

Künstliche Intelligenz für die Bahn: Potenziale und Herausforderungen für die Anwendung

Methoden der künstlichen Intelligenz bieten großes Potenzial, aber auch viele Herausforderungen. Nachfolgend wird eine Analyse der aktuellen Situation vorgenommen.



1. Einleitung

Der Einsatz von Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) sowie des Maschinellen Lernens (ML) soll den Verkehrsträger Bahn sowohl effizienter als auch attraktiver gestalten. Die Verwendung fällt dabei sehr vielseitig aus und bietet einerseits großes Potenzial, ist aber andererseits auch immer wieder Thema von Diskussionen. Erst jüngst wurde von Tech-Experten gefordert, bei der Entwicklung eine Pause einzulegen (vgl. [1]). Dem wird beispielsweise von der Informatik-Professorin Johanna Börklund von der schwedischen Universität von Umeå widersprochen: „Es gibt keinen Grund, die Handbremse zu ziehen.“ Stattdessen sollten die Transparenz-Auflagen für Entwickler verschärft werden. Es benötigt Sicherheitsstandards, um ein Regelwerk für den Einsatz der Technologie zu schaffen [1]. Nachfolgend wird daher beleuchtet, welche potenziellen Anwendungsfelder für KI in der Bahnwelt existieren bzw. in welchen Bereichen KI möglicherweise schon angewendet wird. Aufbauend darauf wird analysiert, welche offenen Handlungsfelder bzw. Hürden existieren, um das volle Potenzial zu erschließen.

2. Stand der Technik, Potenziale sowie Herausforderungen

Eine ausführliche Übersicht über den Einsatz von KI-Methoden im Verkehrsbereich bieten Tang et. al. in ihrem Beitrag „A literature review of Artificial Intelligence applications in railway systems“ [2]. In diesem wurden ca. 140 wissenschaftliche Beiträge zum Thema KI zwischen 2010 und 2020 analysiert und hinsichtlich ihres Einsatzzwecks

ausgewertet. In dieser Auswertung wird deutlich, dass der Haupteinsatzzweck im Schienenverkehr derzeit in der Instandhaltung und der Inspektion liegt. Als weitere Unterkategorien werden u. a. die Sicherheit (Safety und Security), das automatisierte Fahren, die Verkehrsplanung und das -management und zuletzt die Passagierflussvorhersage beschrieben.

Generell können die Anwendungsgebiete im Bahnbereich grob in die Infrastruktur, den Betrieb und das Fahrzeug aufgeteilt werden. Vorhandene KI-Algorithmen lassen sich auf diese drei Bereiche anwenden und entsprechend ihrer Anwendung in Kategorien unterteilen, die in Bild 1 dargestellt sind.

3. Anwendung von KI für die Infrastruktur

Der Schienenverkehr ist als Gesamtsystem von Fahrzeugen, Prozessen und Infrastruktur zu betrachten. Die große räumliche Ausdehnung von Schienennetzen und die hohe Anzahl von Infrastrukturelementen (z. B. Gleise, Weichen, Signale) bringen einen entsprechend großen Instandhaltungsaufwand mit sich.

Der Einsatz von KI-Methodiken hat das Potenzial, den Weg hin zu einer zustandsabhängigen bzw. prädiktiven Instandhaltung der Infrastruktur zu ebnen und damit die Kosten für diese Instandhaltung zu reduzieren [3]. Der Schlüssel liegt darin, Zustände von Infrastrukturelementen aus Felddaten zu erfassen und deren Entwicklung und hier insbesondere den Verschleiß möglichst genau abzuschätzen. Wartungsmaßnahmen mit festen und vorsichtig gewählten Intervallen (bspw. Tausch nach Datum) können so flexibler und zustands-



Dr.-Ing. Jannis Sinnemann
Westfälische Lokomotiv-Fabrik
Reuschling GmbH & Co. KG
Innovation Manager
j.sinnemann@reuschling.de



Dr.-Ing. Julian Franzen
Westfälische Lokomotiv-Fabrik
Reuschling GmbH & Co. KG
Head of Innovation
j.franzen@reuschling.de



Dr.-Ing. Christian Meirich
Deutsches Zentrum für Luft- und
Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für
Verkehrssystemtechnik
Gruppenleiter Bahnbetrieb in der
Abteilung Design & Bewertung
von Mobilitätslösungen
christian.meirich@dlr.de



Dr. Benjamin Baasch
Deutsches Zentrum für Luft- und
Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für
Verkehrssystemtechnik
Wissenschaftlicher Mitarbeiter in
der Abteilung Informationsgewinnung
und Modellierung
Benjamin.baasch@dlr.de



Dr. Michael Roth
Deutsches Zentrum für Luft- und
Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für
Verkehrssystemtechnik
Wissenschaftlicher Mitarbeiter in
der Abteilung Informationsgewinnung
und Modellierung
m.roth@dlr.de

basiert durchgeführt werden (bspw. Tausch bei bevorstehendem Defekt).

