

## VIPES

Verlässliche und integrierte Planung von Umläufen und Schichten in Eisenbahnsystemen

<b>Programm / Ausschreibung</b>	Mobilität der Zukunft, Mobilität der Zukunft, MdZ - 18. Ausschreibung (2021) PM, System Bahn	<b>Status</b>	abgeschlossen
<b>Projektstart</b>	01.10.2022	<b>Projektende</b>	31.05.2025
<b>Zeitraum</b>	2022 - 2025	<b>Projektlaufzeit</b>	32 Monate
<b>Keywords</b>	Optimierung, Simulation, Simheuristik, KI, Umlaufplanung, Schichtplanung, Verlässlichkeit, integrierte Planung, Spaltengenerierung, Agent-based		

### Projektbeschreibung

Die Planung von Ressourcen in Eisenbahnsystemen ist aufgrund ihrer Vielzahl, Komplexität und der Wechselwirkungen von Infrastruktur, Triebfahrzeugen und Personal eine Herausforderung. Das Ziel der Planung besteht darin, einen effizienten und zuverlässigen Bahnbetrieb sicherzustellen, wobei in diesem Projekt der Schwerpunkt auf der Planung von Triebfahrzeugen und Personal liegt. Beide Planungsaufgaben sind für sich genommen bereits äußerst komplex und stellen formal NP-schwere Probleme dar. Mithin verwundert es nicht, dass sie in der Praxis sequentiell geplant werden, obwohl sie nicht gänzlich unabhängig voneinander sind. Um das primäre Ziel der Kostenminimierung zu erreichen, wird davon ausgegangen, dass keine Verspätungen und Ausfälle auftreten. Insbesondere bei engen Umlauf- und Schichtplänen gefährden aber auftretende Störungen die Zuverlässigkeit und in der Folge auch die Effizienz des Gesamtsystems Bahn.

Dieses Projekt zielt darauf ab, sowohl die Umlaufpläne für Triebfahrzeuge als auch die Schichtpläne für Zugpersonal so zu gestalten, dass sie effizient und zuverlässig sind. Um die Güte der mit mathematischen Optimierungsmodellen und ausgefeilten Lösungsverfahren ermittelten Pläne in einer realistischen Umgebung abzuschätzen, werden sie durch eine agentenbasierte Simulation detailliert evaluiert. Der große Vorteil der agentenbasierten Simulation besteht in der Möglichkeit, alle relevanten Details auszuwerten und hinsichtlich Verlässlichkeit zu evaluieren. Optimierungsmodelle müssen hingegen von den Details des Gesamtsystems Bahn abstrahieren, um zufriedenstellende Lösungen in akzeptablen Laufzeiten zu finden.

Um das Ziel effizienter und gleichzeitig verlässlicher Pläne zu erreichen, kommt es auf das intelligente Zusammenspiel zwischen Optimierung und Simulation an. Aus der Simulation ergeben sich komplexe Leistungsindikatoren, die einen Informationsaustausch zwischen mathematischen Optimierungsmodellen, Lösungsverfahren und agentenbasierter Simulation grundsätzlich ermöglichen und damit die Informationsqualität in der Planung signifikant erhöhen können. Hierzu gilt es, bestehende Ansätze wie mathematische Optimierungsmodelle und zugehörige Lösungsverfahren zu modifizieren, um Informationen zu Verspätungen und anderen Störungen in die Planung einzubeziehen. Bisherige Ansätze verfügen nur über einen rudimentären Informationsaustausch, der auf wenige, vorab festgelegte Informationen begrenzt ist und zudem zumeist nicht automatisiert abläuft.

