

## Vollautomatisierte Bereit- und Abstellung von Triebzügen

# Projekt AutomatedTrain: Betriebskonzept und Systemarchitektur



**Oliver Knitter**, AutomatedTrain Subsystem Architekt, **Thomas Höhne**, AutomatedTrain Product Owner Systemarchitektur und **Jakob Schultz**, AutomatedTrain Projekt System Architekt, alle Digitale Schiene Deutschland, DB InfraGO AG, Berlin und Frankfurt am Main



Die Digitalisierung bietet enorme Chancen, die Leistungsfähigkeit des Bahnsystems zu steigern. Dies gilt nicht nur unter technologischen Aspekten; auch auf die Herausforderungen des demografischen Wandels kann die Digitalisierung geeignete Antworten geben. Dies gilt vor allem für Konzepte des automatisierten Fahrens (Automatic Train Operation, ATO). Hinsichtlich der Demografie bietet insbesondere das vollautomatisierte, fahrerlose Fahren die größten Nutzeneffekte.<sup>[1]</sup> Das vollständig fahrerlose Fahren in offenen Netzen ist technologisch ein sehr anspruchsvolles Vorhaben, dessen Entwicklung gerade erst beginnt.

Allerdings können mit dem heutigen Stand der Technik bereits die arbeitsintensiven Vorbereitungs- und Abschlussdienste des Triebfahrzeugführenden (Tf) automatisiert werden. Zu diesem Zweck hat die Sektorinitiative Digitale Schiene Deutschland (DSD) das Forschungs- und Entwicklungsprojekt „AutomatedTrain“ ins Leben gerufen, welches vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert wird<sup>[2]</sup> und aus einem einzigartigen Konsortium aus Verbundpartnern besteht, die Knowhow und Expertise aus verschiedenen Branchen einbringen.

Unter der Leitung der DB InfraGO AG arbeiten die Partner Bosch Engineering GmbH, Codewerk GmbH, DB Regio AG, duagon Germany GmbH, IAV GmbH, ITK Engineering GmbH, Red Hat GmbH, Siemens Mobility GmbH sowie die Technische Universität Dresden intensiv an der Entwicklung des vollautomatisierten Fahrens. Der Fokus dabei ist die Automatisierung des Bereitstellens, des Aufrüstens, des Abrüstens und des Abstellens von Zügen. Dadurch können Tf deutlich entlastet werden, was direkt personelle Kapazitäten schafft.

Da es bislang für die vollautomatisierte Bereit- und Abstellung noch keine festgelegte Systemarchitektur und keine Vorlage zur Nachweiserbringung der eingesetzten Technik gibt, ist die Zielstellung des Projekts die Spezifikation und der Nachweis der technischen Machbarkeit des vollautomatisierten, fahrerlosen Fahrens (Grade of Automation 4, GoA4).

Die vollautomatisierte Bereit- und Abstellungsfahrt wird gemäß dem Zielbild der DSD in einer ETCS-Umgebung (ATO over ETCS) und mit einer fahrzeugseitigen Hinderniserkennung umgesetzt. Dafür werden zwei verschiedene Triebzüge mit einem Sensorset für die Objektdetektion ausgestattet, um den Weg aus der Abstellanlage bis zur ersten Station vollautomatisiert und ohne Tf zurückzulegen. Die Triebzüge sind mit ATO GoA2 ausgerüstet, worauf das neue GoA4 System aufsetzt. Folgende Züge kommen zum Einsatz:

- Der Mireo Triebzug von Siemens Mobility ist bereits mit ETCS ausgestattet und erfüllt alle Voraussetzungen für den vollautomatisierten Fahrbetrieb.
- Der zweite Zug ist ein Triebzug der Baureihe 430 des Herstellers Bombardier/Alstom der S-Bahn Stuttgart. Die Baureihe ist bereits seit mehreren Jahren bei der S-Bahn Stuttgart in Betrieb und wird derzeit im Rahmen des Projektes „Digitaler Knoten Stuttgart“ mit ATO und ETCS für das hochautomatisierte Fahren (Grade of Automation 2, abgekürzt GoA2) nachgerüstet.

Für das im Folgenden vorgestellte Betriebskonzept und die Systemarchitektur des Projektes wurden neben den Fahrzeugen auch mögliche Betriebsumgebungen in Stuttgart und München untersucht, die für eine zukünftige automatisierte Bereitstellung unter

ETCS grundsätzlich in Frage kommen. Die Kriterien für die Auswahl der Strecken werden im nächsten Absatz erläutert.