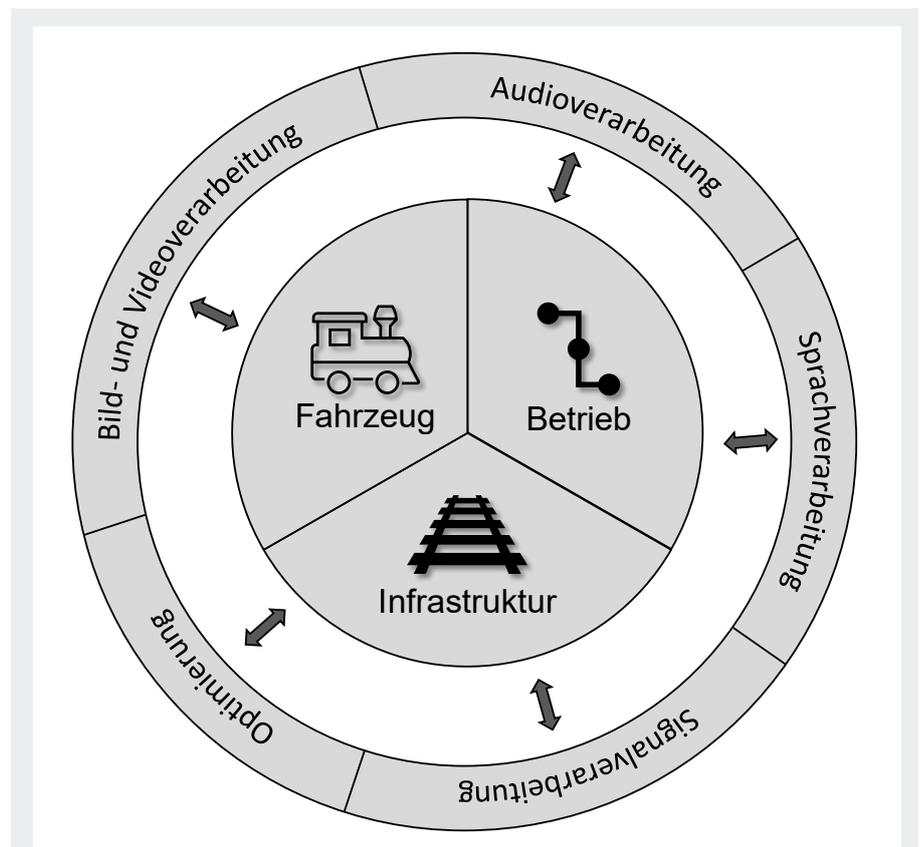
KI ist nur wirksam mit Daten. Um entsprechende Datensätze für Infrastrukturkomponenten und die damit verbundenen Verschleißprognosen vorliegen zu haben, müssen diese kontinuierlich mittels Sensoren erhoben werden, was sowohl infrastrukturel als auch fahrzeugseitig erfolgen kann. Insbesondere die sensorische Nutzung von Regelfahrzeugen verspricht eine kontinuierliche Überwachung des gesamten Gleisnetzes [4]. Besonders wertvoll für die Vergleichbarkeit und Verläufe von Zuständen der Infrastruktur sind wiederholte Überfahrten unter ähnlichen Bedingungen. Die anfallenden großen Datenmengen bedürfen einer automatisierten Auswertung. Dies kann mittels KI unüberwacht oder überwacht erfolgen, also mit oder ohne Zuhilfenahme von Referenzdaten. Unüberwachte Verfahren zielen darauf ab, Anomalien zu erkennen, um Fehlstellen an der Infrastruktur zu detektieren. Überwachte Methoden können mit Hilfe entsprechender Referenzdaten qualitative und quantitative Informationen z. B. über den Gleiszustand liefern oder für die Klassifikation von Gleisfehlern genutzt werden. Relevante Informationen liefern insbesondere Vibrationsdaten, beispielsweise Achslagerbeschleunigen, für die Bestimmung von Gleisgeometrie oder Schienendefekten [5] und Kamerabilder für die automatisierte Detektion von sichtbaren Auffälligkeiten an der Schieneninfrastruktur [6]. Um die Verbindung zur befahrenen Infrastruktur herzustellen, sind Positionsinformationen (aus Satellitennavigation und Inertialsensorik) wichtig [7].

