

12

Die Zukunft der Bahn mitgestalten – F&E bei der ÖBB-Infrastruktur AG

Dr. Vesna Micić Batka (Wien), Dr. Thomas Petraschek (Wien)

Die ÖBB-Infrastruktur AG (ÖBB-Infra) spielt eine entscheidende Rolle bei der Mobilitätswende. Das Unternehmen strebt eine Erhöhung der Kapazitäten für den Umstieg auf die Schiene, eine Stärkung des ökologischen Wettbewerbsvorteils sowie eine Steigerung der Produktivität und Effizienz der Bahn an. Dabei unterstützt Forschung und Entwicklung (F&E) die Suche nach innovativen Lösungen, um das volle Potenzial der Eisenbahn auszuschöpfen. In Zusammenarbeit mit nationalen und internationalen Akteuren aus Wissenschaft und Industrie erforscht und demonstriert die ÖBB-Infra Wege zur Erhöhung der Kapazitäten, u. a. durch Simulationen im Digitalen Zwilling, KI-unterstützte und automatisierte Steuerung auf freier Strecke und im Vershubknoten. Mithilfe von Smart-Sensorik und Robotik erforscht die ÖBB-Infra, wie sich die Instandhaltungsmaßnahmen der Infrastruktur in eine präventive bzw. vorausschauende Instandhaltung umwandeln lässt, um die Produktivität zu steigern. Dazu erforscht die ÖBB-Infra Lösungen (inklusive Materialien, Verfahren, Design und Planung), die die Schlüsselkomponenten der Bahninfrastruktur verbessern und die Treibhausgasemissionen beim Infrastrukturbau reduzieren können. Im Mittelpunkt der F&E-Aktivitäten stehen auch die Erhöhung der Klimaresilienz der Infrastruktur durch die Entwicklung von Maßnahmen zur Reduzierung von Versagens- und Schadensrisiken sowie von Verkehrsunterbrechungen durch vom Klimawandel verursachte Extremwetterereignisse. Entsprechend der in ihrer Strategie verankerten Ziele ebnet die F&E der ÖBB-Infra den Weg für die Zukunft der Bahn.

12.1 Einleitung

Die ÖBB-Infra steht im Zentrum der Mobilitätswende in Österreich und gestaltet aktiv die Zukunft des Bahnverkehrs. Als Rückgrat eines nachhaltigen, leistungsfähigen und kundenorientierten Mobilitätssystems übernimmt sie eine Schlüsselrolle bei der Transformation des Verkehrssektors. Durch die Bereitstellung effizienter, sicherer und umweltfreundlicher Transportmöglichkeiten trägt sie zur Erreichung der europäischen Klimaziele bei [1].

Um ihre Rolle verantwortungsbewusst auszufüllen, verfolgt die ÖBB-Infra im Rahmen ihrer Grundsatzstrategie #INFRA.Mobilitätswende [2] folgende strategische Ziele: eine Erhöhung der Kapazitäten für den Umstieg auf die Schiene sowie die Stärkung des ökologischen Wettbewerbsvorteils und Steigerung von Produktivität und Effizienz der Bahn. Dabei werden hohe Sicherheits- und Pünktlichkeitsstandards eingehalten.

Die Forschung und Entwicklung (F&E) leistet einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung dieser Ziele. Sie fördert nicht nur ein zukunftsorientiertes System Bahn, sondern treibt auch innovative Lösungen voran, um das volle Potenzial der Eisenbahn auszuschöpfen.

Die aktuelle F&E-Strategie der ÖBB-Infra, #INFRA.F&E_fit30 [3], bildet dazu die Grundlage für die Weiterentwicklung der Eisenbahn in Österreich. Für das System Bahn stellt sie ein Zielbild bereit – mit einer Perspektive bis 2030. Der Fokus liegt dabei auf den Tophemen zur Erreichung der Ziele der ÖBB-Infra entlang der Dimensionen Kapazität, Produktivität, Qualität und Dekarbonisierung.

Die F&E der ÖBB-Infra übernimmt dabei die Rolle eines Impulsgebers für das künftige System Bahn. Der Weg zur Verwirklichung der Zukunft der Bahn erfolgt durch die Erreichung der folgenden, in der #INFRA.F&E_fit30-Strategie verankerten Ziele:

- I Die europäisch harmonisierte, hochautomatisierte Steuerung des Systems Bahn auf freier Strecke und im Vershubknoten.
- I Zuverlässige, integrationsfähige Bahninfrastruktur und dazugehörige Vorhersagemodelle sowie Automatisierungslösungen.
- I Reduktion der CO₂-Emissionen der Bahninfrastruktur und Erhöhung der Resilienz des Systems Bahn gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels.

