

AutomatedTrain – Integration eines skalierbaren Diagnosekonzepts

Service-Oriented Vehicle Diagnostics für die betriebliche Überwachung komplexer Systeme in automatisierten Zügen

MARC DAVID RABE | STEPHAN ADELBERG |
KEVIN RENATUS | BERNARD BÄKER

Service-Oriented Vehicle Diagnostics (SOVD) ist ein Standard aus der Automobilindustrie, der eine leistungsfähige Lösung für die Fahrzeugdiagnose darstellt, indem Diagnosedaten und -funktionen als Dienste bereitgestellt werden. Für eine Anwendung im Bahnsystem wird im Projekt „AutomatedTrain“ die Realisierung der Diagnosekommunikation und Datenerhaltung zur betrieblichen Überwachung der Umfelderkennung eines Automatic-Train-Operation (ATO)-Fahrzeugs im Automatisierungsgrad 4 entwickelt und erprobt. Die Integration standardisierter Software- und Hardware-Komponenten realisiert ein modulares, skalierbares technisches System. Der Ansatz stellt eine automatisierte und robuste Zustandsüberwachung komplexer Bahnsysteme auf Basis offener Standards und dessen wirtschaftliche Relevanz im Systemeinsatz dar.

Motivation und Herausforderungen Schienenfahrzeugdiagnose

Im Forschungs- und Entwicklungsprojekt AutomatedTrain – gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) – kooperieren neun Partner aus Industrie und Wissenschaft zur Entwicklung von Systemen für vollautomatisierte Bereit- und Abstellungsfahrten im Bereich vom ersten und letzten Bahnhof. Hierbei wird der Technologie ATO im Automatisierungsgrad 4 (ATO GoA 4) eine wesentliche Rolle zuteil.

ATO bietet betriebliche Vorteile und kann zur deutlichen Steigerung der Betriebsstabilität beitragen (Reduktion von Störungen und Ausfällen). Zusätzlich trägt ATO zu einer energetisch optimierten Fahrweise bei, erlaubt Einsparungen bei den Personalkapazitäten und senkt langfristig die Betriebskosten [1]. ATO ist somit eine Schlüsseltechnologie, um den zukünftigen Bahnbetrieb ökonomisch nachhaltig zu gestalten. Mit steigendem Automatisierungsgrad und zusätzlicher Technik erhöht sich ohne ein entsprechend ausgelegtes Diagnosesystem die Anfälligkeit des Gesamtsystems für technische Störungen, die nicht automatisch behoben werden können. Ein leistungsfähiges Diagnosesystem kann in diesem Zusammenhang die Robustheit des Systems steigern, indem es durch automatisierte Fehlererkennung und -meldung betriebliche Auswirkungen reduziert und so die Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit des Systems erhöht. Der Implementierung leistungsfähiger, skalierbarer Diagnosesysteme stehen einige Herausforderungen gegenüber. Eine hohe Variantenvielfalt bei gleichzeitig geringen Stückzahlen baugleicher Systeme erschwert die Schaffung klassischer Skaleneffekte, wie sie etwa in der Automobilindustrie sichtbar sind. Bei langen Fahrzeuglebenszyklen von 30 Jahren und mehr wird die Obsoleszenz von Software und elektronischen Komponenten zu einem kritischen Risiko. Ersatzkomponenten müssen daher auch nach Abschluss der ursprünglichen Produktion während des Fahrzeuglebenszyklus in das Diagnosesystem eingebunden werden, wobei ihre Auswirkungen auf das Gesamtsystem zu berücksichtigen sind. Für die Realisierung von ATO GoA 3-4 sind zusätzliche Systeme erforderlich, beispielsweise zur Umfeldwahrnehmung [2]. Die Integration dieser hochgradig vernetzten und weitgehend softwarebasierten Systeme erhöht die Komplexität des Gesamtsystems. Dadurch können Fehler systemübergreifend auftreten und Auswirkungen über Systemgrenzen hinweg verursachen.

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, verfolgt das Teilprojekt Diagnose im Projekt AutomatedTrain den Ansatz, bewährte Diagnosekonzepte aus der Automobilindustrie zu integrieren. Durch die konsequente Nutzung offener Standards können diese über verschiedene Fahrzeugplattformen hinweg skaliert, kann die Austauschbarkeit einzelner Komponenten gewährleistet und können Systeme verschiedener Zulieferer erfolgreich integriert werden. Ein solches modulares und skalierbares Diagnosekonzept ist weit mehr als eine technische Notwendigkeit; es stellt einen entscheidenden Vorteil gegenüber monolithischer proprietärer Diagnosekonzepte dar. AutomatedTrain gibt damit wichtige Impulse in den Sektor und legt den Grundstein für die Entwicklung serienfähiger Produkte durch die Industrie.

