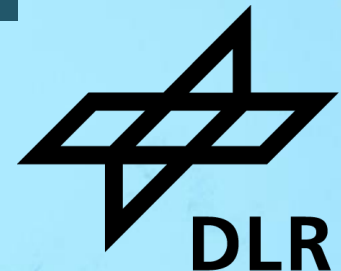


BAHNBETRIEBLICHE SIMULATIONEN MIT DEM OPEN-SOURCE-PAKET SUMO FÜR INTERMODALE STÄDTISCHE VERKEHRSPPLANUNG

**Jakob Geischberger, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR),
Institut für Verkehrssystemtechnik, Braunschweig
Digitalisierter Schienenverkehr und –betrieb, Forschungsgruppe Bahnbetrieb
4. IDX4rail-Praxistag - 16. April 2026**



Agenda

1. Motivation
2. Eisenbahnbetriebssimulation in SUMO
3. Modelaufbau
4. Ausgewählte use cases
5. Zusammenfassung und Ausblick

Warum Eisenbahnbetriebssimulation?



- Hohe Komplexität urbaner und überregionaler Verkehrsnetze
- Teure und riskante Folgen falscher Infrastrukturentscheidungen
- Wachsender Mobilitätsdruck in städtischen Agglomerationen
- Intermodale Schnittstellen als kritische Schwachstellen im System
- Kapazitätsgrenzen bestehender Schieneninfrastruktur

Ausgangslage

Warum Eisenbahnbetriebssimulation?

