

Ferndiagnose und Deep Learning bei der Zentralbahn – Mehrwert dank Daten und Experten-Know-how

Aktuell führt die Zentralbahn mehrere Digitalisierungsprojekte an ihrer Flotte durch. Ein Projekt umfasst die Ferndiagnose der ABe-Flotte (SPATZ) mit Rail Diagnostics. In einem anderen Projekt werden bereits vorhandene Daten der ABeh-Flotte (ADLER, FINK) mit Vibrationsdaten und weiteren Sensordaten angereichert und mit Deep Learning Algorithmen ausgewertet.



1. Einleitung

Die Zentralbahn betreibt drei Bahnstrecken im Zentrum der Schweiz: Luzern–Interlaken Ost, Luzern–Engelberg und die Gleichstromstrecke Meiringen–Innertkirchen. In der heutigen Zeit ist die Digitalisierung auch im Bahnbereich von entscheidender Bedeutung. Sie ermöglicht eine effizientere Produktion, eine verbesserte Instandhaltung und eine höhere Zuverlässigkeit des Rollmaterials. Durch die Nutzung modernster Technologien kann die Zentralbahn Ausfallzeiten reduzieren, die Wirtschaftlichkeit verbessern und somit das Qualitätsversprechen gegenüber ihren Kunden einhalten resp. übertreffen.

Im Rahmen des Deep Learning-Projekts werden über Sensoren in den Zügen Tausende von Signalen und Meldungen erfasst und nahezu in Echtzeit auf einer spezialisierten IoT-Plattform (Internet of Things) zusammengeführt. Deep Learning ist ein Teilgebiet des maschinellen Lernens und basiert auf neuronalen Netzen. Durch künstliche Intelligenz (KI) gestützte Smart-Maintenance-Anwendungen ermöglicht dies eine signifikante Senkung der Ausfallrisiken und Instandhaltungskosten. Ziel ist die Entwicklung und Industrialisierung performanter, flexibler KI-Algorithmen für eine zustandsbasierte Überwachung und vorausschau-



Marco Barmettler

Projektleiter IT-Applikationen
Fahrzeuge und Instandhaltung,
Stansstad, zb Zentralbahn AG
marco.barmettler@zentralbahn.ch



Dr. Jihyun Lee

R&D Engineer, Group Predictive
Analytics, Alpnach, CSEM
jihyun.lee@csem.ch



Florian Burri

Projektleiter, Group Industrial
Inspection, Alpnach, CSEM
florian.burri@csem.ch



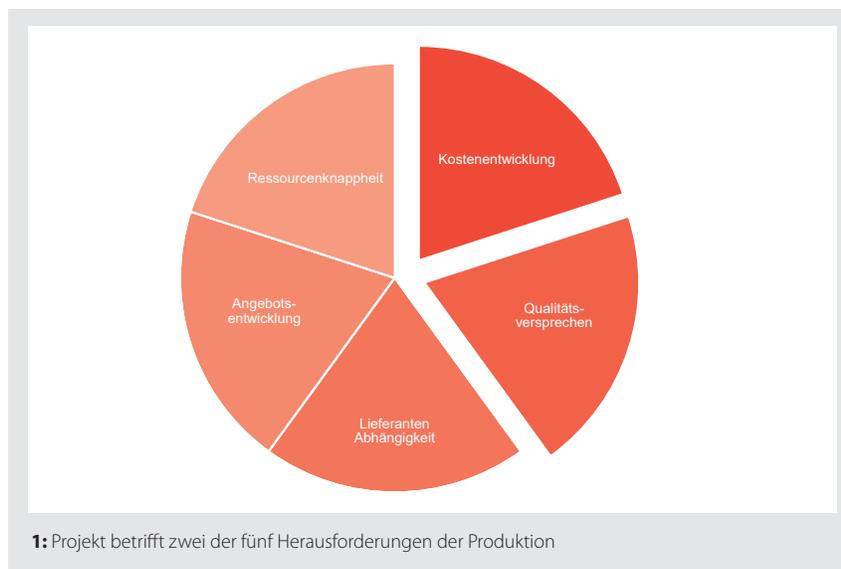
Roman Tschannen

Geschäftsführer, Dietikon,
Rail Diagnostics GmbH
roman.tschannen@
raildiagnostics.ch



Severin Wagner

Director of Engineering / Stell-
vertretender Geschäftsführer,
Dietikon, Rail Diagnostics GmbH
severin.wagner@raildiagnostics.ch



ende Instandhaltung, um langfristig die Wirtschaftlichkeit zu steigern.

