

Lohnender Blick in den Fehlerspeicher von Schienenfahrzeugen: die Vorteile der Diagnose

Diagnosedaten von Schienenfahrzeugen sind aus dem heutigen Bahnbetrieb nicht mehr wegzudenken. Sie liefern wichtige Informationen sowohl für den operativen Betrieb als auch für die Instandhaltung – oftmals bereits während der Fahrt durch Datenfernübertragung. Aus dem Inhalt der übermittelten Dateien können eine Vielzahl weiterer Anwendungsfälle auf landseitigen Systemen umgesetzt werden.



1. Diagnosedaten für einen optimierten Betriebsablauf

Die Fahrzeugdiagnose ist für den Betriebsablauf von Schienenfahrzeugen aus mehreren Gründen unerlässlich. Sie ermöglicht die Erfassung und Übermittlung von Defektmeldungen sowie die Dokumentation der Laufleistung direkt aus dem Zugbetrieb heraus. Durch die kontinuierliche Überwachung der fahrzeugseitigen Komponenten mittels spezifischer Diagnoseregeln lassen sich potenzielle Fehlfunktionen und Verschleißerscheinungen frühzeitig erkennen und dokumentieren. Mit Blick auf den Einsatzzweck unterstützt die Diagnose, wie in Abb. 1 dargestellt, insbesondere die Akteure Triebfahrzeugführer*innen, Zugbegleiter*innen und die für die Instandhaltung zuständigen Stellen. Sie trägt damit zur Verringerung von Ausfallzeiten, zur Erhöhung der Fahrzeugverfügbarkeit und zur Reduzierung von Instandhaltungskosten bei [1].

Dank der Diagnose-Datenfernübertragung (DFÜ) stehen die relevanten Daten nahezu in Echtzeit zur Verfügung, wodurch sowohl die Instandhaltungsplanung als auch Entscheidungen über betriebliche Einsatzkriterien gezielt verbessert werden können. Im Laufe der Zeit hat sich die Fahrzeugdiagnose über ihren ursprünglichen Zweck hinaus weiterentwickelt. Nachfolgend werden die wesentlichen Entwicklungsschritte aufgezeigt und erläutert, welche weiteren Anwendungsfelder sich

daraus ergeben haben bzw. künftig ergeben können.

2. Stetige Weiterentwicklung der Diagnose

Der Ursprung der Fernübertragung bei der Deutschen Bahn AG (DB) liegt in der sogenannten Schadvormeldung. Seit 1991 konnten beim ICE 1 (Baureihe 401) erstmals Diagnosedateien mit Störungen und Fehlern über das System DAVID (Diagnose-, Aufrüst- und Vorbereitungsdienst) direkt aus dem Zug heraus übertragen werden. Mithilfe einer ortsfesten Auslösung erfolgte die Übertragung über Kurzstreckenfunk, sodass die Arbeitsvorbereitung in der Instandhaltung bereits in der Zulaufphase eines Fahrzeugs beginnen konnte. Die optimierte Planbarkeit und daraus resultierende, geringere Standzeiten führten mit Einführung der Fernübertragung zu einer signifikanten Reduzierung der erforderlichen Fahrzeugreserve für die Instandhaltung.

Ursprungsbestandteile der Schadvormeldung:

- Kopfdaten: Detailinformationen zur übertragenen Datei, wie der Erstellungszeitpunkt auf dem Fahrzeug oder Informationen zum Betreiber und zur Baureihe befinden sich in den Kopfdaten.
- Wagenreihung: Daten zur Zugeihung und Informationen zum führenden Fahrzeug werden übertragen.
- Defektmeldungen: Sie enthalten die übermittelten Diagnosecodes zur Be-



Felix Weißwange

Projektleiter bei der DB Systemtechnik GmbH für die landseitige Anbindung und Standardisierung der Fahrzeugdiagnose
Felix.Weisswange@deutschebahn.com



Otfried Haas, Dipl.-Ing.