Im Rahmen von VIPES widmen wir uns explizit dem effektiven Informationsaustausch zwischen optimierungsbasierter

Planung und simulationsbasierter Evaluation. Eine KI-basierte Komponente identifiziert und analysiert zunächst getrennt für Umlauf- und Schichtplanung Strukturen effizienter und zuverlässiger Lösungen und nutzt diese Erkenntnisse, um situationsspezifisch in einem iterativen Prozess die mathematische Optimierung und die Simulation zur Zuverlässigkeitsevaluation jeweils zielgerichtet mit den notwendigen Informationen zu versorgen und so smart zu koppeln. Zudem wird eine Simheuristik entwickelt, die eine integrierte Planung von Triebfahrzeugen und Personal vorsieht und die Planungsgüte in Gänze mittels Simulation auf Verlässlichkeit überprüft. Die Abstimmung zwischen Optimierung, Simulation und Re-Optimierung übernimmt erneut die KI-basierte Steuerungskomponente. Im Ergebnis werden die entwickelten digitalen Technologien dazu beitragen, die Effizienz und Zuverlässigkeit der von den ÖBB betriebenen Verkehre zu erhöhen. Zudem resultieren Umlauf- und Schichtpläne, die in der Praxis besser erklärbar sind und daher von Betreibenden und Personal eher akzeptiert werden.

Das Konsortium wird von der dwh GmbH (DWH) geleitet und besteht ferner aus der ÖBB Produktion GmbH (ÖBB), der Universität Wien (UW) und der Technischen Universität Dresden (TUD). DWH ist federführend für die agentenbasierte Simulation, die Analyse von Störungsdaten und das Projektmanagement verantwortlich. ÖBB stellt die erforderlichen Fahrplan-, anonymisierten Personalbedarfs- und Störungsdaten zur Verfügung und steht für Diskussionen zu den einschlägigen Planungsproblemen bereit. TUD wird insbesondere mathematische Modelle für die Umlauf- und Schichtplanung sowie geeignete Lösungsansätze weiterentwickeln. UW wird Störungen mittels Verlässlichkeitsmodellen abbilden und die Entwicklung einer KI-basierten Steuerung leiten, die eine smarte Schnittstelle zwischen mathematischer Optimierung und agentenbasierter Simulation bildet.

## **Abstract**

The planning of resources in railroad systems is challenging due to their multitude, complexity and the interactions of infrastructure, engines and personnel. The goal of planning is to ensure efficient and reliable rail operations. In this project, the focus is on the planning of traction units and personnel. Both planning tasks are already extremely complex in themselves and represent formally NP-hard problems. Consequently, it is not surprising that in practice they are planned sequentially, although they are not completely independent of each other. In order to achieve the primary goal of minimizing costs, it is assumed that no delays and breakdowns occur. However, particularly in the case of tight circulation and shift schedules, disruptions that do occur jeopardize the reliability and subsequently the efficiency of the overall rail system. This project aims to design both traction unit and train crew schedules in such a way that they are efficient and reliable. To estimate the quality of the schedules determined with mathematical optimization models and sophisticated solution methods in a realistic environment, they are evaluated in detail by an agent-based simulation. The major advantage of agent-based simulation is the possibility to evaluate all relevant details and to evaluate them with respect to reliability. Optimization models, on the other hand, have to abstract from the details of the overall railroad system in order to find satisfactory solutions in acceptable runtimes.

To achieve the goal of efficient and at the same time reliable plans, the intelligent interaction between optimization and simulation is crucial. Complex performance indicators result from simulation, which enable an exchange of information between mathematical optimization models, solution methods and agent-based simulation and can thus significantly increase the information quality in planning. To this end, existing approaches such as mathematical optimization models and associated solution methods need to be modified to incorporate information on delays and other disruptions into planning. Existing approaches have only rudimentary information exchange, which is limited to a few predefined pieces of information and, moreover, is mostly not automated.

In VIPES, we explicitly address the effective exchange of information between optimization-based planning and simulation-

based evaluation. An AI-based component first identifies and analyzes structures of efficient and reliable solutions separately for circulation and shift planning. These findings are used to provide the mathematical optimization and the simulation for reliability evaluation with the necessary information in a situation-specific iterative process and thus to couple them smartly. In addition, a simheuristic is being developed that provides for integrated planning of engines and personnel and uses simulation to check the reliability of the planning quality in its entirety. The coordination between optimization, simulation and re-optimization will again be handled by the AI-based control component. As a result, the digital technologies developed will help to increase the efficiency and reliability of the transports operated by ÖBB. In addition, this will result in circulation and shift schedules that can be better explained in practice and are therefore more likely to be accepted by operators and staff.