Parallel dazu wird ein Ferndiagnosesystem verbaut, das Daten vom Fahrzeug auf einen zentralen Server übermittelt. Dieses System ermöglicht die Analyse von Störungen, die Planung von Instandhaltungsarbeiten und die Unterstützung des Lokpersonals in Echtzeit. Es bietet eine umfassende Überwachung der Flottenzustände inkl. Ortung, um die Effizienz und Sicherheit des Betriebs weiter zu verbessern.

Die beiden Projekte zeigen das Engagement und die Innovationskraft der Zentralbahn, gemeinsam mit den Partnerfirmen CSEM AG und Rail Diagnostics GmbH fortschrittliche Lösungen zu entwickeln. Der Bericht zeigt, wie eine Ferndiagnose mit Deep Learning aussehen könnte und wie diese Technologien zur Optimierung des Bahnbetriebs beitragen können.

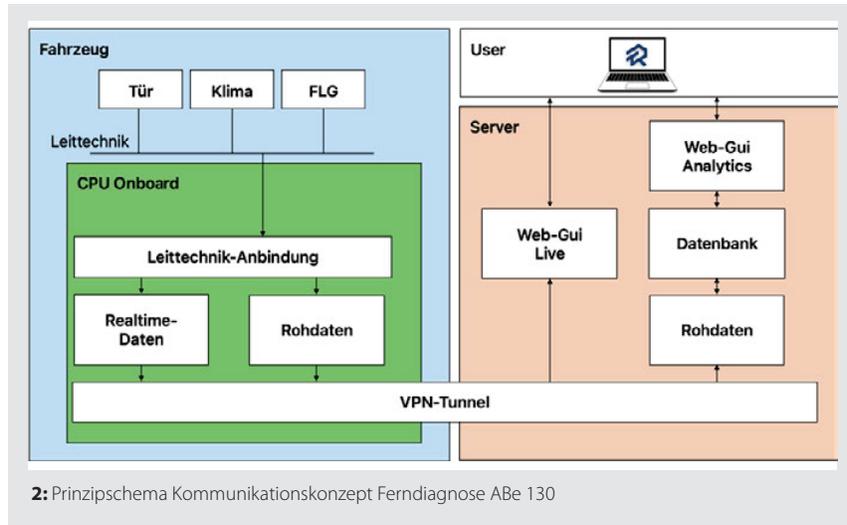
2. Ferndiagnose der ABe130-Flotte

Das erste Projekt fokussiert sich auf die Ferndiagnose der ABe130-Flotte, auch bekannt als SPATZ. Dabei werden moderne Diagnose- und Analysetools von Rail Diagnostics eingesetzt, um die Betriebsdaten der Fahrzeuge zu überwachen und zu analysieren. Ein zentrales Element dieses Projekts ist die umfassende Datenanalyse, welche durch die ganzheitliche Integration von DDS (Diagnose-Daten-Satz) mit Umfelddaten, Zeitreihen und Zählerdaten (wie Weg, Event und Zeit) ermöglicht wird. Auch zusätzliche Sensoren für Füllstände, Temperatur und weitere relevante Parameter, die für die Diagnose von zentraler Bedeutung sind, können angeschlossen werden.

Bei Rail Diagnostics wird sämtliche Software intern und in der Schweiz erstellt. Dadurch können Kundenanforderungen individuell und zeitnah implementiert werden.