## Die Betriebsumgebung

Für Stuttgart und München wurde jeweils eine Referenzstrecke ausgewählt, anhand derer die infrastrukturellen und operativen Randbedingungen für das Projekt abgeleitet wurden.

In Stuttgart wurde sich für die Strecke der Linie S2 zwischen Filderstadt und Hauptbahnhof entschieden. Sie reicht zukünftig bis zum neuen Bahnhof Mittnachtstraße. In München fiel die Wahl auf die Strecke der Linie S3 zwischen Mammendorf und Ostbahnhof, inklusive der Zugbereitstellung zum Ostbahnhof. Ein besonderer Fokus liegt hierbei auf den Abstellanlagen an den Linien in Stuttgart-Vaihingen und München-Steinhausen.

Aus diesen Betriebsumgebungen resultieren folgende Randbedingungen für das Projekt:

### Zugsicherung

- Ausschließlich ETCS Level 2 ohne Signale
- ETCS System Version 2.2 oder höher (inklusive ATO),
- Fahrbetrieb ausschließlich mit ETCS-Modi „Full Supervision“ oder „Automated Driving“

### Betrieb

- minimale Zugfolgezeit von zwei Minuten
- kein Kuppeln/Entkuppeln
- keine Rückwärtsfahrten
- keine Rangierbewegungen in Gleisen, in denen GoA4-Züge abgestellt sind
- kein Transport von Passagieren, mit Ausnahme autorisierten Bahnpersonals

### Infrastruktur

- Strecken mit Normalspurweite und Oberleitung
- Ausschluss von Stromschienen, Trennstellen und Bahnübergängen
- Bahnsteighöhen von 96 cm
- Tunnelstrecken bis maximal 5km Länge zwischen zwei Stationen
- 180 m minimaler Kurvenradius und Gradienten bis 40‰