In diesem Beitrag werden zunächst Aufgaben und Anforderungen an Diagnosesysteme im Kontext von ATO GoA 3-4 Triebfahrzeugen beleuchtet. Nach einem kurzen Überblick über

den Stand der Technik wird ein Diagnosesystem auf Basis des SOVD-Standards [3] aus der Automobilindustrie vorgestellt sowie exemplarisch auf notwendige Diagnose-Services für ATO GoA 3-4 Fahrzeuge eingegangen. Es wird aufgezeigt, dass ein solches System bereits heute mit bestehenden Train-Communication-Network (TCN)-Architekturen kompatibel ist und einer Integration aus technischer Sicht nichts entgegensteht. Die Leistungsfähigkeit eines solchen Systems beruht auf der Anwendung existierender Standards und ermöglicht die Überwachung komplexer, softwarebasierter Systeme. Es wird demonstriert, wie sich Diagnoseergebnisse in Incident Prevention Management (IPM) und Instandhaltungssysteme integrieren lassen und damit zur Steigerung von Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit, Instandhaltungsfähigkeit und Sicherheit beitragen.

ATO GoA 3-4: Diagnoseaufgaben und Anforderungen in Fahrzeugen

Diagnoserelevante Aufgaben umfassen das Überwachen technischer Systeme inklusive Fehlerdetektion, die Identifizierung von Maßnahmen zur Schadensprävention im Fehlerfall sowie die Lokalisierung von Fehlerursachen und anschließender Einleitung korrekativer Maßnahmen im Sinne der Instandhaltung. Bei elektronischen Systemen ist für die Erfüllung dieser diagnostischen Aufgaben die Verfügbarkeit von Zustandsdaten der betroffenen Systeme, Subsysteme und Einzelkomponenten eine grundlegende Voraussetzung.

Fehlermanagementprozesse sind nicht vollumfänglich standardisiert und unterliegen den Richtlinien des jeweiligen Eisenbahnverkehrsunternehmens (EVU). Bei modernen Schienenfahrzeugen stellen Hersteller und Systemzulieferer eine Liste bekannter Fehlerfälle zur Verfügung, für die spezifische Detektionsmechanismen implementiert sind. Tritt ein solcher Fehler auf, wird der Triebfahrzeugführer (Tf) über das Train Control and Management System (TCMS) informiert und ist in erster Instanz für die Einleitung geeigneter Maßnahmen verantwortlich (z.B. Meldung an die Leitstelle oder Entscheidung über die Fortführung des Betriebs (Abb. 1)). Bei ATO GoA 3-4 Fahrzeugen entfällt der Tf, sodass dessen Aufgaben entweder von einer Maschine, dem Betriebspersonal oder von der Leitstelle übernommen werden müssen. Daher ist ein System erforderlich, welches vollautomatisiert Fehlerinformationen in

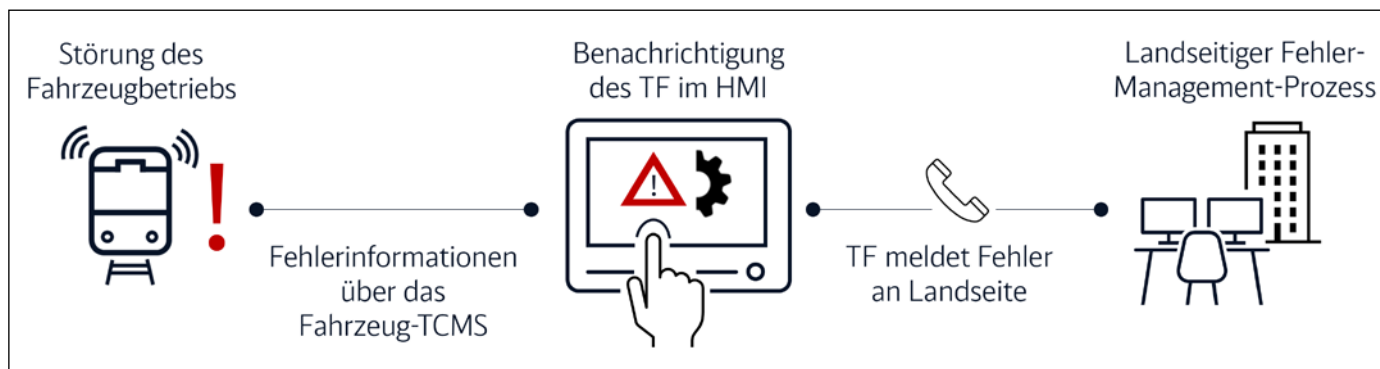


Abb. 1: Beispielhafter Prozess des Fehlermanagements bei Störungen im Betrieb

ausreichender Qualität für die Entscheidungsfindung über den weiteren Betriebsablauf bei einem vorliegenden Fehlerbild bereitstellt. Ein solches Diagnosesystem muss große Datenmengen in Echtzeit verarbeiten können und sollte daher bevorzugt im Fahrzeug (on-board) installiert werden. Der Leitstelle wird eine reduzierte Datenmenge – nämlich lediglich die für den Betrieb relevanten Key Performance Indikatoren – zur Verfügung gestellt.