The consortium is led by DWH GmbH and further consists of ÖBB Produktion GmbH, the University of Vienna (UW) and the Technical University of Dresden (TUD). DWH is in charge of the agent-based simulation, analysis of operational data and project management. ÖBB will provide the required timetable, anonymized personnel requirements and disturbance data and will be available for discussions on the relevant planning problems. In particular, TUD will further develop mathematical models for circulation and shift planning as well as suitable solution approaches. UW will map disruptions by means of reliability models and lead the development of an AI-based control system that forms a smart interface between mathematical optimization and agent-based simulation.

## **Endberichtkurzfassung**

Die Planung von Ressourcen in Eisenbahnsystemen ist aufgrund ihrer Vielzahl, Komplexität und der Wechselwirkungen von Infrastruktur, Triebfahrzeugen und Personal eine Herausforderung. Das Ziel der Planung besteht darin, einen effizienten und zuverlässigen Bahnbetrieb sicherzustellen, wobei in VIPES der Schwerpunkt auf der Planung von Triebfahrzeugen und Personal lag. Beide Planungsaufgaben sind für sich genommen bereits äußerst komplex und stellen formal NP-schwere Probleme dar. Mithin verwundert es nicht, dass sie in der Praxis - ausgenommen im Mikrobereich - exklusiv sequentiell geplant werden, obwohl sie nicht gänzlich unabhängig voneinander sind. Um das primäre Ziel der Kostenminimierung zu erreichen, wird davon ausgegangen, dass keine Verspätungen und Ausfälle auftreten. Insbesondere bei engen Umlauf- und Schichtplänen gefährden aber auftretende Störungen die Zuverlässigkeit und in der Folge auch die Effizienz des Gesamtsystems Bahn.

In VIPES wurden sowohl Umlaufpläne für Triebfahrzeuge als auch Schichtpläne für Zugpersonal effizienter und zuverlässiger gegenüber realitätsnahen Verspätungen automatisiert erstellt. Dazu werden optimierte Pläne durch eine agentenbasierte Simulation detailliert evaluiert.

Das Zusammenspiel zwischen Optimierung und Simulation wurde im Projektverlauf erfolgreich intelligent ausgestaltet: So wurde etwa aufgezeigt, dass die Optimierung einen zufälligen Plan aus einem riesigen Raum äquivalent guter Pläne auswählt. Detaillierte Simulationsergebnisse können dazu genutzt werden, sich in diesem riesigen Raum zu Lösungen hinzuarbeiten, die bzgl. weiterer, in der Optimierung nicht modellierbaren weiteren Leistungsindikatoren signifikant besser sind. Auch der Einfluss von optimierten Übergängen in Plänen auf das Gesamtsystem wurde erfolgreich abgeschätzt. Eine KI-basierte Komponente identifiziert und analysiert zunächst getrennt für Umlauf- und Schichtplanung Strukturen effizienter und zuverlässiger Lösungen und nutzt diese Erkenntnisse, um situationspezifisch in einem iterativen Prozess die mathematische Optimierung und die Simulation zur Zuverlässigkeitsevaluation jeweils zielgerichtet mit den notwendigen Informationen zu versorgen und so smart zu koppeln.

Zudem wurde in VIPES eine Simheuristik entwickelt, die eine semi-integrierte Planung von Triebfahrzeugen und Personal vorsieht und die Planungsgüte in Gänze mittels Simulation auf Verlässlichkeit überprüft. Dazu wurden neue, innovative Datenmodelle entwickelt, bislang nicht berücksichtigte Stellschrauben zur verbesserten semi-integrierten Planung wie die Identifikation von integriert-optimalen Leerfahrtslagen und die Konzeption von Ansätzen zur Verbesserung durch Rekombination von Umlaufplänen identifiziert und weitere Forschungsschritte definiert sowie eine Empfehlung für weitere Umsetzungsschritte erarbeitet.

Das Konsortium wurde von der dwh GmbH geleitet und bestand ferner aus der ÖBB Produktion GmbH, der Universität Wien, der Technischen Universität Wien und der Technischen Universität Dresden.

### **Projektkoordinator**

- dwh GmbH

### **Projektpartner**

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