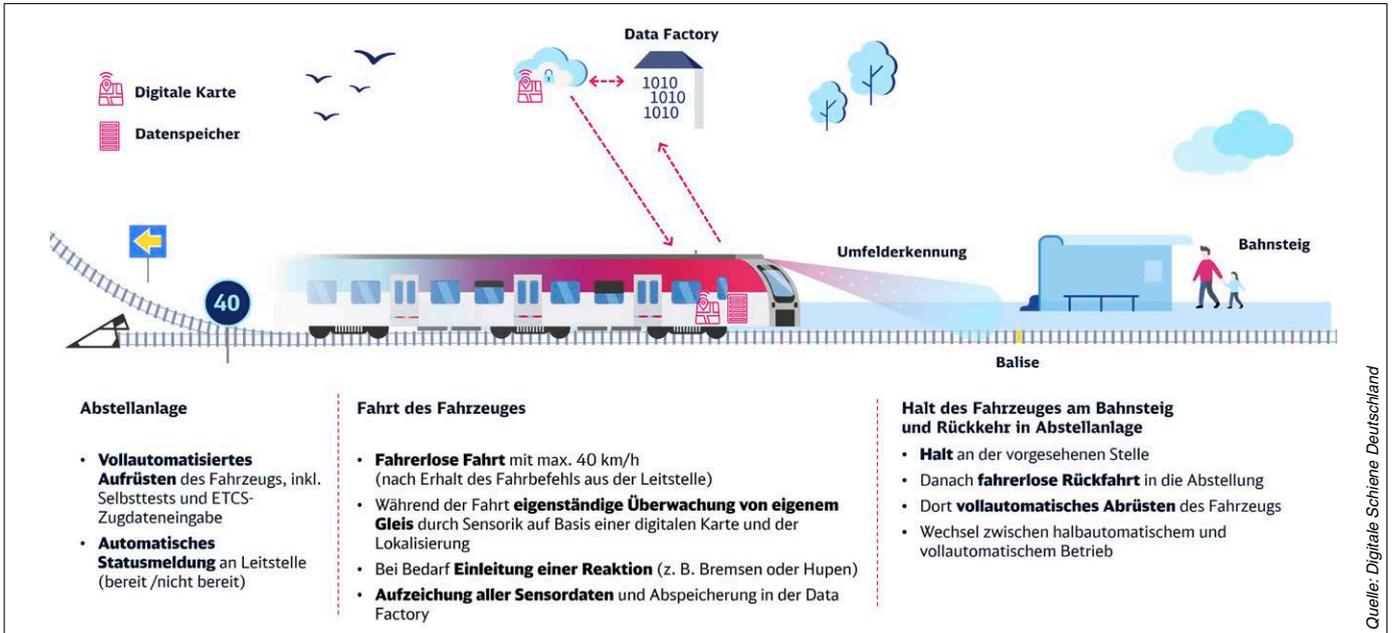


Abbildung 1: Überblick Anwendungsfall

Für das Projekt wird angenommen, dass bestehende Infrastrukturelemente wie Zäune, Gräben, Böschungen oder sonstige Absperrungen für den vollautomatisierten Betrieb nicht baulich verändert werden müssen. Außerdem soll keine Installation von Bahnsteigtüren oder einer infrastrukturseitigen Gleisbettüberwachung erfolgen.

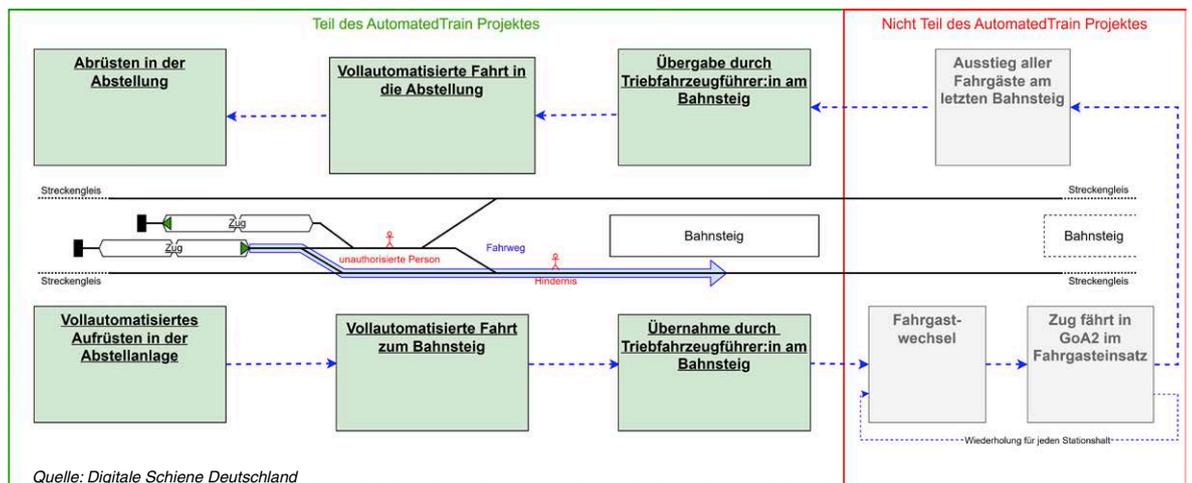
### Überblick über den Anwendungsfall

In der Abstellanlage wird der Zug vollautomatisiert aufgerüstet und fährt ohne Tf zum ersten Bahnsteig. Dort übernimmt der/die Tf den Zug und führt die folgenden Fahrten mit Passagieren durch. Am Ende des Betriebstages steigt der/die Tf am letzten Bahnsteig aus und der Zug fährt vollautomatisiert zurück in die Abstellung (Abbildung 1). Nachfolgend werden die Schritte im Einzelnen dargestellt (Abbildung 2):

### Schritt 1: Vollautomatisiertes Aufrüsten in der Abstellanlage

Die Durchführung und der Abschluss des Vorbereitungsdienstes zu einem im Vorfeld über Funk übermitteltem Bereitstellungszeitpunkt erfolgt vollautomatisiert: Dazu gehören die automatisierte Herstellung der Hauptstromversorgung und Aktivierung aller Systeme im Zug sowie die Durchführung von Selbsttests zur Prüfung verschiedener Funktionen, z. B. die automatische Bremsprobe oder eine Prüfung der Zugsteuerleitungen. Bei auftretenden Störungen am Zug wird eine Leitstelle auf Landseite kontaktiert, die Informationen über die aufgetretene Störung erhält und Maßnahmen zur Behebung einleitet. Dies könnte zum Beispiel den Einsatz von Personal vor Ort erfordern. In zukünftigen Projekten sollen die Züge auch mit Mitteln zur selbstständigen Störungsbehebung ausgestattet werden.