Für die Realisierung von ATO-Funktionen sind Systeme unter anderem für die Umfeldwahrnehmung und Lokalisierung erforderlich. Erst das korrekte Zusammenspiel mit der Fahrzeugsteuerung ermöglicht einen sicheren Betrieb. Bei diesen Systemen handelt es sich überwiegend um softwarebasierte und oftmals hochgradig vernetzte Lösungen. Sensoren zur Umfeldwahrnehmung erzeugen im Vergleich zu eindimensionalen Sensoren höherdimensionale Signalmatrizen. Klassische Überwachungsansätze wie die Grenzwertüberwachung reichen zur Überwachung solcher Systeme nicht mehr aus. Bei softwarebasierten Systemen müssen künftig im Rahmen

der Diagnose auch Log-Dateien ausgewertet werden. In hochgradig vernetzten Systemen dürfen Fehlermeldungen zudem nicht isoliert betrachtet, sondern müssen im Gesamtkontext interpretiert werden.

In nicht automatisierten Fahrzeugen übernimmt der Tf (teils unterbewusst) Aufgaben der Fehlererkennung. Seine menschliche Perception (visuell, auditiv, olfaktorisch) befähigt ihn, untypisches Funktionsverhalten – mitunter bereits im Frühstadium – zu erkennen und macht ihn somit zu einem wichtigen Symptomgeber im Kontext der Diagnose. Ohne Tf basiert die diagnostische Bewertung der Systeme ausschließlich auf deren Eigendiagnose. Um die Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit von ATO-Funktionen zu gewährleisten, muss die Eigendiagnose in die Lage versetzt werden, kritische Fehlerbilder prädiktiv zu erkennen und bereits vor dem Auftreten eines Fehlers an eine Leitstelle zu melden. Nur so können erforderliche Maßnahmen zum Aufrechterhalten des Betriebs (wie etwa Kalibrierung, Sensorreinigung oder das Umschalten auf redundante Systeme) rechtzeitig eingeleitet werden.

Stand der Technik: Diagnose- und Monitoringsysteme für ATO

Diagnose- und Monitoringsysteme, insbesondere im Zusammenhang mit ATO, wurden in den vergangenen Jahren von mehreren europäischen Forschungsinitiativen behandelt. Gemeinsame Ziele dieser Initiativen sind die Harmonisierung, Standardisierung und Modularisierung entsprechender Systeme. Die Initiativen OCORA [4] und HERD [5] verfolgten das Ziel, Grundlagen für eine herstellerunabhängige Diagnosearchitektur zu schaffen. In OCORA wurde eine offene und modulare logische Referenzarchitektur zur Trennung von Software und Hardware entwickelt, während die Initiative HERD Anforderungen an den Austausch von Diagnosedatenformaten identifizierte. Durch Modularisierung von Soft- und Hardware lassen sich Schnittstellen standardisieren und lässt sich der Austausch von Komponenten erleichtern. Da in OCORA sämtliche Daten über einen virtuellen, standardisierten Kommunikationsbus übertragen werden, kann die Diagnose zentralisiert als Service auf einer Rechnerplattform implementiert werden.

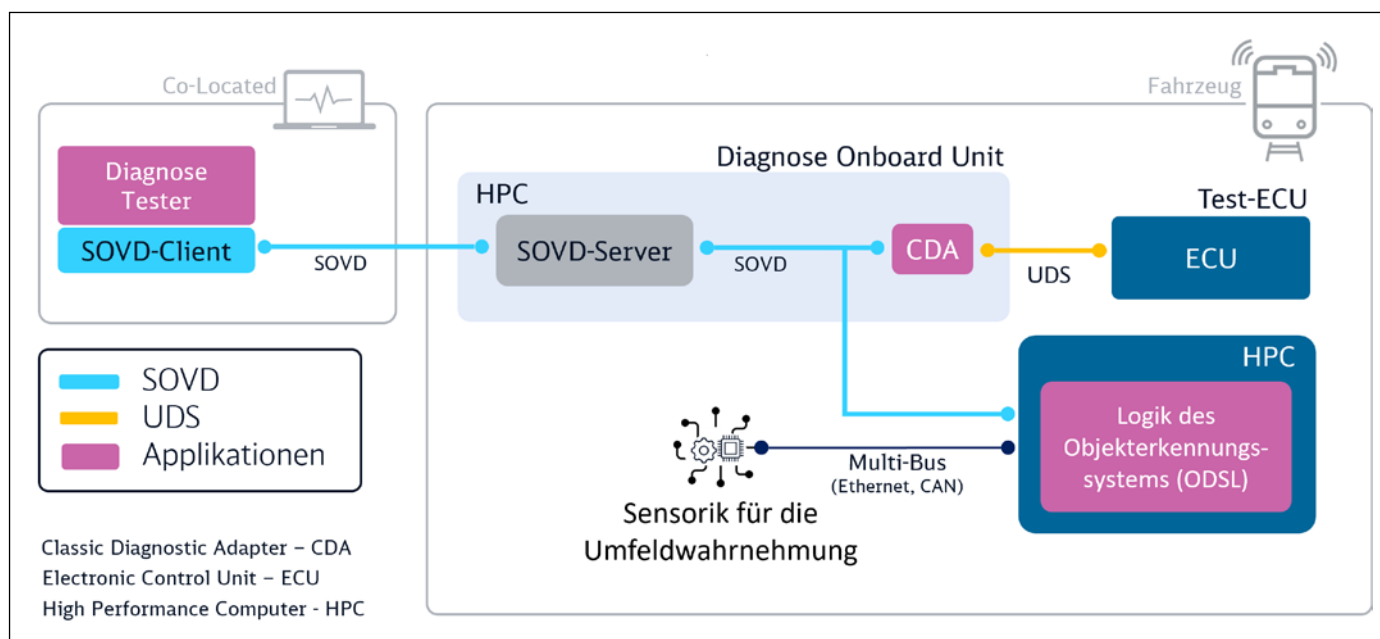


Abb. 2: SOVD-Anwendungsszenarien und Architektur

Listing 1: Allgemeiner Aufbau eines SOVD Requests zur Abfrage von Diagnosedaten

```
GET {base_uri}/{entity_path}/{resource_collection}
```