Zur Realisierung dieser strategischen F&E-Ziele wurden folgende Stoßrichtungen definiert, die Themenbereiche für F&E-Initiativen und Projekte beinhalten:

- I Intelligentes Kapazitätsmanagement
- I Vershub & Zugvorbereitung
- I Smart Assets & Predictive Maintenance
- I Schlüsselkomponenten der Infrastruktur

- I Emissionsreduktion & Klimaresilienz der Bahninfrastruktur
- I Simulation im Digitalen Zwilling

Aktuell werden zahlreiche F&E-Projekte sowohl auf internationaler als auch nationaler Ebene durchgeführt. Die F&E-Landkarte der ÖBB-Infra (Abbildung 1) gibt einen Überblick, über die Themenbereiche, an denen F&E mitwirkt.

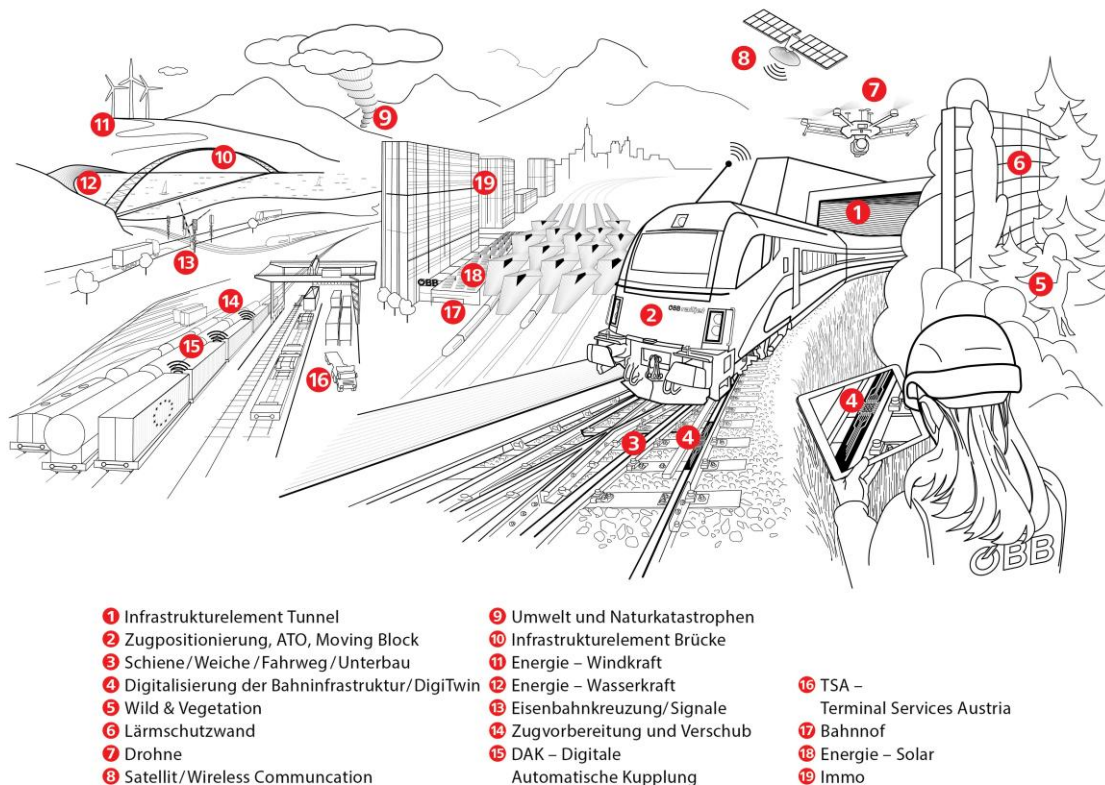


Abbildung 1 F&E-Landkarte der ÖBB-Infra (adaptiert aus [4]).