Abbildung 2: Teilschritte vollautomatisierte Bereit- und Abstellung



Nach Abschluss der Selbsttests wird das Zugende, das für die Fahrt benötigt wird, vollautomatisiert entsprechend dem Fahrauftrag aktiviert. Anschließend erfolgt vollautomatisiert die ETCS-Zugdateneingabe, die mit automatischer Betätigung des ETCS-Startknopfes und der Aussendung der Zugvorbereitungsmeldung an den Fahrdienstleiter abgeschlossen wird.

### **Schritt 2: Vollautomatisierte Fahrt zum Bahnsteig**

Vor der Abfahrt überwacht das System den Bereich vor dem Zug, inklusive des Bereiches der Oberleitung. Der überwachte Bereich leitet sich dabei aus dem Sichtbereich des/der Tf nach DIN EN 16186-1 ab. Der Zug fährt automatisch durch Aktivierung der ATO-Fahrsteuerung von der Parkposition ab, sofern der Bereich vor dem Zug und die Oberleitung frei von Hindernissen ist. Darüber hinaus muss die geplante Abfahrtszeit erreicht und eine Fahrerlaubnis erteilt worden sein.

Während der vollautomatisierten Fahrt mit einer maximalen Geschwindigkeit von 40 km/h überwacht das System den Bereich vor dem Zug entlang der Route. Dafür leitet das System Informationen aus der ETCS-Fahrerlaubnis ab. Bei erkannten Hindernissen warnt das System und bremst den Zug. Wird ein Hindernis im Oberleitungsbereich erkannt, wird der Stromabnehmer abgesenkt und der Zug ebenfalls gebremst. In beiden Fällen wird eine Leitstelle informiert. Ist die Sichtweite des Systems zum Beispiel durch Regen, Schnee oder Nebel eingeschränkt, wird die Fahrgeschwindigkeit automatisch reduziert.

Es wird angenommen, dass der Zutritt zur Abstellanlage nur autorisierten Personen gestattet ist, die die betrieblichen Prozesse und Regeln kennen. Autorisierte Personen sind durch das Tragen einer Warnweste gekennzeichnet. Werden unautorisierte Personen vom System erkannt, wird automatisch eine Leitstelle informiert. Beim Einfahren in den Bahnsteig überwacht das System weiterhin den Bereich vor dem Zug.

Aufgrund der weiter oben beschriebenen Annahme, dass die Installation von Bahnsteigtüren nicht vorgesehen ist, muss der Bereich nahe der Bahnsteigkante und im Gleisbett überwacht werden. Wenn Hindernisse in diesem Bereich erkannt werden, dann wird der Zug gebremst. Am Bahnsteig sind vom Infrastrukturbetreiber erforderliche Maßnahmen zu treffen, um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten. Dazu gehört die sichtbare Abgrenzung des Gefahrenbereichs an der Bahnsteigkante durch weiße Streifen.

Wie in Abbildung 1 gezeigt werden die bei der Überwachung der Strecke anfallenden Daten aufgezeichnet und an geeigneter Stelle an die Data Factory auf Landseite übertragen, um dort standardisiert abgelegt und beispielsweise für Testzwecke verwendet werden können.<sup>[3],[4]</sup>

### **Schritt 3: Übernahme durch Tf am Bahnsteig**

Nach seiner vollautomatisierten Fahrt aus der Abstellanlage hält der Zug an der vorgesehenen Halteposition am Bahnsteig und gibt die Türen für den Fahrgastwechsel automatisch frei. Der/die Tf steigt zu und übernimmt den Zug durch die Aktivierung des Führerstands. Damit ist der vollautomatisierte Betrieb beendet.

Nicht alle Prüfungen erfolgen im vollautomatisierten Vorbereitungsdienst. Sie werden vor Fahrtantritt am Bahnsteig oder an geeigneten Stellen, entsprechend den betrieblichen Regeln und unter Berücksichtigung der erforderlichen Durchführungszeit in der Dienstplanung, durch den/die Triebfahrzeugführende/n durchgeführt. Dazu gehören zum Beispiel die Prüfung der Anzeigen im Führerstand sowie die Prüfung der Sicherheitsfahrerschaltung und der Notbremsüberbrückung. Außerdem erfolgt eine optische Prüfung des Spitzenlichtes und die Sichtprüfung des Zuges. Nach Abschluss der Zugübernahme führt der/die Tf die Fahrten des Betriebstages mit Fahrgästen regulär durch.