Listing 2: SOVD-GET-Request zum Auslesen von Fehlerspeichern der Kamera

```
GET {base_uri}/components/LongRangeCamera/faults
```

Listing 3: SOVD-GET Request zur zyklischen Übermittlung eines Diagnose-Monitoring Ergebnisses

```
GET {base_uri}/apps/CameraMonitoring/cyclic-subscriptions/0815/events
```

Listing 4: SOVD-Responses (JSON) über eingetragene Fehlerspeicher (links) und zyklische Meldung des Degradationszustands der Kamera (rechts)

<pre>{ "items": [{ "code": "0012E3", "scope": "Default", "display_code": "P0012", "fault_name": "No signal from sensor", "severity": 1 }] }</pre>	<pre>{ "timestamp": "2026-03-12T09:09:53Z", "payload": { "id": "LongRangeCamera", "data": { "DegredationStatus": 20 } } } { "timestamp": "2026-03-12T09:09:57Z", "payload": { "id": "LongRangeCamera", "data": { "DegredationStatus": 23 } } } ...</pre>
---	--

Abb. 3: Listings

Kommunikationssysteme sind das Rückgrat für die zentrale Diagnose verteilter Systeme. Um eine herstellerübergreifend sichere Kommunikation zu ermöglichen, wurde im Rahmen von Safe4Rail-3 [6] auf physikalischer Ebene ein zentraler TSN (Time Sensitive Network) over Ethernet-Bus vorgeschlagen. Die Initiative R2DATO [7] empfiehlt für nicht sicherheitskritische Anwendungen, wie beispielsweise die Werkstattdiagnose, den ebenfalls standardisierten TCMS-Dataservice als zentralen Bus. Auch hierbei sollen standardisierte Schnittstellen eingesetzt werden.

Im Projekt TAURO [8, 9] werden notwendige Diagnosefunktionen für ATO adressiert. Dabei wird in zu prüfende Funktionalitäten vor Missionsstart und zu überwachende Funktionen während des ATO-Betriebs unterschieden. Im Fehlerfall werden Auto-Recovery-Funktionen vorgeschlagen, die eine schnelle Wiederherstellung des Betriebs ermöglichen.

Eine Möglichkeit zur Fehlerbehebung ist die Fernsteuerung von Fahrzeugen (Remote Train Operation, RTO). Im Projekt ARTE [10] wurde dieser Ansatz durch Unterstützungsmaßnahmen

einer Leitstelle ergänzt, die das Zugpersonal bei der Fehlerbehebung unterstützt.

SOVD-basiertes On-board-Fehlermanagementsystem für Schienenfahrzeuge

Der Überblick über den Stand der Technik offenbart eine Forschungslücke bei aktuellen Bestrebungen. Einerseits werden die Standardisierung und Modularisierung von logischen und physischen Architekturen vorangetrieben, andererseits beschäftigen sich bestehende Forschungsprojekte mit dem konkreten Dia-