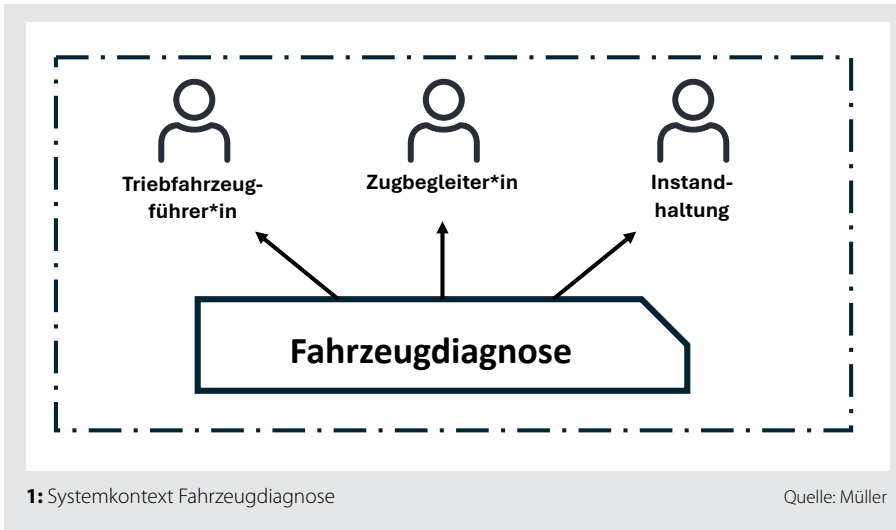
Projektleiter bei der DB Systemtechnik GmbH für Stammdaten und Standardisierung mittels generischer Datenmodelle
Otfried.Haas@deutschebahn.com



Daniel Müller, M.Sc.

Leiter IT-Nutzung, Diagnose, Daten bei der DB Systemtechnik. Verantwortlich für die Betriebsführung und (Weiter)Entwicklung von IT-Lösungen der Instandhaltung
Daniel.D.Mueller@deutschebahn.com

schreibung der eindeutig identifizierten Sollzustandsabweichung. Die Meldungen sind spezifisch für Werkstätten bestimmt und enthalten ergänzende Informationen zur Entstörung bzw. der Fehlersuche. Defektmeldungen sollen Defekte bis zur kleinsten tauschbaren Einheit aufzeigen.



Im Laufe der Zeit wurde die Diagnosemeldung stetig weiterentwickelt, um den jeweiligen Anforderungen gerecht zu werden. So besteht die heutige Diagnosemeldung aus der ursprünglichen SchADVormmeldung, ergänzt um nachfolgende Komponenten:

- Betriebliche Meldungen: Sie beinhalten betriebliche Anweisungen in Folge einer Defektmeldung. Diese werden dem Triebfahrzeugführer im Führerstand als Handlungsempfehlung angezeigt und auch per DFÜ übertragen.
- Protokollmeldungen: Protokollmeldungen beschreiben Schalthandlungen bzw. Schaltzustände.
- Betriebsdaten/Leistungswerte: Darunter werden u.a. Zählerstände vom Fahrzeug oder einzelner Komponenten verstanden. Hierzu gehören beispielsweise der Kilometerstand, aber auch die Schaltzyklen der Einstiegstüren. Die Übermittlung von Betriebsdaten/Leistungswerten wurde bei der DB mit Einführung des ICE 3 und ICE-T etabliert.
- GPS-Informationen: Die GPS-Daten der Fahrzeuge können zum Zeitpunkt der Dateierstellung sowie beim Auftreten eines Ereignisses ebenfalls protokolliert werden.
- Umfelddaten: Physikalische Werte wie Druck, Spannung oder Temperatur, die zum Zeitpunkt des Auftretens eines Diagnoseereignisses ebenfalls dokumentiert werden. Man spricht auch von Prozessdaten zu einer Diagnose. Umfelddaten können außerdem relevante Schaltzustände beinhalten.
- Betriebszustände: Informationen zum Betriebszustand des Fahrzeuges werden

in dieser Kategorie festgehalten. Diese sind u.a. Fahrzeug im Betrieb, Fahrzeug in Abstellung oder Fahrzeug in Wartung.

3. Standardisierung der Diagnosemeldungen

Neben der inhaltlichen Erweiterung der Diagnose-Datenfernübertragung (DFÜ) unterlagen auch Struktur und Format der Diagnosedateien kontinuierlichen Anpassungen. Zwischen Fahrzeuggenerationen und verschiedenen Herstellern bestehen teils deutliche Unterschiede, da meist proprietäre Formate zur Fernübertragung eingesetzt werden. Zur Vereinheitlichung der Fahrzeugdiagnosedaten setzt die DB daher Verfahren ein, die eine Überführung in den Standard IRS 50405 (Nachfolger der UIC 559) ermöglichen. Diese Norm definiert ein gemeinsames, inhaltliches und strukturelles Format auf XML-Basis (Extensible Markup Language), das sowohl men-

schen- als auch maschinenlesbar ist. Über XML Schema Definition (XSD) können die Daten darüber hinaus effizient validiert werden. Die einzelnen Elemente (Tags) ermöglichen eine präzise und standardisierte Ausweisung der Inhalte der Diagnosedateien und sorgen so für maximale Kompatibilität zwischen den unterschiedlichen Quellen der Fahrzeugdiagnose.