### **Schritt 4: Übergabe durch Tf zur vollautomatisierten Fahrt in die Abstellung**

Nachdem der/die Triebfahrzeugführende am Ende der Fahrten den letzten Bahnsteig erreicht hat, deaktiviert er/sie den Führerstand. Anschließend wird das Zugende, das für die darauffolgende Fahrt benötigt wird, vollautomatisch aktiviert. Der/die Triebfahrzeugführende steigt aus und signalisiert dem Zug, dass sich niemand mehr an Bord befindet. Nach Erhalt der ETCS-Fahrerlaubnis fährt der Zug anschließend durch Aktivierung der ATO-Fahrsteuerung und unter oben beschriebener Beobachtung der Strecke vollautomatisch in die Abstellung

### **Schritt 5: Vollautomatisierte Fahrt in die Abstellung**

Die Durchführung erfolgt analog zu Schritt 2.

### **Schritt 6: Abrüsten in der Abstellanlage**

In der Abstellung werden automatisch die Parkbremsen angelegt. Im Anschluss erfolgt eine vollautomatisierte Abrüstung des Zuges in den Rüstzustand, der durch die Leitstelle vorgegeben wurde.

## **Entwicklung der Systemarchitektur**

Die Umsetzung des Betriebskonzepts und des Anwendungsfalls soll nicht mit einer einmaligen technischen Realisierung enden, sondern in eine langfristig standardisierbare und erweiterbare Systemarchitektur münden, die im Projekt erarbeitet wird. Daher wird basierend auf dem vorliegenden Betriebskonzept für die vollautomatisierte Vorbereitung und Bereitstellung von Triebzügen die Entwicklung der Systemarchitektur für das vollautomatisierte Bereitstellen vorangetrieben. Auf Grundlage eines im Projekt gemeinsam erarbeiteten technischen Verständnisses wird die Architektur

mit den Verbundpartnern abgestimmt und dient als Referenz für die Herleitung der Anforderungen an das System.

Das Entwicklungsteam bewertet eine Vielzahl von Konzeptalternativen, um die optimale Lösung zu ermitteln. Um die Skalierbarkeit des Systems sicherzustellen, orientieren sich die Architekturentscheidungen an ausgewählten Kriterien, wie Entwicklungskosten, Upgrade-Fähigkeit sowie dem nachträglichen und schrittweisen Einbau in Bestandszüge. Die Basis bilden die Anforderungen und Schnittstellen der Technischen Spezifikation für Interoperabilität – Command, Control and Signalling (TSI CCS) in Bezug auf European Rail Traffic Management System (ERTMS), ATO sowie die Ergebnisse der Shift2Rail GoA3/4-Arbeitsgruppe und der generischen Systemarchitektur der DSD.

Eine modulare und offene Systemarchitektur bildet die Grundlage für zukünftige Fahrzeugbestellungen und ermöglicht die schrittweise Nach- und Umrüstung der Technik in Zügen von GoA2 auf GoA4. Ziel ist es, eine erprobte und anerkannte Systemarchitektur zu entwickeln, die betriebliche Anforderungen einbezieht – über die Anwendungsfälle des Förderprojekts hinaus.

Definierte Schnittstellen ermöglichen die Austauschbarkeit von herstellerunabhängigen Technologieblöcken und entkoppeln Hardware- und Softwareinnovationszyklen. Dies erleichtert flexible Integrations-, Verifikations- und Validierungsstrategien und sichert die Marktverfügbarkeit und Skalierbarkeit des vollautomatisierten Systems. Die modulare Architektur ermöglicht auch Systemvarianten mit Teilfunktionen.

Die Systemausarbeitung erfolgt gemäß den CENELEC-Phasen Phase eins bis Phase fünf, um die Anforderungen und Schnittstellen der finalen Systemarchitektur zu definieren.<sup>[6]</sup> Außerdem findet zur Demonstration der Architektur eine prototypische Umsetzung

auf den zwei unterschiedlichen Triebzügen Alstom/ Bombardier BR430 und Siemens Mireo statt. Externe Gutachtende begleiten das Projekt kontinuierlich, um eine spätere Zulassung und die europäische Standardisierung sicherzustellen. Dies sichert die Wiederverwendung in zukünftigen Pilot- und Rollout-Projekten und legt besonderen Wert auf Standardisierung und zulassungskonforme Ableitung der Anforderungen und Schnittstellen.