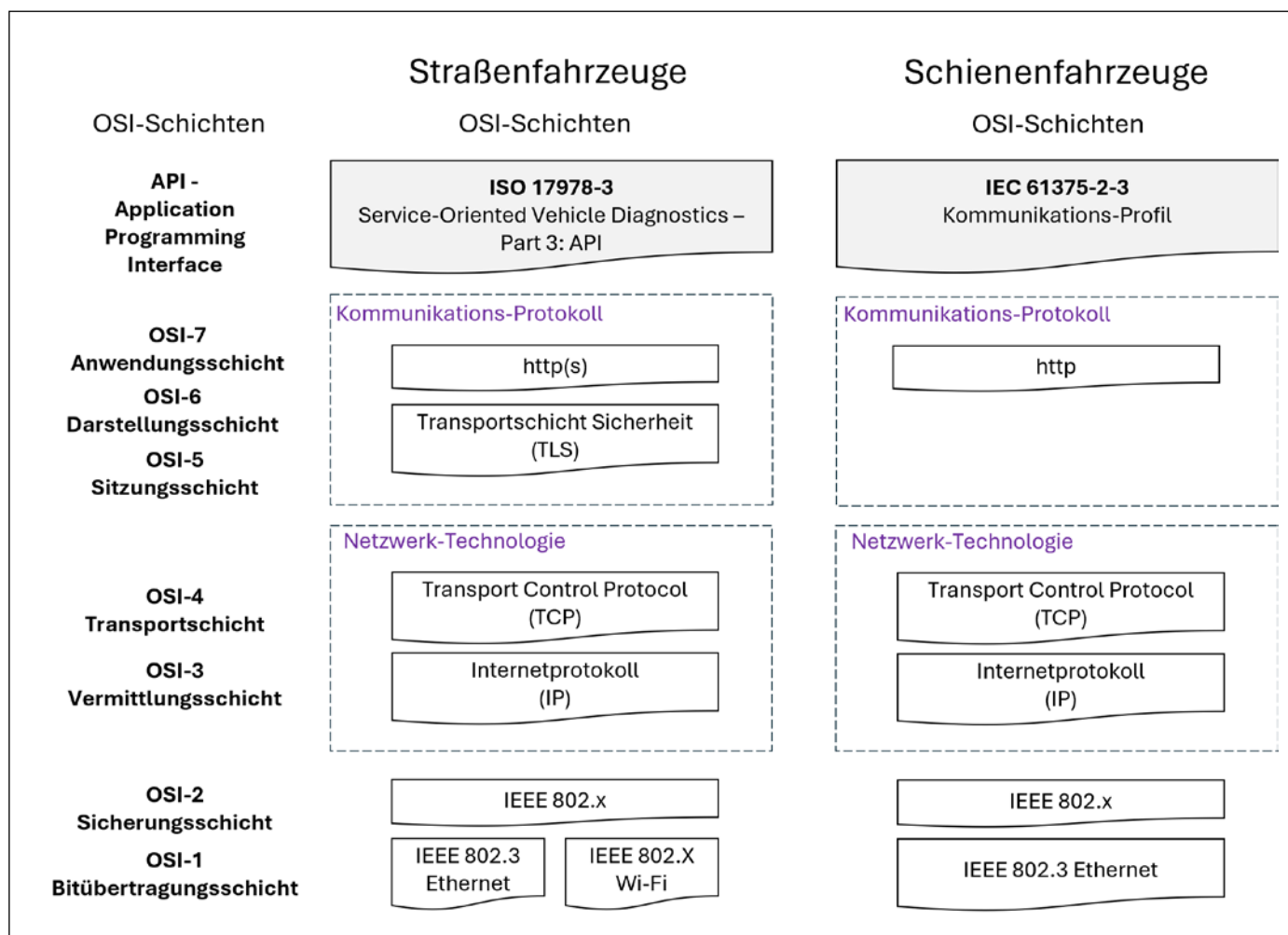


Abb. 4: OSI-Schichten von SOVD im Automotive- und im Rail-Kontext

gnosebedarf für ATO GoA 3-4 Fahrzeuge. Das Diagnosesystem selbst wurde in den betrachteten Projekten jedoch – obwohl in anderen Industriezweigen bereits etablierte Standards existieren – bislang vernachlässigt.

In der Automobilindustrie wird bereits seit zwei Jahrzehnten ein Server-Client-Ansatz für die Fahrzeugdiagnose eingesetzt. Dabei fungieren Electronic Control Units (ECU) oder High Performance Computer (HPC) als Diagnoseserver, die von einem Client, dem Diagnose-Tester, ausgelesen werden (Abb. 2). Für die Diagnose wird das Unified Diagnostic Services (UDS) [11] Protokoll verwendet. Die Kommunikation erfolgt über die vorhandenen Bussysteme auf Basis standardisierter Protokollstacks. Ähnlich wie im Bahnsektor steht auch die Automobilindustrie vor Herausforderungen bei der Diagnose softwarebasierter Systeme. Da jedoch hersteller- und zuliefererübergreifend Diagnosesysteme auf standardisierten Protokollen aufgebaut sind, konnte mit der Einführung des SOVD-Standards auf Applikationsebene eine mit UDS kompatible Lösung geschaffen werden – ohne bestehende Systeme zu beeinträchtigen.

Kompatibel mit den genannten Standards UDS und SOVD hat sich in der Automobilindustrie ein Diagnose-Ökosystem etabliert, das

über Protokolle hinaus auch Beschreibungssprachen für Diagnosedaten (ODX [12]) und Testabläufe (OTX [13]) umfasst. Es existieren zahlreiche SOVD-Server/Client-Implementierungen verschiedener Hersteller, wodurch der Wettbewerb gefördert und eine Weiterentwicklung – im Gegensatz zu proprietären Systemen – sichergestellt wird. Da Sensorik zur Umfeldwahrnehmung, wie sie in ATO-Fahrzeugen eingesetzt wird, ebenfalls in erheblichem Maße in der Automobilindustrie genutzt wird, ist deren Kompatibilität zu UDS und/oder SOVD oftmals schon im Vorhinein gegeben. Eine mögliche SOVD-orientierte Architektur für Schienenfahrzeuge kann der Abb. 2 entnommen werden.

SOVD-Protokollstack und Kompatibilität mit TCN

Zur Vorstellung des SOVD-Protokollstacks wird dieser zunächst im ISO/OSI-Referenzmodell eingeordnet und anschließend dessen Kompatibilität mit bestehenden TCN-Architekturen nachgewiesen.