Die DB verwendet das standardisierte XML-Format bereits nach Veröffentlichung der UIC 559 für die interne Weiterverarbeitung. Im Rahmen der „IRS 50405“-Einführung wurden der XML-Struktur im Vergleich zum vorherigen Standard weitere Elemente hinzugefügt. Eine wesentliche Neuerung ist der neue „eTs“-Eintrag für das Ende eines Ereignisses in der History-Struktur. Dadurch lassen sich zuvor getrennt übertragene Ereignisse „kommt“ und „geht“ nun gemeinsam abbilden [2].

4. Kontinuierlicher Anstieg der Diagnosemeldungen

Mit der steigenden Informationsdichte haben sich über die Fahrzeuggenerationen hinweg auch die Frequenz und das Volumen der Diagnosemeldungen erheblich erhöht. Wesentlich dazu beigetragen haben neue Auslösemechanismen der Fernübertragung. Während zu Beginn nur einige wenige Auslösungen zumeist vor einem Werkstattaufenthalt stattfanden, führen heute zusätzliche Trigger wie GPS-Koordinaten und Geofencing, verkürzte Zeitintervalle oder haltestellenscharfe Meldungen (seit Dezember 2022) zu einer deutlichen Zunahme der übertragenen Daten.

Dies verdeutlicht auch die Grafik gemäß Abb. 2. Im Jahr 2017 lag die durchschnittliche Anzahl der täglich bei der DB

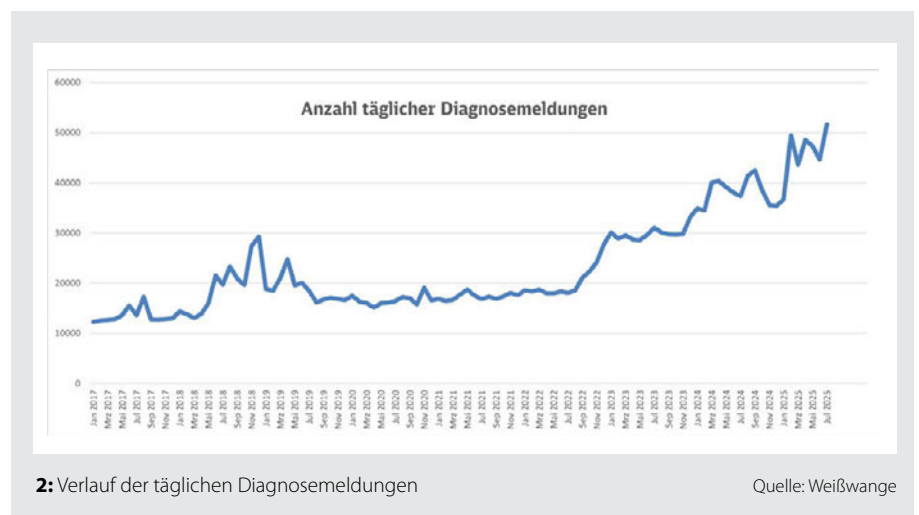


Tabelle 1: Auszug der Auslösearten der Diagnosemeldung

Auslöseart der Diagnosemeldung (nach IRS 50405)
Manuelle Auslösung
Geographische Position
Örtlichkeit gemäß Fahrgastinformationssystem definiertes Diagnoseereignis
Zeit (periodisch)
fester Zeitpunkt
beim (Ent-)Kuppeln
beim Vorbereitungsdienst
Fernausslösung

eingehenden Diagnosemeldungen bei rund 10.000. Die haltestellenscharfe Datenübermittlung für Fahrzeugmeldungen bewirkt seit dem Fahrplanwechsel im Dezember 2022 einen Anstieg der Meldungen auf täglich 30.000 Dateien. Mittels der Fahrzeugmeldungen werden dem Aufgabenträger Informationen über den qualitativen Zustand der eingesetzten Fahrzeuge übermittelt [3]. Zum Ende des zweiten Quartals 2025 werden intern rund 45.000 Meldungen pro Tag erwartet, die vom landseitigen System plausibilisiert, standardisiert und weiterverteilt werden.

