären und hier folglich vorher eine detaillierte Nutzenbetrachtung durchzuführen wäre.

Die im Projekt erstellten Anforderungsspezifikationen, zu der auch eine Spezifikation der zusätzlichen Anforderungen an

ETCS-OB gehört, werden am Ende des Projektes AutomatedTrain im September 2026 veröffentlicht. Im Rahmen der InnoTrans 2026 werden zudem die Projektergebnisse durch die DB InfraGO AG und Siemens Mobility GmbH demonstriert. Die Spezifikationen sollen als Basis für zukünftige Ausschreibungen durch den technischen Einkauf der DB AG dienen. Es ist darüber hinaus geplant, sie für die Weiterverwendung im Rahmen der Europe's Rail Joint Undertaking (ERJU) anerkennen zu lassen. AutomatedTrain gibt damit wichtige Impulse in den Sektor und legt den Grundstein für die Entwicklung serienfähiger Produkte durch die Industrie. ●

Literatur

- [1] D. Spiegel und C. Hauswald, „Vollautomatisiertes, fahrerloses Fahren auf der Schiene“, Eisenbahn Ingenieur, pp. 18-21, 05 2024.
- [2] O. Knitter, T. Höhne und J. Schultz, „Projekt AutomatedTrain: Betriebskonzept und Systemarchitektur für die vollautomatisierte Bereitstellung von Triebzügen (GoA4)“, Deine Bahn, pp. 18-23, 11 2024.
- [3] Europäische Kommission, ERTMS/ETCS SUBSET-026 System Requirements Specification, 2023.
- [4] Europäische Kommission, ERTMS/ATO ATO-OB / ETCS-OB SUBSET-130 FFFIS Application Layer, 2023.
- [5] Europäische Kommission, ERTMS/ETCS SUBSET-034 Train Interface FIS, 2023.
- [6] Europäische Kommission, ERTMS/ETCS SUBSET-119 Train Interface FFFIS, 2023.
- [7] X2Rail-4, Deliverable D5.1 WP5 GoA3/4 Specification, 2023.
- [8] O. Knitter, J. Hey, A. Dr. Scheel, J. Schultz und H. Voelz, „AutomatedTrain: Konzepte und Systembausteine für fahrerlose Züge“, El - Der Eisenbahningenieur, Nr. 10, pp. 40-44, 10 2025.
- [9] Digitale S-Bahn Hamburg | Digitale Schiene Deutschland, aufgerufen am 18.5.26.

Summary

AutomatedTrain: Adaptations to the ETCS on-board system for fully automated operation under ATO GoA4

The AutomatedTrain project develops a GoA4 system for fully automated movements using ETCS Level 2 and ATO over ETCS, while keeping changes to ETCS-OB minimal. ETCS-OB interfaces remain largely standard; a new interface connects ETCS-OB with the GoA4 control module (APM-OB). The APM-OB replaces the driver in mission start, train data handling and ATO engagement, but braking is handled independently by APM-OB to reduce complexity, reaction time and modification effort.