SOVD ist als API auf der Applikationsschicht (Schicht 7) definiert und standardisiert Methoden zur Diagnoseinteraktion mit Steuergeräten. Die API verfolgt einen REST-Ansatz, der auf

HTTP-Requests und -Responses basiert. Um Diagnosedaten eines Steuergeräts abzufragen, wird der SOVD-Server über seine IP-Adresse (base_uri) angesprochen und ein GET-Request im SOVD-standardisierten Schema gestellt (vgl. Abb. 3, Listing 1). Der Server liefert die Antwort als Response im JSON-Format. SOVD unterscheidet dabei zwischen verschiedenen Entitäten wie z.B. Applikationen, Funktionen, Bereichen und Komponenten. Diese Entitäten enthalten wiederum Diagnosedaten (z.B. Fehlerspeichereinträge oder Log-Dateien) als Ressourcensammlungen (resource_collection). Der Standard ermöglicht verschlüsselte Kommunikation mittels TLS auf der Sicherungsschicht (Schicht 5), wobei deren Nutzung optional ist. Auf Netzwerkebene wird der TCP/IP-Stack verwendet, während auf Bitübertragungsschicht Ethernet (IEEE 802.3 und IEEE 802.x) definiert ist.

In Abb. 4 ist der SOVD-Protokollstack dem TCN-Protokollstack gemäß EN 61375-2-5 [14] gegenübergestellt. Die Kompatibilität zwischen beiden Stacks ist offensichtlich. Auch für die im Projekt Safe4Rail-3 vorgestellte TSN-over-Ethernet-Architektur sind keine Inkompatibilitäten zu erwarten, da diese ebenfalls auf dem TCP/IP-Stack aufbaut.

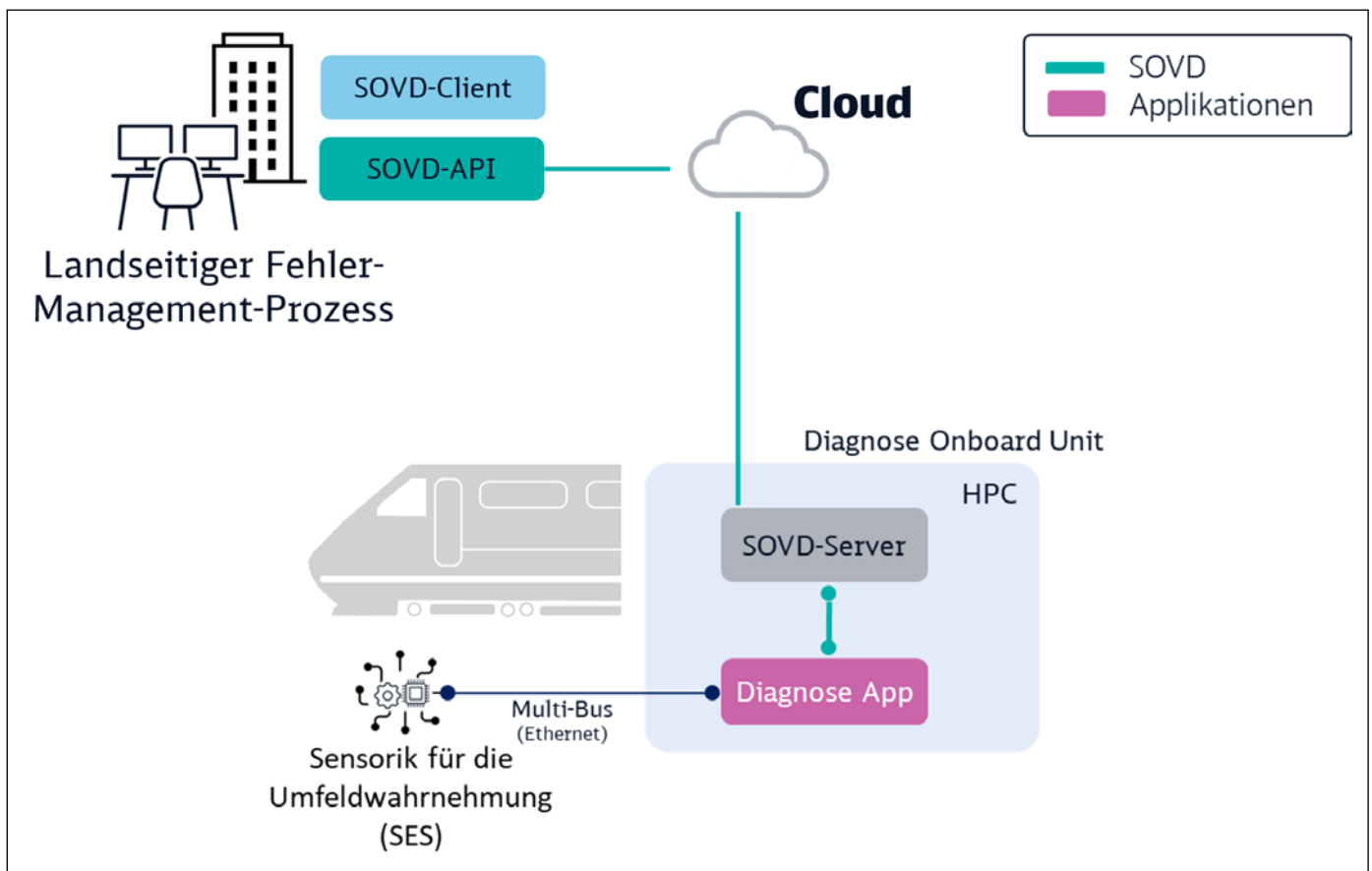


Abb. 5: Systemarchitektur des Demonstrationsbeispiels zur SOVD-basierten Sensordiagnose