2.1. Anforderungen an die Ferndiagnose

Verschiedene Stakeholder haben unterschiedliche Bedürfnisse und Anforderungen. Diese wurden in Form von User Storys dokumentiert. Durch die Nutzung von User Storys können die Projektbeteiligten sicherstellen, dass die spezifischen



Bedürfnisse jedes Stakeholders klar erfasst und effektiv umgesetzt werden. Dies führt zu einer wirkungsvollen Zusammenarbeit innerhalb des Projektteams bzw. in der Softwareentwicklung und steigert die Akzeptanz der entsprechenden Lösungen. Folgend einen Auszug der vier internen Haupt-Stakeholder und deren User Storys:

- Leiter Produktion und Rollmaterial (ECM I)
 - Als EVU, Halter und ECM 1 möchte ich den Status der gesamten Flotte auf einen Blick sehen. Ist ein Fahrzeug nicht im grünen Bereich oder schon länger ausser Betrieb, kann ich mit einem Klick weitere Details erfahren.
- Flottenmanagement (ECM II)
 - Als Flottentechniker möchte ich sehen, wann, wo (geografisch) ein Aktuator angesteuert wurde. Zum Beispiel SKS (Spur-Kranz-Schmierung) oder SKK (Schienen-Kopf-Konditionierung).
 - Als Flottentechniker benötige ich Sensordaten in variablen Abtastraten für den 2nd Level Support.
- Produktionsplanung (ECM III)
 - Als Instandhaltungskoordinator möchte ich auf einer Streckennetzkarte Livedaten zu den Fahrzeugen sehen (Fahrzeugnummer, Formation, Geschwindigkeit, Betriebszustand, usw.).
 - Als Instandhaltungskoordinator möchte ich die Fahrzeugformationen bei Detailinformationen ersichtlich haben.
- Instandhaltung (ECM IV)
 - Als Leiter Instandhaltung möchte ich jede Meldung, welche durch die Instandhaltung kontrolliert werden muss, direkt im Asset Management erfasst haben.

- Als Instandhalter will ich die Möglichkeit, alle Aus- und Eingänge der Leittechnik live zu überwachen und zu loggen. Dadurch könnte man Störungsursachen schneller eingrenzen.

2.2. Eingesetzte Hardware und Programmiersprachen

Der Rechner von Syslogic, ausgestattet mit dem Linux Debian Betriebssystem, bietet zahlreiche Schnittstellen und Funktionen wie CAN, Ethernet, IMU (Inertial Measurement Unit) und USB. Diese Vielfalt macht das System flexibel und anpassbar an unterschiedliche Anwendungsfälle. Linux bietet eine hohe Verfügbarkeit und benötigt im Gegensatz zu anderen Betriebssystemen weniger Ressourcen.

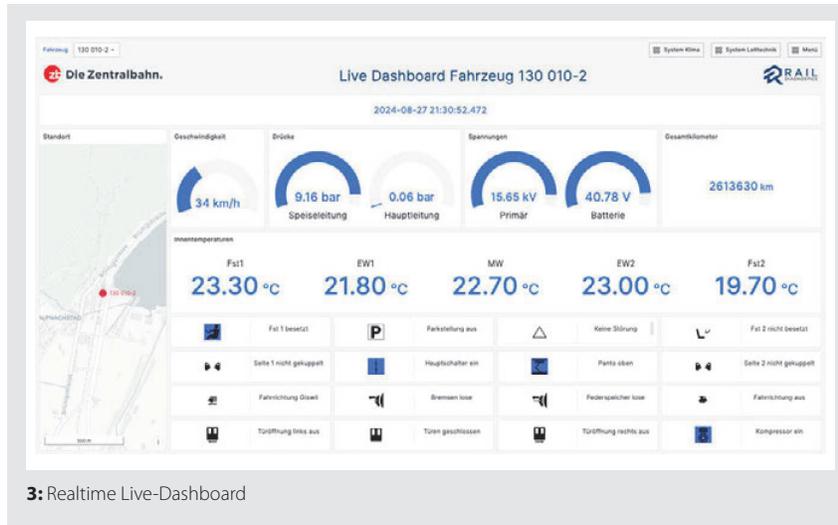
Ein grosser Vorteil ist die Möglichkeit, den CAN-Bus komplett rückwirkungsfrei zu lesen. Durch den Einsatz eines Dipswitch innerhalb des Geräts wird verhindert, dass Daten auf den Bus geschrieben werden können. Diese Änderung gilt gemäss BAV als nicht sicherheitsrelevant und nicht signifikant, wodurch keine Zulassung erforderlich ist.