Für die Vielfalt der Auslösemechanismen bzw. Trigger für die Diagnose-Datenfernübertragung war u.a. der technologische Fortschritt Anfang der 2000er-Jahre maßgeblich. Übertragungen erfolgten zunächst per Kurzstreckenfunk, der eine beschränkte Reichweite hatte und somit Empfangsstationen entlang der Strecke erforderte. Mit der Umstellung auf Mobilfunktechnologien im Zuge der Einführung von ICE 3 und ICE T ergab sich eine standortunabhängige, flexiblere Übertragung. Dadurch wurde eine Vielzahl neuer Anwendungsfälle der Diagnose-DFÜ erschlossen. Heute kommen gemäß Tabelle 1 verschiedenste Auslöseverfahren, beispielsweise die sogenannte Fernauslösung, zum Einsatz. Bei der Fernauslösung werden die Anforderung zur Übermittlung einer Diagnosemeldung nicht ausschließlich vom Fahrzeug ausgelöst, sondern auch gezielt über landseitige Systeme initiiert.

5. Anwendungsfälle in der Praxis

5.1. Anwendungsfall 1: Warnmeldung auslösen

Durch die Erweiterung der Auslösetrigger und den gestiegenen Informationsgehalt

ist es möglich geworden, betriebsrelevante Ereignisse unmittelbar als Warnmeldung, in Form einer Diagnosemeldung, zu übermitteln. Die DB setzt diese Option seit vielen Jahren bewährt ein. Je nach aktuellem Betriebszustand des Fahrzeugs (z. B. „in Abstellung“ oder „im Betrieb“) werden bei definierten Diagnosecodes gezielt Übertragungen ausgelöst. Die Klassifizierung erfolgt dabei abhängig vom Betriebszustand entweder als sogenannter „Hilferuf“ oder als „Störcode“.

Typische Beispiele aus dem Betrieb sind gestörte Außentüren oder Temperaturüberschreitungen an Lagerungen. Sobald ein definierter Diagnosecode im entsprechenden Betriebszustand auftritt, wird automatisch eine Datenfernübertragung an das landseitige System ausgelöst. Dort werden Warnmeldungen speziell verarbeitet, sodass beispielsweise gezielte E-Mails an bestimmte Empfängerkreise versendet oder Meldungen im Betriebsüberwachungs-Dashboard hervorgehoben werden können.

Der Ausschnitt in Abb. 3 zeigt, dass alle für den Störcode relevanten Informationen in der E-Mail enthalten sind. Dies ermöglicht es, schnell und gezielt auf die jeweilige Betriebsstörung zu reagieren und Folgestörungen zu vermeiden bzw. deren Auswirkungen zu minimieren.

5.2. Anwendungsfall 2: Zustandsinformationen erhalten

Ein weiterer zentraler Anwendungsfall ist die Übermittlung von Informationen zum qualitativen Zustand der eingesetzten Fahrzeuge an den Aufgabenträger. Dies betrifft die weiter oben bereits erwähnte Fahrzeugmeldung. Um den Anforderungen der Verkehrsverträge gerecht zu werden, werden relevante Komfortfunktionen, wie Klimatisierung, Reisendeninformation oder Steckdosen an den Plätzen, kontinuierlich mittels der Fahrzeugdiag-

nose überwacht und via Datenfernübertragung haltestellenscharf übermittelt. Abweichungen oder Störungen an den relevanten Komfortfunktionen müssen durch den Aufgabenträger aktiv angezeigt werden. Ziel ist es, dem Aufgabenträger und dem Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) eine hohe Transparenz über den aktuellen Zustand und die Erfüllung der Qualitätsziele zu bieten [3].

Mit der Steigerung der Übertragungshäufigkeit und der Integration der Umfelddaten bzw. physikalischer Werte zu definierten Diagnosecodes lässt sich die bisherige Zustandsbetrachtung um eine prozessuale Komponente erweitern. Heute werden beispielsweise Lagertemperaturen und vergleichbare Zustände regelmäßig, automatisiert übertragen und damit fortlaufend überwacht.