Um F&E-Projekte erfolgreich umzusetzen, baut die ÖBB-Infra ein leistungsfähiges F&E-Ökosystem auf und setzt dabei auf Kooperationen mit nationalen und europäischen Stakeholdern und Partnern aus den Bereichen Wissenschaft, Industrie sowie fördernden und regulierenden Stellen. Gleichzeitig strebt die ÖBB-Infra nach Exzellenz in ihren F&E-Vorhaben. Als Gründungsmitglied ist die ÖBB federführend im größten europäischen Forschungsprogramm für das System Bahn, dem „Europe’s Rail Joint Undertaking“ (ERJU).

12.2 Intelligentes Kapazitätsmanagement

Diese Stoßrichtung umfasst die folgenden Vorhaben:

- I Optimierung des Traffic-Management-Systems (**TMS**) mithilfe von Künstlicher Intelligenz (**KI**). Anders als bei traditionellen TMS, das auf vordefinierten Regeln und

festgelegten Fahrplänen basiert, sollte durch den Einsatz von KI eine Echtzeitanalyse der Betriebssituation ermöglicht werden. Das KI-optimierte TMS soll auf Basis umfangreicher Daten und intelligenter Algorithmen präzise Vorhersagen über mögliche betriebliche Konflikte treffen, Trassen priorisieren und ungewünschte Situationen, wie etwa Verspätungen schnell lösen.

- I Einführung des European-Train-Control-Systems (ETCS)-Moving Block (oder Moving-Block System, **MBS**). Im Gegensatz zum starren „Fixed Block“-System, bei dem die Strecke in feste Abschnitte unterteilt ist, und jeder Abschnitt nur von einem Zug befahren werden kann, was die Streckenkapazität stark begrenzt, bietet das MBS die Möglichkeit die Kapazität erheblich zu steigern. Das MBS ermöglicht dynamische Abstände zwischen den Zügen, die auf Grundlage der aktuellen Geschwindigkeit und der Bremswege berechnet werden, sodass Züge dichter hintereinanderfahren können.
- I Einführung des automatischen Zugbetriebs („Automatic Train Operation“, **ATO**) auf einer gewissen Automatisierungsstufe X („Grade of Automation X“, **GoA X**). Aktuell erfolgt die Steuerung der Züge vollständig manuell durch die Lokführer. Menschliche Faktoren bei der Überwachung der Geschwindigkeit, beim Bremsen und bei der Einhaltung des Fahrplans beeinflussen die Pünktlichkeit, den Energieverbrauch und können ein Sicherheitsrisiko darstellen. ATO GoA X, das automatische Zugbetriebssystem, soll die fehlenden Optimierungen in der Fahrweise übernehmen und den Betrieb präziser steuern.

Im Hinblick auf diese Themen forscht die ÖBB-Infra im Rahmen der ERJU um durch Digitalisierung, Automatisierung und die Anwendung innovativer Technologien die Voraussetzungen für eine Steigerung der Kapazität und Leistungsfähigkeit des Systems Bahn zu schaffen. Dabei strebt sie an, ein KI-optimiertes TMS auf der Strecke zu demonstrieren, das mit MBS und ATO GoA X in eine gesamthafte Systemlandschaft integriert ist. Ein Konzept für einen solchen Demonstrator wurde bereits entwickelt und ist in Abbildung 2 dargestellt.

12.3 Verschub & Zugvorbereitung

Der Fokus in dieser Stoßrichtung liegt auf dem europaweit harmonisierten, hochautomatisierten Verschub und der digitalisierten Zugvorbereitung. Da der Verschub immer noch zu einem großen Teil manuell durchgeführt wird und sich die aktuellen Entwicklungen der Digitalen Automatischen Kupplung (DAK) nur unzureichend in bestehende Systeme integrieren lassen, werden umfassende europäische Lösungen erarbeitet. Diese sollen die Tätigkeiten sowohl in Infra-Knoten als auch in der Fläche automatisieren.

Die F&E der ÖBB-Infra beabsichtigt auch, ein ganzheitliches „Smart-Yard“-Konzept zu entwickeln. Dieses Konzept soll verschiedene Technologien integrieren, um die Durchführung, Steuerung und Überwachung von Abläufen im Verschubbereich zu optimieren und menschliches Eingreifen möglichst zu reduzieren.

Mithilfe dieser Lösungen sollen durch Digitalisierung und Automatisierung die Voraussetzungen für eine Steigerung der Produktivität im Verschub sowie eine Optimierung des Personaleinsatzes geschaffen werden. Einige Forschungsaspekte werden in die in Abbildung 2 dargestellten Konzepte integriert.