Die Softwareentwicklung erfolgt hauptsächlich in Python. Dort, wo hohe Performance und die Nutzung mehrerer Kerne erforderlich sind, kommt C++ zum Einsatz.

2.3. Datenkanäle und Dashboards

Das System verfügt über zwei separate Datenkanäle: Realtime-Daten und Roh-Daten. Realtime-Daten werden für die Live-Anzeige von Prozesswerten, Positionen und aktiven Alarmen verwendet. Auch möglich ist die Live-Überwachung von Geräten und

Künstliche Intelligenz ist eine Replikation menschlichen Wissens.



3: Realtime Live-Dashboard

der CAN-Bus-Kommunikation. Dabei können pro Fahrzeug mehrere hundert Werte in Echtzeit dargestellt werden. Die Refresh-rate für diese Daten liegt bei unter einer Sekunde, was eine Aktualisierung in nahezu Echtzeit ermöglicht.

Zusätzlich werden alle CAN-Telegramme in voller Auflösung als Rohdaten auf dem Server gespeichert. Aus diesen Rohdaten lassen sich verschiedene Informationen wie die DDS-Historie, Zeitreihendaten, Zählerdaten, GPS-Positionen und der Zustand der Geräte und des CAN-Busses extrahieren. Ein weiterer Anwendungsfall ist das Replay der gesamten Flotte, wodurch vergangene Fahrten und Ereignisse nachverfolgt werden können.

Die Dashboards sind vollständig webbasiert und werden nahtlos in die IT-Infrastruktur der Zentralbahn integriert. Die gesammelten Daten werden auf den Servern der Zentralbahn gespeichert, die über mehrere Terabyte Speicherkapazität verfügen.

2.4. Zeithorizont

Ziel ist es, die gesamte ABe130-Flotte bis Ende November mit der Hardware auszurüsten. Aktuell sind bereits sechs Fahrzeuge mit der Ferndiagnoselösung ausgerüstet. Bis Ende 2024 soll die gesamte Ferndiagnose (inklusive Realtime- und Analytics-Dashboard) in die produktive Nutzung gehen und die entsprechenden Stakeholder geschult werden.

3. Deep Learning als Implementierung von KI

Das zweite Projekt, das gemeinsam von Rail Diagnostics, CSEM und der Zentral-

bahn durchgeführt wird, umfasst den Einsatz von Deep Learning-Technologien zur Überwachung und Optimierung der gesamten Fahrzeugflotte der Zentralbahn. Durch die Anwendung von Deep Learning auf die DDS-Daten und Zeitreihen, angereichert mit Vibrations- und sonstigen Sensordaten, können komplexe Muster und Anomalien identifiziert werden, die auf mögliche Fehlfunktionen hinweisen. Die Deep Learning-Modelle werden speziell für verschiedene Use Cases entwickelt, darunter Kompressoren, Türen, Getriebe, Klimaanlage und Stromrichter. Zum Beispiel kann die Analyse der Vibrationsdaten von Getrieben frühzeitig auf Abnutzungsercheinungen hinweisen, wodurch rechtzeitig Wartungsarbeiten geplant werden können. Ebenso ermöglicht die Überwachung

der Klimaanlage und Stromrichter eine präzise Diagnose und damit eine erhöhte Betriebssicherheit. Durch die Integration von Echtzeitdaten und die Möglichkeit, das System mit weiteren Sensoren zu erweitern, wird ein hoher Grad an Flexibilität und Anpassungsfähigkeit erreicht. Dies stellt sicher, dass die Zentralbahn auf zukünftige Anforderungen und technologische Entwicklungen vorbereitet ist.