Darüber hinaus können streckenseitige Sensordaten für die kontinuierliche Überwachung von besonders kritischen Infrastrukturelementen wie Weichen genutzt werden. So können beispielsweise Weichenstellstromkurven mithilfe von KI analysiert und Defekte detektiert werden [8].

4. KI in der Anwendung bei Schienenfahrzeugen

Über den Lebenszyklus eines Schienenfahrzeugs betrachtet, findet der Einsatz von KI in verschiedenen Phasen statt, wobei sich derzeitige Aktivitäten schwerpunktmäßig auf die Instandhaltung und den Betrieb beziehen und nachfolgend auszugsweise dargestellt werden.

Im Bereich der Nutzung des Fahrzeugs stellt KI eine Schlüsseltechnologie für die



1: Potenzielle Einsatzfelder im Bahnbereich und Anwendungskategorien von KI-Algorithmen

Automatisierung der Fahrfunktionen dar. Für die (Teil-)Automatisierung von Fahrzeugfunktionen dominiert der Einsatz der KI-Methoden für die Umfeldüberwachung des Fahrzeugs. Hier werden Methoden des maschinellen Sehens eingesetzt, um relevante Objekte durch Kamera-, Lidar-, Radar- und Ultraschallsensoren im aufgenommenen Umfeld zu identifizieren. Je nach Art des detektierten Objekts werden diese Informationen bei schwach automatisierten Prozessen dem Bediener des Fahrzeugs zur Verfügung gestellt (vgl. [9]) oder zur Entscheidungsfindung beim autonomen Fahren genutzt (vgl. [10, 11]).

Ähnlich wie bei der prädiktiven Instandhaltung bei Infrastrukturkomponenten besitzt die Überwachung des Fahrzeug- und Komponentenzustands enormes Potenzial, um die Verfügbarkeit, Kosteneffizienz und Sicherheit der Dienstleistung auf der Schiene zu erhöhen. Fahrzeugseitig besteht die Möglichkeit, diese mit Sensoren auszustatten und so große Datenmengen für eine Analyse mittels KI-Methoden zur Bestimmung und Prognose des Fahrzeugzustands zu erzeugen. Abhängig von der Anwendung, werden Cloud- oder Edge-

Applikationen [12] realisiert. Den Kern der Datenanalyse bilden Systeme zur Überwachung rotierender Komponenten wie z. B. die Komponenten der Radsätze und Radsatzlager auf Basis von Beschleunigungs- und Schwingungsdaten (vgl. [13]). Jüngere Ansätze, welche die Kenntnis der Komponentenzustände eines Fahrzeugs zur Erreichung eines resilienten Betriebs nutzen, werden unter dem Begriff der präskriptiven Instandhaltung verortet.

Für die Durchführung der Instandhaltung selbst bietet KI das Potenzial, durch den Einsatz von Methoden zur Spracherkennung und -erzeugung die zugehörigen Prozesse zu vereinfachen und sicherer zu gestalten. Werden beispielsweise Maße von Komponenten an schwer zugänglichen Stellen des Fahrzeugs genommen, können diese per Sprachbefehl erfasst und in Instandhaltungsdokumentationen übertragen werden. Auch der Einsatz des maschinellen Sehens bietet die Möglichkeit, mittels Augmented Reality, z. B. durch Nutzung eines Smart Devices, zielgenaue Informationen zur Unterstützung des Prüf- oder Instandsetzungsprozesses bereitzustellen [14].

5. Eisenbahnbetriebliche Anwendungen von KI

Künstliche Intelligenz kommt bei der Bahn ebenfalls für betriebliche Fragestellungen zum Einsatz. Dabei stehen derzeit insbesondere die Bereiche der Fahrplanung und die Disposition im Fokus der Forschung und der Entwicklung. Als Unterkategorien werden hier die strategische und taktische Planung, die Analyse des durchgeführten Verkehrs sowie das dispositive Neuplanen von Fahrten in Folge von Verspätungen bzw. fahrplanerischen Abweichungen genannt, um eine höhere betriebliche Effizienz zu erreichen (vgl. [2]).