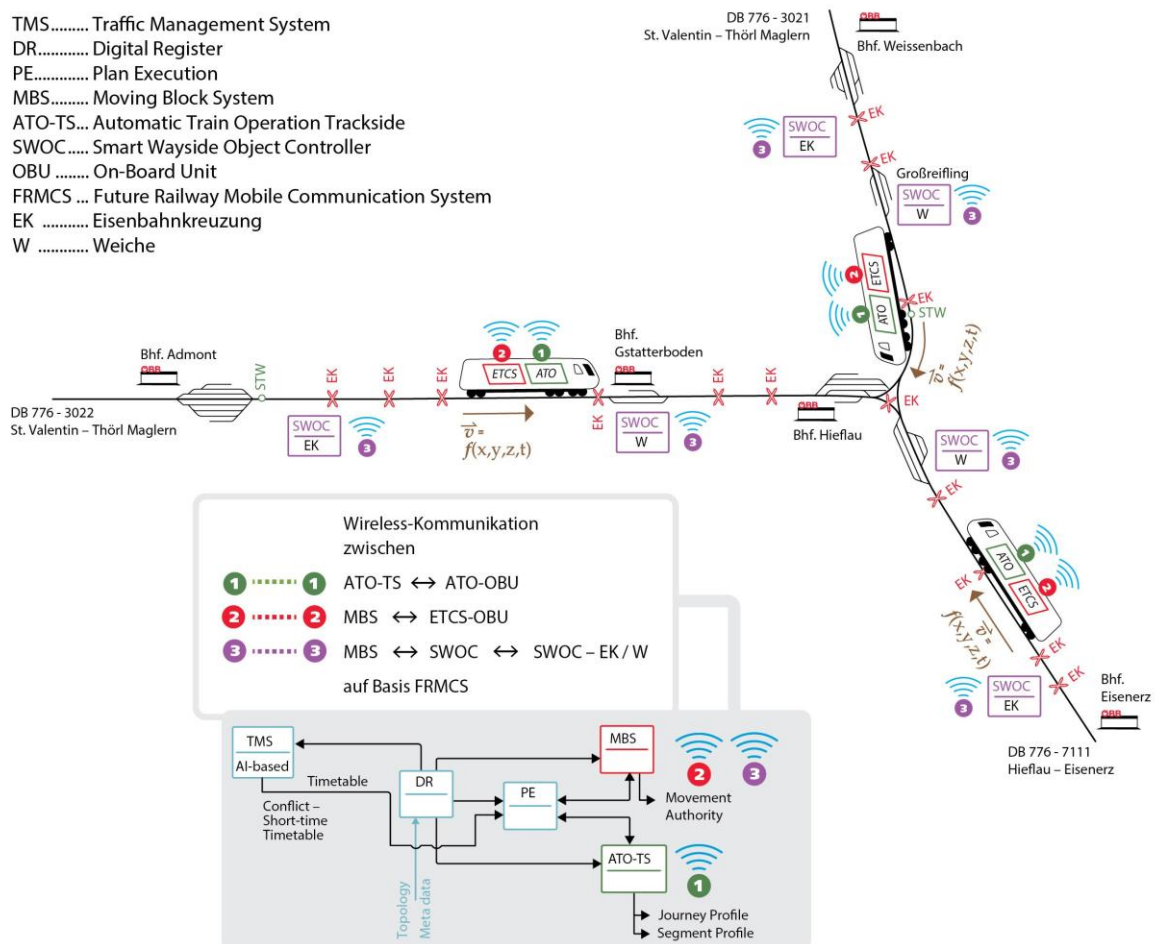


Abbildung 2 ERJU-Demonstrator-Konzept für intelligentes Kapazitätsmanagement der auf der ÖBB-Strecke erprobt wird (adaptiert aus [4]).

12.4 Smart Assets & Predictive Maintenance

Im Fokus dieser Stoßrichtung steht die Umstellung eines korrigierenden und reaktiven Instandhaltungswesens auf präventive bzw. vorausschauende Instandhaltung von Assets der Bahninfrastruktur (wie Gleisanlagen, Brücken, Tunnel, Weichen und Signale).