3.1. Intelligente Instandhaltung durch Anomalieerkennung

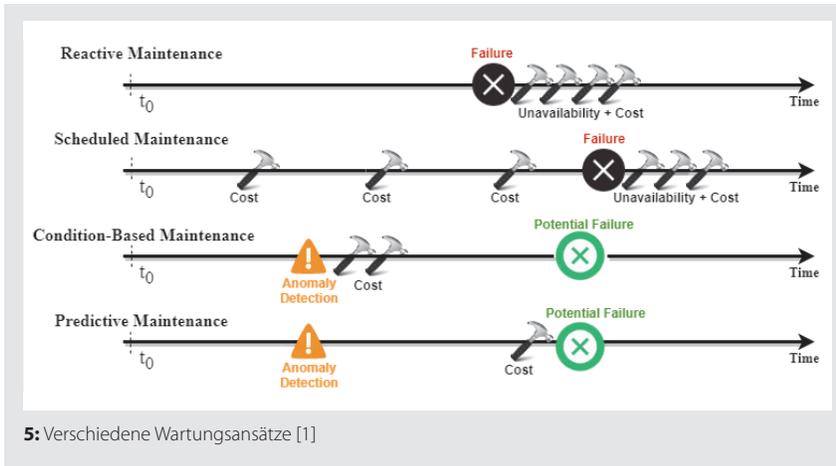
Im Herzen des prädiktiven Instandhaltungssystems liegt die KI-gestützte Anomalieerkennungstechnologie. Aber was bedeutet das genau? Im Wesentlichen geht es bei der Anomalieerkennung darum, ausgeklügelte Deep Learning-Algorithmen wie neuronale Netzwerke zu verwenden, um Muster in Daten zu identifizieren, die von der Norm abweichen. Im Fall von Zügen können diese Abweichungen auf potenzielle Probleme hinweisen, bevor sie sich zu kritischen Problemen entwickeln.

Die Rolle des CSEM in diesem Kooperationsprojekt, das seine Expertise im Bereich Deep Learning und vorausschauende Instandhaltung genutzt wird, besteht darin, KI-basierte Methoden für die Zustandsüberwachung und intelligente Instandhaltung zu entwickeln. Diese Methoden sollen datengesteuerte Entscheidungsfindung für Instandhaltungsstrategien bei der Zentralbahn ermöglichen. Letztendlich ist das Ziel, ein KI-gestütztes System zu entwickeln, das potenzielle Zugausfälle frühzeitig erkennt und diese



4: Analytics Dashboard SKS mit Verortung und Sprühdauer

Autoren-Belegexemplar, Frau Lee, CSEM. Weitergabe an Dritte urheberrechtlich untersagt.



Technologie anschliessend an die Zentralbahn überträgt.

3.2. Vorteile der KI-basierten vorausschauenden Wartung für die Eisenbahnindustrie

Im Gegensatz zu reaktiver oder geplanter Instandhaltung passt sich die KI-gestützte vorausschauende Instandhaltung dynamisch an Echtzeitdaten an. Durch die Analyse von Daten aus Sensoren, historischen Aufzeichnungen und Echtzeitüberwachung können diese Systeme potenzielle Ausfälle vorhersagen, Wartungspläne optimieren und letztendlich die Gesamtleistung von Zügen und Infrastruktur verbessern. Dieser gezielte Ansatz minimiert Ausfallzeiten, reduziert Kosten und gewährleistet optimale Leistung, was die Eisenbahnindustrie revolutioniert. Einige Details zu den Vorteilen sind:

- **Verbesserte Sicherheit:** Durch die Identifizierung und Behebung potenzieller Probleme, bevor sie eskalieren, kann die vorausschauende Wartung die Sicherheit des Zugbetriebs erheblich verbessern.
- **Erhöhte Effizienz:** Proaktive Instandhaltung reduziert unerwartete Ausfälle, gewährleistet pünktlichen Zugverkehr und verringert Serviceunterbrechungen, wodurch die Fahrgasterfahrung verbessert wird.