### Überblick Systemarchitektur

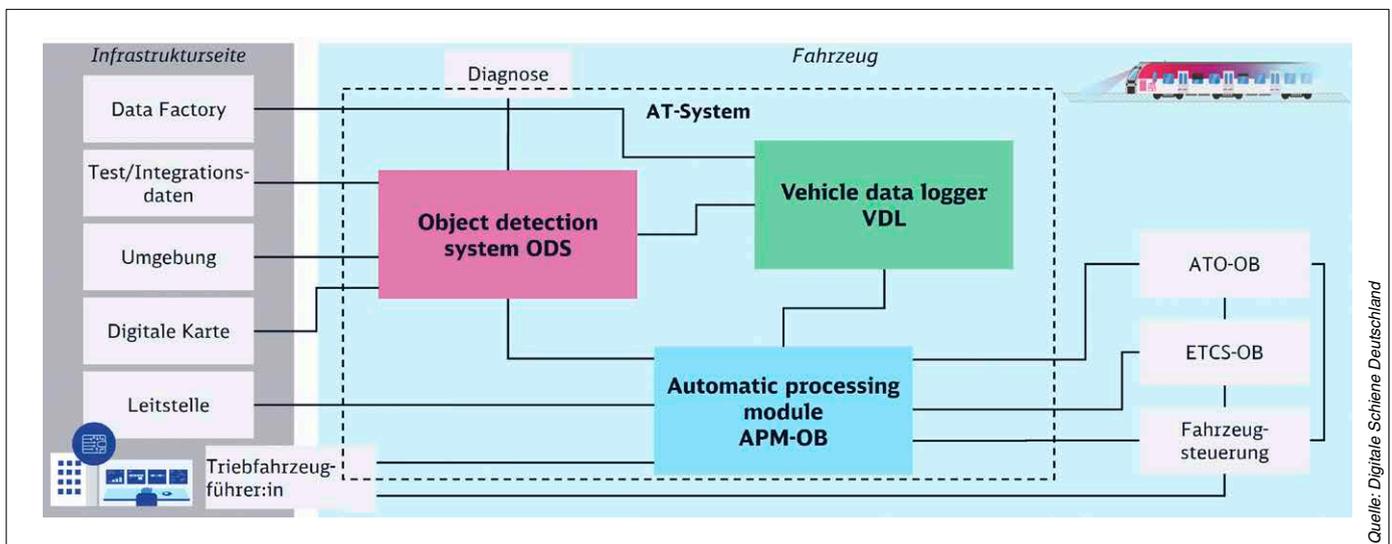
Die Systemarchitektur für das vollautomatisierte Bereitstellen umfasst neben den bestehenden Umsystemen drei zentrale Systemelemente: das Automatic Processing Module (automatisches Verarbeitungsmodul, APM-OB), das Object Detection System (Objekterkennungssystem, ODS) und der Vehicle Data Logger (Fahrzeugdatenspeicher, VDL).

#### Automatic Processing Module

Das Automatic Processing Module (APM-OB) fungiert als zentrales Steuerungselement des vollautomatisierten Systems. Es übernimmt die Hauptkommunikationsschnittstelle zur Leitstelle auf Infrastrukturseite sowie zu auf dem Zug vorhandenen Umsystemen, wie ETCS, ATO und der Fahrzeugsteuerung.

Hier sind die betrieblichen Anforderungen entscheidend, um betrieblich korrekte und eindeutige Befehle an das System zu gewährleisten. Das APM-OB übermittelt effektiv und effizient den Zustand des vollautomatisierten Zuges. In Zusammenarbeit mit Abteilungen aus dem operativen Eisenbahnbetrieb werden entsprechende Arbeitsabläufe und Prozesse für die Steuerung eines vollautomatisierten Zuges ermittelt. Das APM-OB steuert die Vorbereitungstests, überwacht die Systemelemente und deren Zustand und trifft Entscheidungen, insbesondere als Reaktion auf vom ODS erkannte Objekte auf der Strecke.

Abbildung 3: Schematische Darstellung der Systemarchitektur AutomatedTrain



Quelle: Digitale Schiene Deutschland

### Object Detection System

Das ODS vereint modernste Sensorik und intelligente Technologien, um mithilfe von Sensordaten, digitalen Kartendaten und Zuginformationen Objekte auf dem eigenen Gleis sowie in dessen Umgebung zu erkennen, präzise zu lokalisieren und eindeutig zu identifizieren. Die Liste erkannter Objekte wird an das APM-OB gesendet, das daraufhin entsprechende Entscheidungen trifft (z. B. das Einleiten einer Notbremsung).