5.3. Weitere Anwendungsfälle aus der Praxis

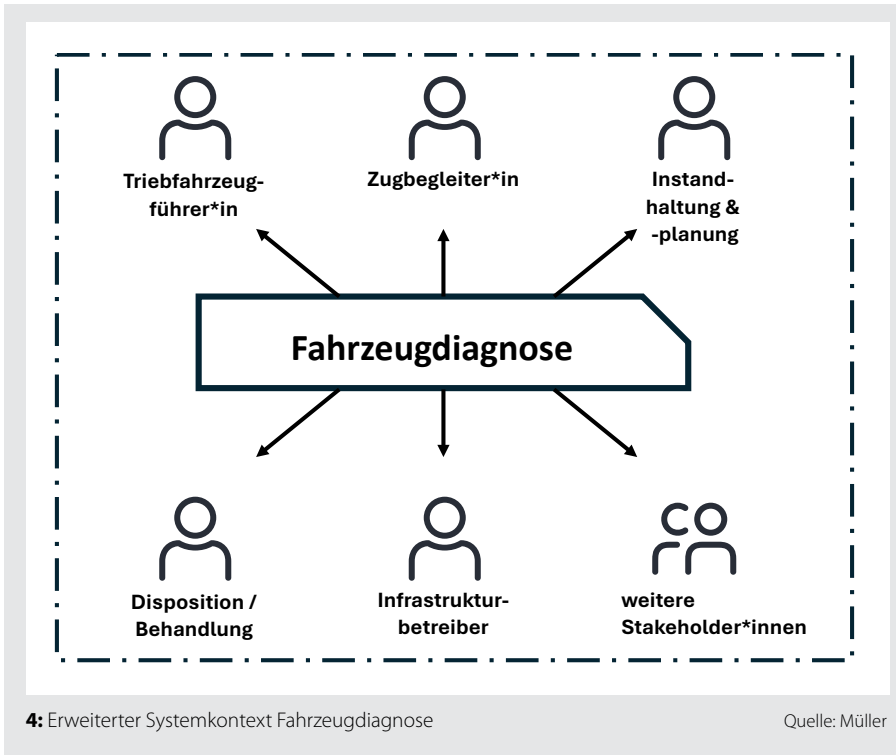
Neben den beiden beschriebenen, zusätzlichen Schwerpunkten werden Diagnosemeldungen für zahlreiche weitere praxisrelevante Anwendungsfälle eingesetzt. Eine Auswahl soll an dieser Stelle vorgestellt werden:

- Zugzielanzeiger: Die Wagenreihungsinformationen aus den Diagnosemeldungen fließen in die Zugzielanzeiger am Bahnsteig ein und verbessern damit die Informationsqualität für Reisende.
- Laufleistungsabhängige Instandhaltungsplanung: Kilometerzählerdaten aus der Fahrzeugdiagnose werden landseitig übernommen, um Wartungsintervalle laufleistungsabhängig steuern zu können.
- Ver- und Entsorgungslogistik: Diagnoseinformationen zu Füllständen der Frisch- und Grauwassertanks unterstützen eine gezielte Steuerung der Behandlung in Abstellanlagen. Leistungsdaten, wie etwa Spülzyklen der WC, unterstützen darüber hinaus, die jährli-

```
Meldungstyp: DIA-A
Eingang: 18.08.2025 13:16:43
Erstellung: 18.08.2025 13:14:15
BR / BA: 401
UB: FV
Tz / Zug: 0111
Sendendes Fz: 93805401011-2
Zusatzinformationen: 4
DFÜ-Auslösungsart: 2 = Störcode
0103 - Datenverkehr mit LZB gestört
```

3: Ausschnitt aus einer Störcode-E-Mail

Quelle: Haas



4: Erweiterter Systemkontext Fahrzeugdiagnose

Quelle: Müller

che Umlaufplanung bedarfsabhängiger zu planen.

- Kombinierte Diagnosedaten: Bei der DB werden Diagnosemeldungen mit weiteren externen Daten (z. B. Wetterdaten, Vegetationsinformationen, Fahrpläne, Infrastrukturstatus) verschnitten, um die Aussagekraft zu erhöhen und neue Analysemöglichkeiten zu erschließen.
- Fahrzeug überwacht Infrastruktur: Durch die flottenübergreifende Auswertung und Anreicherung der Diagnosemeldungen mit GPS-Daten können auch infrastrukturseitige Störungen, z.B. an Anbauteilen der Zugbeeinflussung, meteregenau lokalisiert und behoben werden.