Eine Ferndiagnose sollte auf Bedürfnisse des Kunden aufgebaut werden.

- **Kosteneinsparungen:** Die frühzeitige Erkennung von Problemen ermöglicht rechtzeitige Reparaturen, die kosteneffizienter sein können als die Bewältigung grösserer Ausfälle. Dies verlängert auch die Lebensdauer von Zugkomponenten.
- **Datenbasierte Entscheidungen:** Basierend auf Echtzeitdaten ermöglicht die vorausschauende Instandhaltung fundiertere Entscheidungen für Instandhaltungsstrategien, anstatt routinemässiger oder zeitbasierter präventiver Instandhaltung.

3.3. Technologie hinter KI-gestützter vorausschauender Instandhaltung

Die Zentralbahn und Rail Diagnostics sammeln umfangreiche Echtzeitdaten von Sensoren, die in den Zügen installiert sind. Die Daten werden dann in einer Datenbank gespeichert. CSEM analysiert diesen reichen Informationsfluss und entwickelt KI-Modelle, die das normale Verhalten des Zugsys-

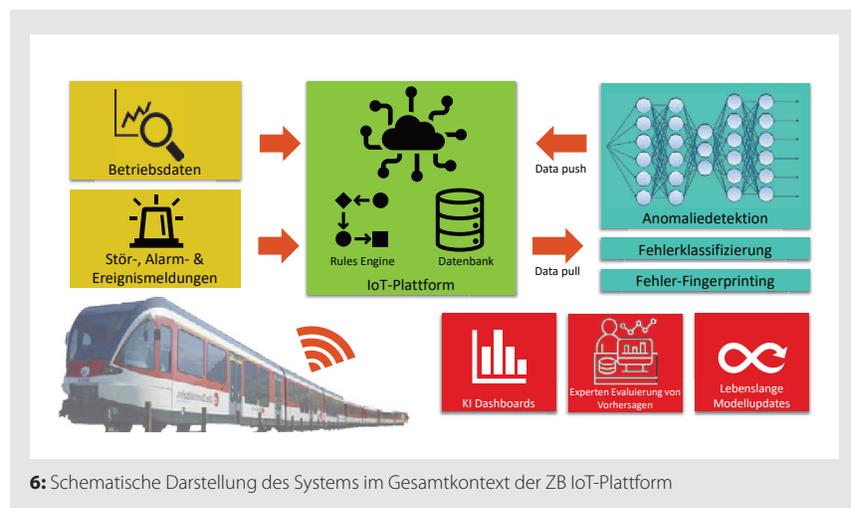
tems erlernen können. Das Ziel ist es, ein zuverlässiges und robustes KI-Modell aufzubauen, das Anomalien – unsichtbare Muster in den Daten – erkennt, die auf potenzielle Zugprobleme hinweisen könnten.

CSEM arbeitet eng mit der Zentralbahn und Rail Diagnostics an der Entwicklung des Deep Learning-Modells zusammen. Nach gründlicher Evaluierung und Verfeinerung wird das vorausschauende System nahtlos an die IoT-Plattform der Zentralbahn integriert. Ein interaktives KI-Dashboard, das als Gesundheitsüberwachungstool fungiert, wird schnell Alarme auslösen und potenzielle Probleme anzeigen, die vom Deep Learning-Modell vorhergesagt werden. Dieser proaktive Ansatz soll der Zentralbahn helfen, datenbasierte Wartungsstrategien für einen sicheren und effizienten Zugbetrieb zu entwickeln.

3.4. Weiteres Vorgehen

Das interaktive KI-Dashboard, das potenzielle Zusanomalien anzeigt und die Sammlung von Expertenmeinungen zu diesen Anomalien ermöglicht, läuft auf der ZB-Plattform. In den nächsten Monaten wird das Projektteam diese Expertenmeinungen sammeln und die zusätzlichen Daten nutzen, um das Deep Learning-Modell zu verbessern. Gegen Ende 2024 wird CSEM das KI-Dashboard erweitern, um weitere Anwendungsfälle abzudecken, wie z.B. Türdefekte und Getriebschwingungen.