Die F&E-Aktivitäten konzentrieren sich hier einerseits auf die Weiterentwicklung moderner Sensor- und digitaler Schlüsseltechnologien, die Zustandsdaten in Echtzeit erfassen und analysieren können. So lassen sich potenzielle Probleme frühzeitig erkennen, bevor diese zu ernsthaften Störungen oder Ausfällen führen können. Unter anderem werden dazu sogenannte „intelligente“ Messschrauben entwickelt. Diese ermöglichen eine automatische Überwachung des Vorspannkraftzustands von Schraubverbindungen an Weichenherzstücken während des Bahnbetriebs. Eine damit mögliche Früherkennung kritischer Vorspannkraftzustände bildet die Grundlage für Zustandsüberwachung (Condition Monitoring) und vorausschauende Instandhaltung (Predictive Maintenance) [5].

Andererseits wird in der ÖBB-Infra an einem Übergang von visuellen und manuellen zu automatischen und womöglich autonomen, robotergestützten Inspektions- und Wartungstätigkeiten geforscht. Mithilfe dieser Lösungen soll nicht nur die Produktivität gesteigert, sondern auch der Personaleinsatz optimiert werden. So wird beispielsweise der sogenannte *Tunnel Drainage Rover* (Abbildung 3) entwickelt, ein Inspektionsroboter, der bei ungestörtem Zugbetrieb die Tunneldrainage inspizieren kann [5-6]. Er wird autonom fahren und Bildmaterial vom Inneren des Drainagerohres aufnehmen. Mithilfe von KI werden die Karbonatablagerungen („Versinterungen“) und eventuelle Beschädigungen der Drainage automatisch klassifiziert, wodurch die Erstellung zustandsorientierter und vorausschauender Instandhaltungspläne unterstützt wird.

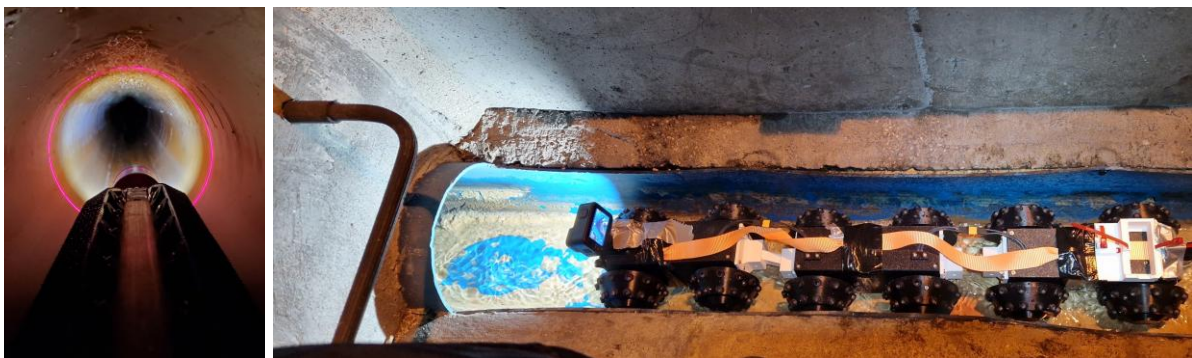


Abbildung 3 Zwei Prototypen des „Tunnel Drainage Rover - TDR“ wurden im Siebergtunnel (Österreich) getestet. Links: TDR mit Kettenantrieb. Rechts: TDR mit Radantrieb. Fotos: Linz Center of Mechatronics GmbH.

12.5 Schlüsselkomponenten der Infrastruktur

In dieser Stoßrichtung werden Lösungen für Infrastrukturkomponenten wie Gleise, Oberleitungen, Steuerungstechnik, Sicherheitstechnik, Brücken und Tunnel erforscht, die an den zukünftigen Betrieb mit mehr Zügen, schwereren Gütern und höheren Geschwindigkeiten angepasst sind. Dafür werden neue hochleistungsfähige Materialien (z.B. nichtmetallische Bewehrung) und Bauverfahren (z.B. 3D-Druck) untersucht. Zudem werden die

Strukturen, Funktionalität und das Design einzelner Infrastrukturkomponenten optimiert und ihre Dauerhaftigkeit geprüft.

Weiter werden innovative Lösungen für die Regionalbahnen konzipiert und erprobt. So sollen beispielsweise kabellose und autarke Anlagen (etwa an Eisenbahnkreuzungen) sowie interoperable und modulare Energiesubsysteme für stationäre Anwendungen (beispielsweise Brennstoffzellen, Photovoltaik oder Wärmepumpen) zum Einsatz kommen.