6. Ausblick: Weiterentwicklung und Potenziale der Fahrzeugdiagnose

Die Fahrzeugdiagnose entwickelt sich beständig weiter und erschließt permanent neue Potenziale für einen effizienten und modernen Bahnbetrieb. Fortschritte wie die Einführung dynamischer Regelbildungsmechanismen ermöglichen es, Diagnosecodes flexibel und passgenau an unterschiedliche Einsatzszenarien auszurichten. Parallel dazu gewinnen Umfelddatenhistorien, statt nur einer Momentaufnahme zum Ereignis, an Bedeutung, indem sie klassische Diagnosedaten um relevante Kontextinformationen anreichern.

Ein Trend der letzten Jahre ist die vernetzte Diagnose durch Zusammenführung unterschiedlichster Datenquellen – von Diagnosecodes über Prozess- und Umfelddaten bis hin zu externen Datenquellen oder Bussignalen. Hierbei ermöglichen KI-basierte Methoden der Anomalieerkennung eine neue Art der Identifikation potenzieller Störungen, oft noch bevor klassische Regeln greifen. Dies schafft die Grundlage für eine vorausschauende, zustandsbasierte Instandhaltung und steigert Verfügbarkeit sowie Wirtschaftlichkeit der Flotte.

Insgesamt steht die Fahrzeugdiagnose damit an der Schwelle zu einer weiteren Evolutionsstufe. Datenintegration auf Basis einheitlicher Standards, fortschrittliche Analytikverfahren und ein konsequenter Digitalisierungsschub bieten der Bahnbranche große Chancen, Effizienz, Zuverlässigkeit und Innovationskraft entscheidend zu stärken. Damit dieser Weg zum Erfolg wird, ist es Aufgabe aller Marktakteure, die Potenziale engagiert, partnerschaftlich und mit Blick auf den praktischen Nutzen weiterzuentwickeln.

7. Fazit zur Fahrzeugdiagnose und deren Übertragung

Die Diagnose von Schienenfahrzeugen und deren Fernübertragung hat sich längst als unverzichtbares Werkzeug für einen modernen und sicheren Bahnbetrieb etabliert.

Das langjährige Know-how von Herstellern und Betreibern sowie die kontinuierliche Weiterentwicklung ermöglichen eine stetige Erweiterung des Funktionsumfangs bei gleichbleibend hoher bzw. steigender Aussagequalität. Insbesondere die fortlaufende Übermittlung und Verarbeitung von Diagnosedaten während der Fahrt erlaubt es Betreibern und Instandhaltungsdienstleistern, frühzeitig auf Auffälligkeiten, Fehler oder potenzielle Störungen zu reagieren.

Dies führt nicht nur zu einer erhöhten Fahrzeugverfügbarkeit und reduzierten Instandhaltungskosten, sondern eröffnet, wie im erweiterten Systemkontext in Abb. 4 veranschaulicht, zahlreiche neue Anwendungsfelder für unterschiedliche Stakeholder. Einheitliche Vorgaben zum Datenformat wie die IRS 50405 (XML) ermöglichen dabei eine effiziente Verarbeitung sowie Verteilung der Diagnosemeldungen. Die Integration von Zusatzinformationen wie Umfelddaten, Fahrzeugpositionen und Betriebszuständen erweitert die Handlungsmöglichkeiten, welche den Betrieb und die Instandhaltung der Fahrzeuge signifikant verbessert.

Damit bleibt der Blick in den Fehlerpeicher nicht nur lohnend, sondern wird zum zentralen Baustein für die Digitalisierung, die Effizienz und die Sicherheit des zukünftigen Schienenverkehrs.

Literatur

- [1] Internationaler Eisenbahnverband: UIC 557 Diagnostik in Reisezugwagen, UIC Leaflets Reference 557/D/3, 2015, S. 2ff.
- [2] F. Weißwange, D. Müller: Übersetzerbau für Fahrzeugdiagnose nach UIC 559, ETR – Eisenbahntechnische Rundschau, H. 1+2 (2023), S. 57ff.
- [3] F. Weißwange, D. Müller: Erstellung und Verteilung der Fahrzeugmeldungen, ETR – Eisenbahntechnische Rundschau, H. 7+8 (2023), S. 50ff.

Summary

A worthwhile look into the fault memory of rail vehicles: the benefits of diagnostics

Diagnostic data from rail vehicles is of central importance for operation and maintenance. Thanks to remote transmission, they are available on land in almost real time and can be used for additional applications. Supplementary information (e.g. GPS data, process values), additional triggering devices and a standardised data format increase the fields of application over the years. Linking with other data sources and modern analytics opens up additional potential.