

## ExplAIIn-TrAIIn-Plan

AI-based Explainable Planning for Energy-Efficient Train Resource Scheduling

<b>Programm / Ausschreibung</b>	DST 24/26, DST 24/26, AI Ökosysteme 2024: AI for Tech & AI for Green	<b>Status</b>	laufend
<b>Projektstart</b>	01.07.2025	<b>Projektende</b>	30.06.2027
<b>Zeitraum</b>	2025 - 2027	<b>Projektlaufzeit</b>	24 Monate
<b>Keywords</b>	green railway operation, optimization, simulation, explainability, energy-efficiency		

### Projektbeschreibung

Gegenwärtig wenden Eisenbahnverkehrsunternehmen eine Vielzahl von Methoden zur Ressourcenplanung an, die sich durch eine hohe Komplexität auszeichnen, wobei ein manueller Aufwand jedoch nach wie vor eine wesentliche Rolle spielt, darunter die Planung von Triebfahrzeugen und Personalschichten für Fahrpläne unter Berücksichtigung von Faktoren wie Höchstgewicht und Länge von Zügen. Die zunehmende Komplexität der Eisenbahnnetze sowie die Interdependenzen zwischen Infrastruktur und Ressourcenplanung, insbesondere der Triebfahrzeugseinsatzplanung, stellen jedoch erhebliche Hindernisse für die Entwicklung energieeffizienter und zuverlässiger Fahrpläne dar. Derzeit erfolgt die Zuordnung der Triebfahrzeugtypen zu den Fahrten vor der Erstellung der Umlaufpläne manuell durch die zuständigen Planer, häufig weder unter Berücksichtigung von Energieeffizienz oder Robustheit noch mit dem Ziel der Minimierung des Ressourcenbedarfs, sondern auf Basis historischer Präzedenzfälle oder subjektiver Präferenzen. Primäre Ziele bei der Wahl eines Triebfahrzeugtyps sind Leistung und Modernität. Die Optimierung eines einzelnen Umlaufs kann durch den Umlaufplaner manuell vorgenommen werden, jedoch ist eine Optimierung des Gesamtsystems, welches aus bis zu hunderten Umläufen bestehen kann, nicht möglich. Ohne KI-basierte Unterstützung ist eine Abschätzung der Auswirkungen auf das Gesamtsystem unmöglich. Eine solche Unterstützung für eine energieeffiziente Zugressourcenplanung ist höchst innovativ und dringend erforderlich.

Der Einsatz von KI und Simulation wird vorgeschlagen, um datengesteuerte und erinnerungsbasierte, erklärbare Planungsmethoden für die Zugressourcenplanung mit verschiedenen Produktionsvarianten zu entwickeln. Die Nutzung detaillierter Daten aus den Bereichen Infrastruktur und Flotte sowie historischer Informationen zu Energieverbräuchen erlaubt eine präzisere Priorisierung von Zugzusammenstellungen, was zu einer signifikanten Reduktion des Energieverbrauchs beiträgt.

Die Plangenerierung erfolgt unter Zuhilfenahme erinnerungsbasierter Sim-Math-Heuristiken sowie multikriterieller Sim-Metaheuristiken. Dadurch wird die Erforschung von Kompromissen zwischen Umweltzielen, Kosten und Zuverlässigkeit sowie die Berücksichtigung verschiedener Lokomotivtypen erleichtert. Darüber hinaus ist der Lebenszyklus weniger energieeffizienter Triebfahrzeuge in Betracht zu ziehen, d.h. ein vollständiger Verzicht auf deren Einsatz soll vermieden werden.

Die zu entwickelnden KI-basierten Planungsmethoden bauen auf Methoden der FFG-Projekte Green-TrAIIn-Plan und VIPES

zum Informationsaustausch zwischen mathematischer Optimierung und agentenbasierter Simulation zur Verbesserung von Umweltzielen und Zuverlässigkeit auf. Die bisherigen Ansätze waren zwar in der Lage, einzelne Aspekte eines grünen Ressourceneinsatzes zu optimieren, jedoch fehlte es ihnen an einem ganzheitlichen Ansatz, der die Wahl von Zugformationen in ein System von Umläufen integriert. In Übereinstimmung mit den zuvor dargelegten Konzepten wird das vorgeschlagene Konsortium Pläne mit mathematischer Optimierung unter Verwendung von auf Machine Learning basierenden Energie- und Verspätungsvorhersagen entwickeln und gleichzeitig die technisch mögliche Wahl von Produktionsvarianten sicherstellen. Im Anschluss werden Energieverbrauch und Zuverlässigkeit mittels agentenbasierter Simulation bewertet. Die Ergebnisse werden automatisch in den Optimierungsprozess rückgeführt.

## **Abstract**

Railway companies currently employ sophisticated, though partially manual, methods for resource planning. These include locomotive and crew schedules for given timetables taking into account factors such as maximum weight and length of a train. However, the growing intricacy of railway networks and the interdependencies between infrastructure and resource planning, particularly locomotive scheduling, present considerable obstacles to the development of energy-efficient and high-reliability schedules. At present, before the generation of circulation plans, traction unit types are assigned to trips manually by planners. However, the selection of these formations is frequently neither energy-efficient, robust, nor aligned with the objective of minimizing resource demand. Instead, they evolve out of historical precedents or subjective preferences. (The primary objectives in the choice of a traction unit type are power and modernity.) Circulation planners, on the other hand, are only able to optimize a single circulation by hand, but not the overall system, which may comprise up to hundreds of circulations. It is impossible to estimate the effects of their decisions on the overall system without AI-based support. Exactly such support for energy-efficient train resource scheduling is not only highly innovative but also very much needed, especially when there are several production variants for planning and realizing a train formation.

We propose the use of AI and simulation to develop data-driven and memory-based explainable planning methods for train resource scheduling with different production variants. This approach will facilitate the generation of energy-efficient and robust production variants, specifically in the form of choices of locomotive types as well as locomotive and crew schedules. By leveraging detailed infrastructure and fleet data as well as historical energy usage information, the prediction of efficient train formations that contribute significantly to energy savings will be enabled.

Methodologically, we employ memory-based sim-matheuristics and multi-objective sim-metaheuristics for the generation of plans that facilitate the exploration of trade-offs between environmental objectives, cost, and reliability, taking into account the utilization of diverse locomotive types. Constraints such as the number of available traction units per type must be considered in terms of efficiency as well as robustness. Furthermore, the life cycle of less energy-efficient traction units shall be taken into account, i.e. a complete avoidance of using them shall be circumvented.

The AI-based planning methods to be developed extend the methodology provided by the FFG projects Green-TrAIIn-Plan and VIPES, which established information exchange between mathematical optimization and agent-based simulation to improve environmental objectives and reliability but were not yet able to cope with a holistic approach that integrates the choice of train formations and multi-circulation settings to realize the full potential of green deployment of resources. Per the aforementioned ideas, the proposed consortium will create plans with mathematical optimization utilizing machine-learning-based energy and delay predictions while assuring technically possible choices of production variants. Subsequently, energy consumption and reliability will be evaluated through agent-based simulation, and findings are automatically fed back to the optimization process.

## **Projektkoordinator**

- dwh GmbH

## **Projektpartner**

- Technische Universität Wien
- Technische Universität Dresden
- ÖBB-Produktion Gesellschaft mbH
- Universität Wien