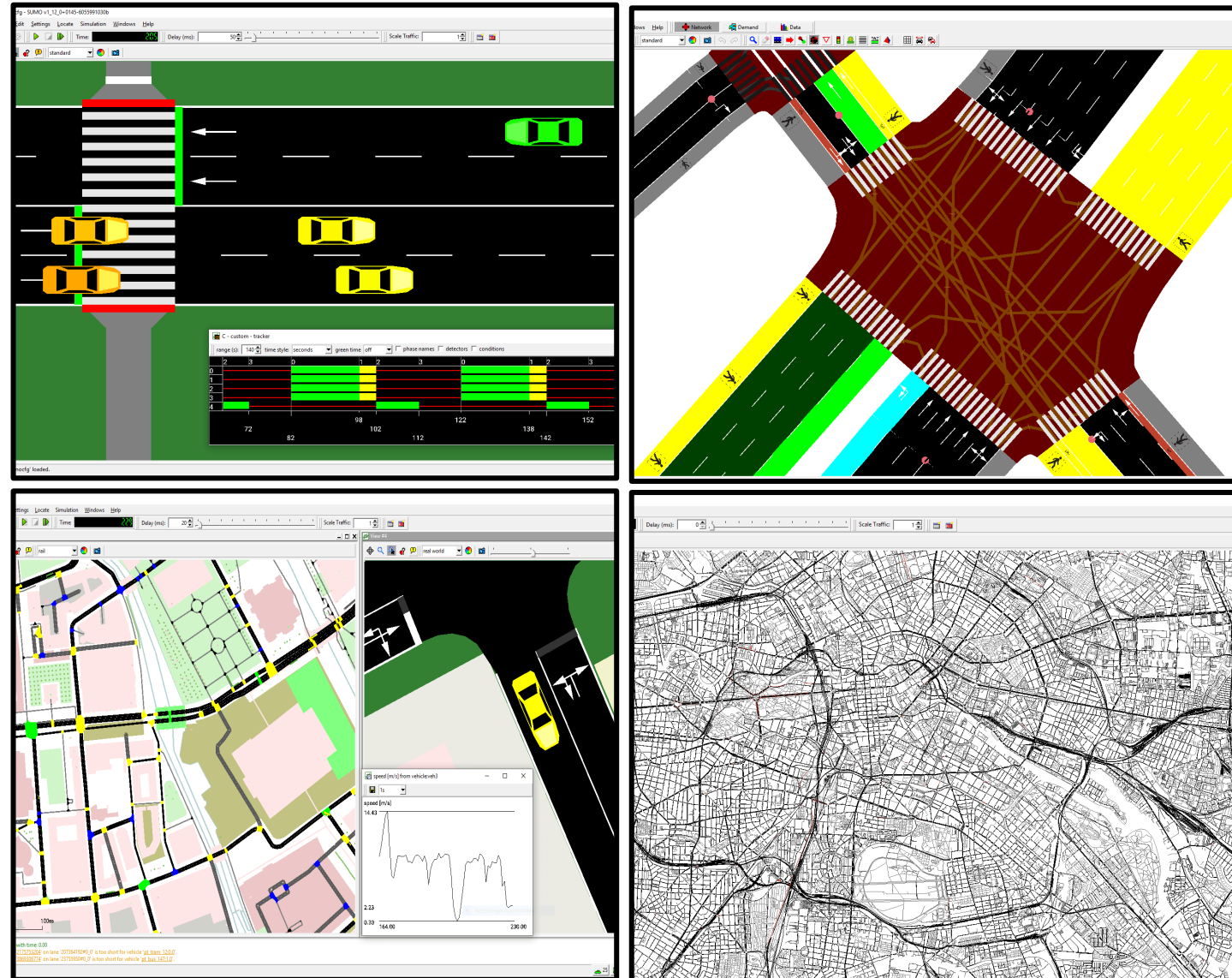


- Detailgenaue Analyse von Fahrzeug- und Zugbewegungen auf Gleisebene
- Erfassung von Fahrzeitvariabilitäten, Haltezeiten und Pufferzeiten
- Simulation von Verspätungspropagation und Störungsauswirkungen im Netz
- Bewertung von Fahrplanvarianten, Taktfolgen und Kapazitätsauslastung
- Analyse von Energieverbrauch und Emissionen unter realistischen Bedingungen
- Integration und Wechselwirkung verschiedener Verkehrsträger im Gesamtmodell
- Datenbasierte Grundlage für planerische und politische Entscheidungen

**Anforderungen an
Simulationswerkzeug**

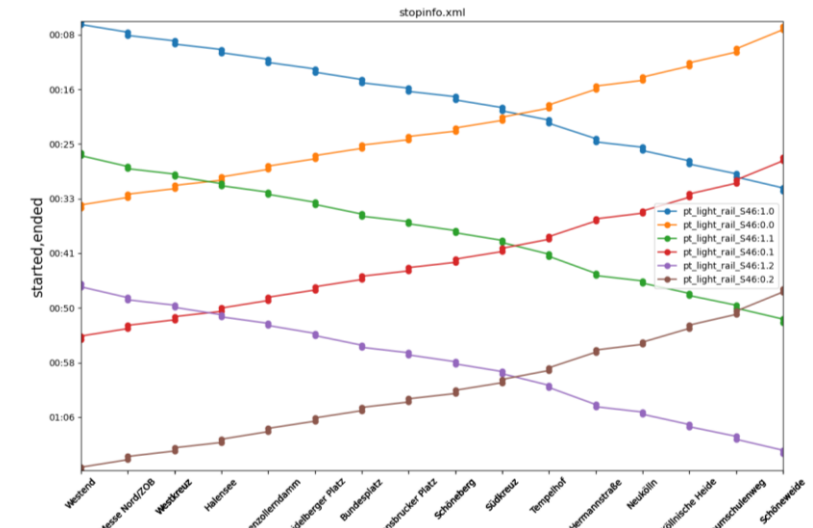
SUMO

- Simulation of Urban MObility
- Ursprünglich entwickelt als mikroskopisches, agentenbasiertes Verkehrssimulationswerkzeug für urbane Mobilität
- Fokus auf die Modellierung multimodaler Verkehrsszenarien einschließlich MIV, Fußgänger, Fahrräder und verschiedene Verkehrsträger
- <https://eclipse.dev/sumo/>
- Literaturempfehlung: Microscopic Traffic Simulation using SUMO
<https://doi.org/10.1109/ITSC.2018.8569938>