Use-Cases für ein SOVD-basiertes On-board-Fehlermanagementsystem

Exemplarisch werden zwei Minimal-Use-Cases zur Diagnose von Sensorik zur Umfeldwahrnehmung mittels SOVD-Implementierung vorgestellt. Der erste Use-Case

behandelt das Auslesen des Fehlerspeichers einer Kamera. Im zweiten Use-Case wird das Monitoring-Ergebnis eines Degradationsschätzers für die Kamera kontinuierlich an eine Leitstelle (über GSM-R oder FRMCS) übermittelt. Der Systemaufbau dieses Mini-

malbeispiels mit SOVD-Diagnosesystem ist in Abb. 5 dargestellt.

Die zu diagnostizierende Kamera ist über eine Ethernet-Schnittstelle mit einem On-board-Rechner verbunden. Eine Diagnose-Applikation überwacht das Kamerabild und

Wir sind dort, wo Ihre Kunden sind.

und so geht es weiter ...

DER
EISENBAHN
INGENIEUR

SEPTEMBER
Heft 9

22.09. - 25.09.26
30. InnoTrans 2026,
Berlin

NOVEMBER
Heft 11

12.11. – 13.11.2025
26. Internationaler SIGNAL+
DRAHT-Kongress, Fulda

Weitere Infos: Silke Härtel • Telefon: 040/237 14-227 • silke.haertel@dvvmedia.com

Änderungen vorbehalten.

THEMENSCHWERPUNKTE:

Ausgabe Nr. 8/26

22. Fachtagung „Konstruktiver Ingenieurbau“

- Moderne Gleisgeometrievermessung im Kontext des Stopfprozesses
- Bauvermessung – eine unterschätzte Schlüsselfunktion
- Ganzheitliche Bauwerksanalyse und -überwachung aus einer Hand
- Maßnahmen und Werkzeug für eine starkregenresiliente Schiene
- Friesenbrücke: Europas größte Dreh-Hub-Brücke
- Von der Trassenidee zur Vorzugstrasse
- Führerstandsinalisierung: Die Schweiz stellt Weichen für die digitale Zukunft der Bahn

Anzeigenschluss: 14.7.26

Erscheinungstermin: 11.8.26

Ausgabe Nr. 9/26

Offizielle Messeausgabe zur InnoTrans mit Ausstellervorbericht

- Schleifgeräte zur Instandhaltung
- Zulassung des Y25-Drehgestells
- Hochintegrierte All-in-One-Audioplattform für den öffentlichen Verkehr
- Stahlortenwahl für Bauteile von Eisenbahnbrücken
- Weichendiagnose mittels Achslagerbeschleunigungen aus dem Regelzug
- Schienenbearbeitung und -reinigung
- Innovative Lösung für effizienten Lärmschutz – Schienenstegdämpfer

Anzeigenschluss: 7.8.26

Erscheinungstermin: 11.9.26

Ausgabe Nr. 10/26

50. Tagung „Moderne Schienenfahrzeuge“, Graz

- Qualifizierung als Schlüsselfaktor für Qualität im Baumanagement
- Niederschwellige Umsetzung von Condition Monitoring und Predictive Maintenance
- BIM -3D, 4D, 5D: Herausforderungen in Chancen bei Süderelbbrücken
- Brückenübergänge am Beispiel der Messina-Brücke
- Saubere Züge durch Vereinfachung
- Gleis-Tragwerk-Interaktion bei längsbeweglichen Oberbau
- Ein Überblick zum Thema „Kritische Bahninfrastruktur“

Anzeigenschluss: 17.9.26

Erscheinungstermin: 15.10.26

Haben Sie Fragen?
Kontakt: Silvia Sander
Telefon: +49/40-237 14-171
E-Mail: silvia.sander@guvym2026.com

berechnet einen Degradationsstatus, der dem SOVD-Server zur Verfügung gestellt wird (Abb. 5).

In Listings 2 bis 4 (Abb. 3) sind die notwendigen SOVD-Requests und mögliche Responses bei Umsetzung dieser Beispiele aufgeführt. Zyklische Updates werden in SOVD über Server-Sent-Events realisiert. Beim Übermitteln von Fehlerspeicherdaten können auch zusätzliche Informationen wie Umgebungsbedingungen mitgesendet werden. Dieses Minimalbeispiel verdeutlicht den geringen Aufwand für die Implementierung der Diagnosekommunikation mit SOVD. Im Vergleich zu proprietären Lösungen ermöglicht dieser standardisierte Ansatz eine unkomplizierte Anbindung des Diagnosesystems an externe Dienste – beispielsweise für Instandhaltungsanwendungen, IPM-Systeme oder für nachgelagerte Auswertung zur Betriebsoptimierung.