Ein Vorteil für den Einsatz KI-gestützter Methoden im Bahnbetrieb liegt vor allem darin, im Verspätungsfall ausreichend große Zeitlücken zu identifizieren und so einen vorausschauenden Betrieb zu ermöglichen. Daher soll KI bei der Fahrplanung und der Disposition einerseits dazu eingesetzt werden, (mögliche) Konflikte zu erkennen sowie zu verhindern und andererseits aufgetretene Verspätungen schnellstmöglich zu minimieren und neue Verspätungen bzw. eine Verspätungsübertragung zu vermeiden.

Durch die Anwendung von KI-gestützten Verfahren für das vorausschauende Fahren können weitere unnötige Beschleunigungs- und Bremsvorgänge vermieden werden. Die dadurch erreichte Geschwindigkeitsharmonisierung wirkt sich positiv auf die Verspätungen im Sinne von Wartezeitenreduktion sowie hinsichtlich der kapazitiven Leistung der Infrastruktur (bspw. [15]) aus.

Weiter werden Verfahren des Maschinellen Lernens auch für die Reisendeninformation eingesetzt, um zum Beispiel mittels Prognoseverfahren auf Basis von vergangenen Echtzeit-Daten verlässlichere Ankunfts- und Abfahrtszeiten oder die Auslastungen in Zügen und an Bahnhöfen zu ermitteln.

Die meisten eingesetzten KI-Methodiken im Bahnbetrieb werden als Optimierungsproblem formuliert, mit dem Hintergrund, diese auf heutige nicht oder nur schwer analytisch lösbare Fragestellungen anzuwenden oder die Größe des beschriebenen Problems deutlich zu erhöhen. Jedoch werden insbesondere für die Prognose (bspw. für Fahrgastvorhersagen oder zur Konfliktvermeidung) datenbasierte Ansätze angewendet, um aus historischen Daten bessere Aussagen für die Zukunft zu generieren.

6. Bewertung

Für die Zustandsbestimmung von Fahrzeugkomponenten sowie für die Infrastruktur wird deutlich, dass bei der Überführung von Anwendungen aus der Forschung in die Praxis die geringe Verfügbarkeit von Daten, insbesondere bei Bestandsfahrzeugen, eine Herausforderung darstellt. Zum einen ist dies mit der hohen Kostenintensität geeigneter Lösungen zur Datenerzeugung verbunden. Zum anderen besteht eine geringe IT-Kapazität von Fahrzeugen im Bestand. Daraus resultiert als Herausforderung für eine breitere Anwendung insbesondere die Adaption von KI-Ansätzen, welche mit wenigen Daten auskommen (z.B. Few-Shot-Learning) und die Realisierung von Edge-Konzepten zur teilweise dezentralen und ggf. energieoptimierten Datenauswertung im Fahrzeugbestand.

Dies gilt ebenso für die KI-gestützte Instandhaltung der Bahn-Infrastruktur. Belastbare KI-Ergebnisse und der Vergleich mit existierenden Ansätzen sind notwendig. Dies ist nicht überall möglich, insbesondere in neuen und erst durch KI ermöglichten Anwendungsfällen. Es ist wichtig, KI und anderen datengetriebenen Ansätzen die Chance einzuräumen, einen Beitrag zu leisten. Ebenso sollte die Verfügbarkeit von Daten (z.B. durch zukunftsfähiges Datenmanagement) vorbereitet werden.

Im Bereich der Umfeldüberwachung für das automatisierte Fahren ist die Anwendung von Computer Vision-Algorithmen zu erkennen. Als wesentliches Hemmnis für hohe Automatisierungsgrade ist zurzeit weniger die Verfügbarkeit von Sensorik und Auswertung als die Überwachung der unbesetzten Zugspitze und die Zulassung

Da die Fähigkeiten und Zuverlässigkeit von KI-Methoden zukünftig weiter steigen werden, ist es notwendig, zeitnah die Weichen für einen Einsatz durch geeignete Zulassungsverfahren zu stellen.

entsprechender Systeme für sicherheitsrelevante Applikationen, z.B. aufgrund vielfältiger Betriebsszenarien in Häfen, Gewerbegebieten, Rangierbahnhöfen zu werten. Dennoch zeigen die Aktivitäten verschiedener Akteure (z.B. [16]), dass Fortschritt angestrebt wird.