Diese Lösungen sollten einerseits leistungsfähige Strecken durch Europa stärken, die hohen Belastungen und Schwingungen standhalten müssen, und andererseits regionale Strecken, um Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit des gesamten Systems Bahn zu erhöhen.

12.6 Emissionsreduktion & Klimaresilienz der Bahninfrastruktur

Im Vergleich zu anderen Massenverkehrsmitteln sind die Treibhausgasemissionen (THG = CO₂, CH₄, N₂O und F-Gase) während des Zugbetriebs und über die Lebensdauer der Bahninfrastruktur geringer. Aufgrund des hohen Verbrauchs von Beton und Stahl bleiben die THG-Emissionen beim Bau und der Instandhaltung der Bahninfrastruktur jedoch hoch. Die F&E der ÖBB-Infra strebt daher Lösungen zur Reduktion der THG-Emissionen über den gesamten Lebenszyklus der Bahninfrastruktur an. Diese umfassen eine effizientere und strukturoptimierte Anlagenplanung mit erhöhter Materialeffizienz. Darüber hinaus wird der Einsatz von THG-reduzierten Materialien, wie beispielsweise Beton mit alternativen Bindemitteln oder Rezyklaten, erforscht.

Auch Maßnahmen zur Reduzierung unerwünschter, von Betroffenen als Lärm wahrgenommener Schallemissionen, werden weiter erforscht. Mithilfe virtueller Modelle wird die Schallausbreitung an der Quelle z.B. bei der Weiche simuliert und die Wirkung schallreduzierender Maßnahmen prognostiziert. Außerdem werden bauliche Lärmschutzmaßnahmen zur Reduzierung von Bahnlärm im Ausbreitungsweg unter Berücksichtigung der Verwendung THG-emissionsarmer Materialien untersucht.

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt liegt auf der Klimaresilienz der Bahninfrastruktur. Dazu gehört die Reduzierung der Auswirkungen der mit dem Klimawandel verbundenen Extremwetterereignisse und eine bessere Vorbereitung auf solche Ereignisse, sowie eine optimierte Risikokommunikation entlang der ÖBB-Infra. Konkret werden Sensoren, Modelle und Entscheidungstools für das Monitoring und die Vorhersage zur Früherkennung von Naturgefahren für die Bahninfrastruktur weiterentwickelt.

Mit dieser Stoßrichtung sollen generell die Voraussetzungen für die Erreichung der Dekarbonisierung und Klimaresilienz sowie für eine höhere Verfügbarkeit des Systems Bahn geschaffen werden.

12.7 Simulation im Digitalen Zwilling

Diese Stoßrichtung ist mit allen anderen Stoßrichtungen verflochten, da sie eine zentrale Grundlage für die Modellerstellung, Analyse, Validierung und Vorhersage in einer virtuellen Repräsentation der komplexen Infrastrukturnetze bildet. Diese Komplexität zeichnet sich durch n Freiheitsgrade, Nichtlinearitäten, Wechselwirkungen und Rückkopplungen aus. Die virtuelle Repräsentation der komplexen Infrastrukturnetze erfolgt durch eine strukturierte Layer-Architektur, die unter anderem die Bereiche Anlagen (z. B. Weichenperformance), Betrieb (z. B. Pünktlichkeitsperformance), Energie (z. B. Energieerzeugung) und Finanzen (z. B. Finanzierung von Instandhaltung) umfasst.

In den hochkomplexen Infrastrukturnetzen ist die Implementierung datengetriebener Entscheidungsprozesse durch Simulationen in zwei Bereichen vorgesehen: (a) systemischer Szenarien, wie der Einsatz neuer Materialien, Komponenten, Abläufe und Prozesse sowie die Entwicklung von Energienetzen, und (b) unterschiedlicher Betriebsmodi.