Fazit und Ausblick

Diagnosesysteme sind wesentlich, um Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit technischer Systeme dauerhaft sicherzustellen. Mit dem Wegfall des Tf in ATO-Triebfahrzeugen steigt der Bedarf, Diagnoseprozesse konsequent zu automatisieren. Bestehende proprietäre Diagnosesysteme werden durch die vermehrte Integration softwarebasierter Systeme an ihre Grenzen stoßen. Der hier vorgestellte Ansatz bietet eine zukunftsfähige Lösung: Bereits heute ist SOVD mit bestehenden Kommunikationssystemen in Schienenfahrzeugen kompatibel. Durch die Standardisierung können neue Komponenten und externe Dienste herstellerunabhängig über den Fahrzeuglebenszyklus hinweg eingebunden werden. Perspektivisch erscheint eine Ausweitung auf weitere Anwendungsbereiche sinnvoll – etwa im Monitoring, in der Instandhaltung und bei der Integration weiterer fahrzeugseitiger Systeme.

AutomatedTrain wird gefördert durch die Bundesrepublik Deutschland und die Europäische Union. Zuwendungsgeber sind das BMWF aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages sowie die Europäische Union.

QUELLEN

- [1] Spiegel, D.; Hauswald, C.: Vollautomatisiertes, fahrerloses Fahren auf der Schiene, EI 5/2024, S. 18-22
- [2] Schilling, R.; Bauckhage, P.; Meller, M.; Rudolph, P.; Wolf, R.; Hauswald, C.: Umfeldwahrnehmung für fahrerlose Bereit- und Abstellfahrten, EI 5/2025, S. 72-75
- [3] ISO/DIS 17978-3: Road vehicles – Service-oriented vehicle diagnostics (SOVD) – Part 3: Application programming interface (API). 2025
- [4] OCORA RELEASE WORKING GROUP: CCS On-Board (CCS-OB) Architecture. Release 6. OCORA, 2023 (OCORA-TWS01-035). URL: [https://github.com/OCORA-Public/Publications/blob/master/00_OCORA%20Latest%20Publications/Latest%20Release/OCORA-TWS01-035_CCS-On-Board-\(CCS-OB\)-Architecture.pdf](https://github.com/OCORA-Public/Publications/blob/master/00_OCORA%20Latest%20Publications/Latest%20Release/OCORA-TWS01-035_CCS-On-Board-(CCS-OB)-Architecture.pdf). Abrufdatum: 17.03.2026
- [5] EU-Rail: Final Report: Harmonised European Railway Diagnostics (HERD). Europe's Rail Joint Undertaking (EU-Rail), 2024 (Grant Agreement No 101101966). URL: https://rail-research.europa.eu/wp-content/uploads/2024/12/20241218_HERD_Report_SP_Website.pdf. Abrufdatum: 17.03.2026

[6] Abuteir, M. et al.: Safe4Rail-3: Advanced safety architecture and components for Next Generation Train Control and Monitoring System in Railways, Transport Research Procedia 72/2023, S. 3355-3362

[7] Schories, K.: D31.2 – Validation of TCMS Data Service concept and formalisation. Hrsg.: Europe's Rail Joint Undertaking (ERJU), Version 1.3. Berlin: DB InfraGO AG, 26.01.2026 (Europe's Rail Deliverable). URL: <https://rail-research.europa.eu/wp-content/uploads/2026/02/D31.2---Validation-of-TCMS-Data-Service-concept-and-formalisation.pdf>. Abrufdatum: 17.03.2026

[8] Piccione, P.: D3.1 – Contribution to enhanced TCMS for automatic diagnostic functionality regarding autonomous train: ATO automatic functional test, Technologies for the autonomous rail operation, 2022

[9] Grasso, A.: D3.2 – Contribution to enhanced TCMS for automatic diagnostic functionality regarding autonomous train, Technologies for the autonomous rail operation, 2023

[10] Adebahr, F.-A.; Milius, B.; Naumann, A.: Flexible Arbeitsumgebungen für die ATO-Rückfallebene, EI 01/2023, S. 39-41

[11] ISO 14229-1: Road vehicles – Unified diagnostic services (UDS) – Part 1: Application layer. 2020

[12] ISO 22901-1: Road vehicles – Open diagnostic data exchange (ODX) – Part 1: Data model specification. 2008

[13] ISO 13209-2: Road vehicles – Open Test sequence eXchange format (OTX) – Part 2: Core data model specification and requirements. 2022

[14] DIN EN 61375-2-5: Elektronische Betriebsmittel für Bahnen – Zug-Kommunikations-Netzwerk (TCN) – Teil 2-5: Ethernet Train Backbone. 2016



Dipl.-Ing. Marc David Rabe

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Professur für Fahrzeugmechanik
Technische Universität Dresden,
Dresden
marc.rabe@tu-dresden.de



Dr.-Ing. Stephan Adelberg

Teilprojektleiter
Diagnose – AutomatedTrain
DB InfraGO AG, Berlin
stephan.adelberg@deutschebahn.com



Dipl.-Ing. SFI Kevin Renatus

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Professur für Fahrzeugmechanik
Technische Universität Dresden,
Dresden
kevin.renatus@tu-dresden.de



Prof. Dr.-Ing. Bernard Bäker

Lehrstuhlhaber
Professur für Fahrzeugmechanik
Technische Universität Dresden,
Dresden
silke.puschendorf@tu-dresden.de