Die eingesetzten KI-Methodiken im betrieblichen Bahnkontext befinden sich derzeit überwiegend in einer Test- und Erprobungsphase. Dabei werden die Methodiken hauptsächlich für nicht-sicherheitskritische Prognosen und Fahrgastinformationen bspw. für die Ankunfts- und Abfahrtszeiten sowie die Auslastung von Zügen und Knoten angewendet [14]. Ein weiterer Schwerpunkt in der Erprobung von KI liegt in der Lösung von Optimierungsproblemen, welche sich hauptsächlich auf die Analyse von Verkehren mit historischen Daten beziehen. Die Anwendungen in der operativen Konfliktvermeidung im Zuge einer Neuplanung des Fahrplans aufgrund von Störungen im Betriebsgeschehen oder aber auch in der strategischen und taktischen Netzplanung im Sinne von Leistungsfähigkeitsgewinnen stehen relativ am Anfang der Umsetzung und Erprobung. Nach Auswertung von [2] werden KI-Methodiken bislang lediglich zur Entscheidungsfindung und Unterstützung der Disponenten bzw. Planern angewendet.

7. Fazit

Es wird deutlich, dass KI-Methoden vielfältig zur Lösung relevanter Probleme beitragen können. Wichtig ist ein realistisches Management der Erwartung an KI-Lösungen, um einen produktiven Arbeitspunkt zwischen den Extremen „KI als Lösung für alle Probleme“ und „KI ist nicht anwendbar“ zu finden. KI-Werkzeuge sollten daher nicht allein betrachtet werden, sondern als probates Werkzeug im Zusammenspiel mit weiterer Methodik. Dies sichert den Anschluss an etablierte Vorgänge und die Akzeptanz der Stakeholder. Des Weiteren wird deutlich, dass es aktuell an Richtlinien und Vorgehen zur Zulassung von KI-Algorithmen besonders in sicherheitskritischen Anwendungen fehlt. Da die Fähigkeiten und Zuverlässigkeit von KI-Methoden zukünftig weiter steigen werden, ist es notwendig, zeitnah die Weichen für einen Einsatz durch geeignete Zulassungsverfahren zu stellen.

Literatur

- [1] SCHREIBER, Sebastian: Experten fordern Pause bei KI-Entwicklung. URL <https://www.tagesschau.de/wissen/musk-tech-pause-ki-entwicklung-101.html>. – Aktualisierungsdatum: 2023-04-26
- [2] TANG, Ruifan; DONATO, Lorenzo de; BESINOVIC, Nikola; FLAMMINI, Francesco; GOVERDE, Rob M.P.; LIN, Zhiyuan; LIU, Ronghui; TANG, Tianli; VITTORINI, Valeria; WANG, Ziyulong: A literature review of Artificial Intelligence applications in railway systems. In: Transportation Research Part C: Emerging Technologies 140 (2022), S. 103679.
- [3] KORNFELD, Nils; LUBER, Andreas; LEICH, Andreas; KAISER, Max; SCHUBERT, Lucas; GROOS, Jörn: Zustandsüberwachung der Bahninfrastruktur mit KI. In: Eisenbahn Ingenieur Kompendium 2020 (2019).
- [4] ALTEN, Karoline; FUCHS, Andreas; STRUHAR, Jan; BAASCH, Benjamin; HEUSEL, Judith; GROOS, Jörn: Zustandsüberwachung mit Regelfahrzeugen. In: DVV Media Group (Hrsg.): Eisenbahn Ingenieur Kompendium, 2017, S. 111–127.
- [5] NIEBLING, Julia; BAASCH, Benjamin; KRUSPE, Anna: Analysis of Railway Track Irregularities with Convolutional Autoencoders and Clustering Algorithms, Bd. 1279. In: BERNARDI, Simona; VITTORINI, Valeria; FLAMMINI, Francesco; NARDONE, Roberto; MARRONE, Stefano; ADLER, Rasmus; SCHNEIDER, Daniel; SCHLEIB, Philipp; NOSTRO, Nicola; LØVENSTEIN OLSEN, Rasmus; DI SALLE, Amleto; MASCI, Paolo (Hrsg.): Dependable Computing - EDCC 2020 Workshops. Cham: Springer International Publishing, 2020 (Communications in Computer and Information Science), S. 78–89.
- [6] JAHAN, Kanwal; UMESH, Jeethesh Pai; ROTH, Michael: Anomaly Detection on the Rail Lines Using Semantic Segmentation and Self-supervised Learning. In: 2021 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI): IEEE, 2021, S. 1–7.
- [7] ROTH, Michael; BAASCH, Benjamin; HAVRILA, Patrik; GROOS, Jörn: Map-Supported Positioning Enables In-Service Condition Monitoring of Railway Tracks. In: 2018 21st International Conference on Information Fusion: 10-13 July 2018, Cambridge, 2018, S. 2346–2353.
- [8] GUZMAN, Daniela Narezo; HADZIC, Edin; BAASCH, Benjamin; HEUSEL, Judith; NEUMANN, Thorsten; SCHRIJVER, Gerrit; BUURSMA, Douwe; GROOS, Jörn C.: Anomaly Detection and Forecasting Methods Applied to Point Machine Monitoring Data for Prevention of Railway Switch Failures, Bd. 166. In: Ball; Vyas (Hrsg.): Advances in Asset Management and Condition Monitoring. [S.l.]: Springer International Publishing, 2020 (Smart Innovation, Systems and Technologies), S. 307–318.
- [9] SAMIRA: Forschungsprojekt. URL <https://samira-rangier-assistent.de/>. – Aktualisierungsdatum: 2023-04-26.
- [10] RANGIERTERMINAL4.0: Forschungsprojekt. URL <https://verkehrsforschung.dlr.de/de/projekte/rangier-terminal4.0>. – Aktualisierungsdatum: 2023-04-26.
- [11] SENSORS4RAIL: Forschungsprojekt. URL <https://digitale-schiene-deutschland.de/Sensors4Rail>. – Aktualisierungsdatum: 2023-04-26.
- [12] BOHNET, Julian: Bahnverkehr: Thank you for traveling with AI. URL <https://safe-intelligence.fraunhofer.de/artikel/bahnverkehr-thank-you-for-traveling-with-ai>. – Überprüfungsdatum 2023-04-26.
- [13] BAASCH, Benjamin; HEUSEL, Judith; ROTH, Michael; NEUMANN, Thorsten: Train Wheel Condition Monitoring via Cepstral Analysis of Axle Box Accelerations. In: Applied Sciences 11 (2021), Nr. 4, S. 1432.
- [14] SIEMENS MOBILITY GMBH: Künstliche Intelligenz im Schienenverkehr: SBB Cargo und Siemens Mobility bringen künstliche Intelligenz auf die Schiene. URL <https://www.mobility.siemens.com/ch/de/unternehmen/newsroom/news-archiv/kuenstliche-intelligenz-im-schienerverkehr-von-sbb-cargo.html>. – Aktualisierungsdatum: 2023-04-26.
- [15] MEIRICH, Christian: Berechnung und Bewertung der Gesamtleistungsfähigkeit von Eisenbahnnetzen.