Im Bereich der künstlichen Intelligenz stellt die Alterung der Modelle eine kritische Herausforderung dar. Wenn sich das Betriebsumfeld und die Datenmuster im Laufe der Zeit verändern, kann die Leistung von Deep Learning-Modellen nachlassen



– ein Phänomen, das als Modellalterung bezeichnet wird. Um dem entgegenzuwirken, wird die Leistung des bereitgestellten Modells überwacht und Abweichungen in den eingehenden Daten verfolgt, die die aktuellen Betriebsbedingungen widerspiegeln. Anschliessend wird ein regelmässiger Zeitplan für das erneute Training des Deep Learning-Modells etabliert. Durch die Automatisierung dieses Prozesses bleibt die Erkennung von Anomalien genau und zuverlässig, was eine proaktive Wartung ermöglicht. Dieser Ansatz mindert nicht nur die Auswirkungen der Modellalterung, sondern stärkt auch die Gesamtfestigkeit und Langlebigkeit dieser Lösung für vorausschauende Instandhaltung.

4. Vorteile und Ausblick

Die Implementierung dieser fortschrittlichen Technologien bringt zahlreiche Vorteile mit sich. Durch die Echtzeit-Ferndiagnose und den Einsatz von Deep Learning

können potenzielle Probleme frühzeitig erkannt und präventive Instandhaltungsmassnahmen ergriffen werden. Dies führt zu einer höheren Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der Fahrzeuge, reduziert die Betriebskosten und verlängert die Lebensdauer der Zugkomponenten.

Die Zusammenarbeit mit Rail Diagnostics und CSEM stellt sicher, dass die Zentralbahn stets auf dem neuesten Stand der Technik ist und von den neuesten Entwicklungen im Bereich der Ferndiagnose und Datenanalyse profitiert. Diese Projekte sind ein bedeutender Schritt hin zu einer datengetriebenen und proaktiven Instandhaltungsstrategie, die die Effizienz und Sicherheit im Bahnverkehr nachhaltig verbessert.

Insgesamt positionieren diese Initiativen die Zentralbahn als Vorreiterin beim Einsatz moderner Technologien zur Fahrzeugüberwachung und -instandhaltung, die nicht nur die Betriebssicherheit erhöhen, sondern auch einen wichtigen Beitrag zur Optimierung der gesamten Bahninfrastruktur leisten.

Literatur

[1] Biggio, L., & Kastanis, I. (2020). Prognostics and health management of industrial assets: Current progress and road ahead. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 3, 578613.

Summary

Remote diagnosis and Deep Learning at the Central Railway – added value thanks to data and expert know-how

The Central Railway focus on digitizing to optimize production and maintenance. In the Deep Learning project, sensors in rails collect data which are transformed in real time on a IoT platform. This allows AI-supported and predictive maintenance, reduces downtimes and lowers costs. A remote diagnosis system supports analyses and maintenance planning in real time which means efficiency and safety of the fleet is improved and the customer satisfaction increases.

100 Jahre Fachwissen zu Technik und Management moderner Bahnen






Bewerben Sie Ihre Dienstleistungen
oder Ihre Produkte in den Rubriken

- Fahrweg & Bahnbau
- Fahrzeuge & Komponenten
- Ausrüstung & Betrieb
- Projekte & Management
- Forschung & Entwicklung

Anzeigenschluss:
16.10.2024

Buchen Sie jetzt

➔ Ihren Firmeneintrag

➔ Ihr Businessprofil

➔ Ihre Anzeige



Ihr Ansprechpartner: Tim Feindt ▪ tim.feindt@dvmmedia.com ▪ Telefon +49 40 237 14 220



Autoren-Belegexemplar, Frau Lee, CSEM. Weitergabe an Dritte urheberrechtlich untersagt.