### Vehicle Data Logger

Der VDL speichert sämtliche Sensordaten, erkannte Objekte und Systementscheidungen. Diese Daten werden in der Abstellung an die Data Factory der DSD übertragen. Diese Daten dienen der Bewertung und Weiterentwicklung des prototypisch entwickelten Systems und dem Training zukünftiger Systeme.

### Schnittstellen und Integration

Bei den Schnittstellen zu bestehenden Systemen im Zug wird darauf geachtet, diese möglichst gering zu halten und ihren Einfluss auf bestehende Zertifizierungen zu minimieren. Hierbei sind die Schnittstellen zu ATO, ETCS und der Fahrzeugsteuerung im Fokus. Zusammen mit den Verbundpartnern werden Testschnittstellen entwickelt, die die Integration und Verbesserung des Systems sowie zukünftige Forschung erleichtern. Dazu gehören unter anderem Test- und Integrationsschnittstellen, die beispielsweise das Einspielen einer simulierten Umgebung ermöglichen, um zukünftige Entwicklungsiterationen zu beschleunigen.

### Fazit

Mit dem Betriebskonzept des Förderprojektes „AutomatedTrain“ werden die Betriebsumgebung, die Fahrzeuge und der Anwendungsfall für das vollautomatisierte Auf- und Abrüsten von Zügen sowie die Bereit- und Abstellungsfahrt definiert. Die sich daraus ergebenden technischen und betrieblichen Randbedingungen bilden die Basis für die nächsten CENELEC-Phasen mit Systemdefinition und Risikoanalyse im Projekt.

Die Modularität und Offenheit der Systemarchitektur sowie die standardisierungsbereiten Schnittstellen gewährleisten, neben der betriebswirtschaftlichen Notwendigkeit des Anwendungsfalles, des gemeinsamen Entwicklungsprozesses zwischen den Verbundpartnern nach CENELEC sowie der Sicherstellung der Eingliederung in Bestandssysteme, dass die für das Projekt entwickelte Systemarchitektur die Grundlage für zukünftige Ausschreibungen sowie eine europäische Standardisierung bildet. Dies schafft eine flexible, skalierbare und zukunftssichere Basis und fördert damit die Einführung der Technologie für das vollautomatisierte, fahrerlose Bereit- und Abstellen im Automatisierungsmodus ATO GoA4 (Abbildung 3). ■

### Quellen

- [1] D. Spiegel und C. Hauswald: Vollautomatisiertes, fahrerloses Fahren auf der Schiene, Der Eisenbahningenieur 05/24, S. 18-21.
- [2] Digitale Schiene Deutschland, DB InfaGo AG: Digitale Schiene Deutschland und Industrie erhalten Förderbescheid für das Testen des vollautomatisierten Fahrens von Zügen, Deutsche Bahn AG, 26.07.2023. Online unter: <https://digitale-schiene-deutschland.de/de/aktuelles/2023/foerderbescheid-vollautomatisiertes-fahren> [Zugriff am 02.08.2024].
- [3] Digitale Schiene Deutschland, DB InfaGo AG: Digitale Schiene Deutschland Entwicklungsprojekt Data Factory, Deutsche Bahn AG. Online unter: <https://digitale-schiene-deutschland.de/de/projekte/Data-Factory> [Zugriff am 09.08.2024].
- [4] P. Marsch, P. Neumaier, P. David, B. du Chatinier: Pan-European Railway Data Factory – Infrastruktur und Ökosystem für einen vollautomatisierten Bahnbetrieb, Signal & Draht 04/24, S. 6-14.
- [5] Europäische Komitee für elektrotechnische Normung, DIN EN 50126: Spezifikation und Nachweis von Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit (RAMS), 2017.

#### Lesen Sie auch

#### **Simulationsbasierte Systemtests: Schlüssel für die Digitalisierung des Bahnsystems**

Deine Bahn 11/2023

#### **Systemarchitektur für das digitale Bahnsystem: neue Akzente für die Standardisierung**

Deine Bahn 11/2022

#### **ATO als Zukunftstechnologie im Schienenverkehr**

Deine Bahn 3/2022