Aachen, Universitätsbibliothek der RWTH Aachen. Dissertation. 2017.

[16] SIEMENS MOBILITY GMBH: Wir stehen in den Startlöchern. URL <https://www.mobility.siemens.com/global/de/portfolio/schiene/stories/wir-stehen-in-den-startloechern.html>. – Überprüfungsdatum 2023-04-26.

Summary

Artificial intelligence for the rail: potentials and challenges for the application

Methods of artificial intelligence offer huge potential but also lots of challenges. This article shows that AI-methods can contribute in a variety of ways to solving relevant problems. A realistic management of the expectations of AI-solutions is important, to find a productive working point between the extreme "AI as solution for all problems" and "AI is not applicable". Because of this, AI-tools should not be considered alone but as a probable tool in combination with further methodology. Furthermore, it becomes clear that at the moment there is a lack of guidelines and procedures for the approval of AI-algorithms, particularly in safety-critical applications. As the capabilities and reliabilities of AI-methods will continue to increase in the future, it is necessary to set their course for their use by means of suitable approval procedures in a timely manner.



Weitere Infos finden Sie hier:
www.eiffage-infra.de/rail



Mehr Bewegung im grünen Bereich.

Der schienengebundene Regional- und Nahverkehr wird als umweltfreundliche Alternative zum automobilen Individualverkehr gesehen. Deshalb ist es wichtiger denn je, dass die Schieneninfrastruktur gestärkt und weiter ausgebaut wird. Hierbei sind wir für staatliche und private Bahngesellschaften sowie für Stadtbahn- und Straßenbahnunternehmen ein verlässlicher Partner.

Was wir machen.

- Oberbau konventionell ■ Komplexe Bahnprojekte ■ Feste Fahrbahnen
- Masse-Feder-Systeme (MFS) ■ Consulting ■ Gleisbaumaschinen

Jetzt einsteigen.

Sie möchten sich beruflich verändern? Fragen rund um Bewerbung und Karriere beantwortet Ihnen gerne **Frau Stefanie Bertram, T +49 2325 9551-0, bewerbungen.er@eiffage.de**