Zu diesem Zweck wurde eine Roadmap entwickelt, die den Weg zu Echtzeitsimulationen im komplexen System der Infrastrukturnetze aufzeigt. Die Roadmap Infrastrukturnetze stützt sich auf einen **Digitalen Zwilling**. Darauf aufbauend erfolgt der Einsatz moderner **KI-Methoden** wie Data Mining, Generative KI und Machine-Learning-Techniken, einschließlich Reinforcement Learning, um komplexe Zusammenhänge zu analysieren und Prognosen zu ermöglichen. Ein Schritt zur Skalierbarkeit rechenintensiver Analysen und Simulationen ist die Nutzung leistungsfähiger **Computing-Methoden**, darunter High Performance Computing, Quantencomputing und Cloud Computing. Parallel dazu werden optimierte **Algorithmen** entwickelt, die speziell auf die eingesetzten Computing-Methoden abgestimmt sind. Diese umfassen intelligentes Workload-Management sowie die Implementierung verteilter Berechnungsverfahren. Grundsätzlich wird das tiefe Domänen-Know-how benötigt, das sich in der **Modellbildung, Parametrierung** und im **Pre-Processing** widerspiegelt. Hier kommen beispielsweise intelligente Verfahren zur Verarbeitung von Inputdaten zum Einsatz, wobei Edge-AI genutzt wird, um Analysen und Lösungsentwicklungen direkt am Asset durchzuführen. Im Anschluss folgt das **Post-Processing**, das interaktive Benutzeroberflächen für die Steuerung von Simulationen bereitstellt. Dabei werden Echtzeitvisualisierungen und Reporting-Funktionen integriert, um eine fundierte Entscheidungsfindung zu gewährleisten.

12.8 Zusammenfassung

Die ÖBB-Infra spielt eine Schlüsselrolle bei der Transformation des österreichischen Verkehrssektors. Die F&E der ÖBB-Infra leistet einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung ihrer Ziele: Die Erhöhung der Kapazitäten für den Umstieg auf die Schiene, eine Stärkung des ökologischen Wettbewerbsvorteils sowie die Steigerung von Produktivität und Effizienz der Bahn. Die F&E-Strategie der ÖBB-Infra, *#INFRA.F&E_fit30*, stellt ein Zielbild für die Zukunft der Bahn bereit.

Mithilfe von Technologien wie Künstlicher Intelligenz, High Performance Computing und Cybersecurity, dem Internet of Things, automatisierten oder autonomen Technologien (Mechatronik, Robotik), Sensor-Fusion und generativem Design sowie innovativen Materialien werden in diversen Bereichen neue Wege beschritten. Diese werden im Digitalen Zwilling simuliert und anhand von Demonstratoren erprobt. Zu den Bereichen zählen die Erhöhung der Kapazitäten des Netzes, die Automatisierung des Verschubs, die vorausschauende Instandhaltung von Assets, die Leistungsfähigkeit der regionalen und europäischen Strecken und Bereitstellung einer dekarbonisierten und klimaresilienten Infrastruktur. Dafür baut die ÖBB-Infra ein leistungsfähiges F&E-Ökosystem auf, kooperiert mit nationalen sowie europäischen Stakeholdern und Partnern und strebt exzellente Lösungen für die Bahn der Zukunft an.

Literatur

- [1] European Commission: Directorate-General for Communication, The European Green Deal – Delivering the EU's 2030 climate targets, Publications Office of the European Union, 2023, <https://data.europa.eu/doi/10.2775/717955>.
- [2] Die Grundsatzstrategie der ÖBB-Infrastruktur AG. Herausgeber: ÖBB-Infrastruktur AG, Wien, 2021.
- [3] Die F&E-Strategie der ÖBB-Infrastruktur AG. Herausgeber: ÖBB-Infrastruktur AG, Unternehmensentwicklung, Forschung & Entwicklung, Wien, 2025.
- [4] Jahresbericht F&E 2024. Herausgeber: ÖBB-Infrastruktur AG, Unternehmensentwicklung, Forschung & Entwicklung, Wien, 2025.
- [5] Micić Batka, V., Schachinger T., Zagar, B., Dornig, P., Blanchard R., Schamberger, S., Tauschitz P., Kettl A., Haberler-Weber M. and D. Winkler, „Innovationen im Bereich der Instandhaltung“, Eisenbahntechnische Rundschau, 73. Jahrgang, Nr. 4., S. 32-37, April 2024.
- [6] Micić Batka V, Schachinger T., Schröck J., Hofer W., Wenighofer R., Galler, R. „Betriebsunabhängige Inspektion von Tunneldrainagen mittels Roboter: Der Tunnel Drainage Rover (TDR)“. Magazin Steirische Mobilität 2, S 19-21, 2025.