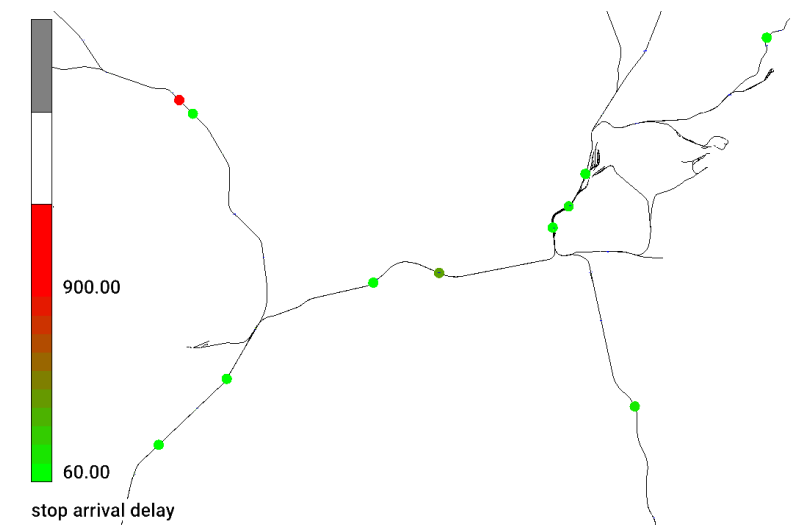


SUMO Bahn

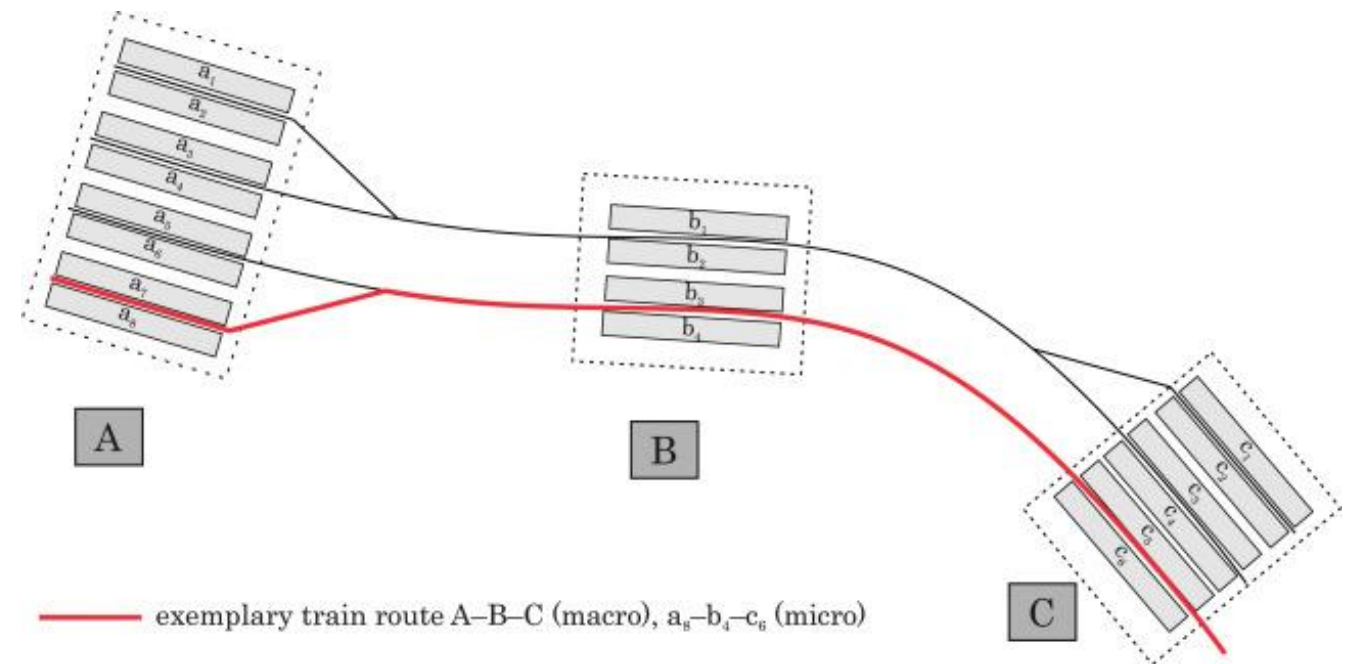
- Mikroskopische, agentenbasierte Nahverkehrs- und Bahnsimulation
- Abbildung von Gleisinfrasturktur, Signalisierung und Fahrdynamik
- Leistungsfähige Netzwerksimulation großer Bahnbetriebskonzepte
- Open-Source mit starker Anbindung an OpenStreetMap-Daten
- Eingriff in laufende Simulationen über TraCI
- Modellierung multimodaler urbaner Mobilität mehrerer Verkehrsträger
- Unterstützung railML



Source: <https://eclipse.dev/sumo/>

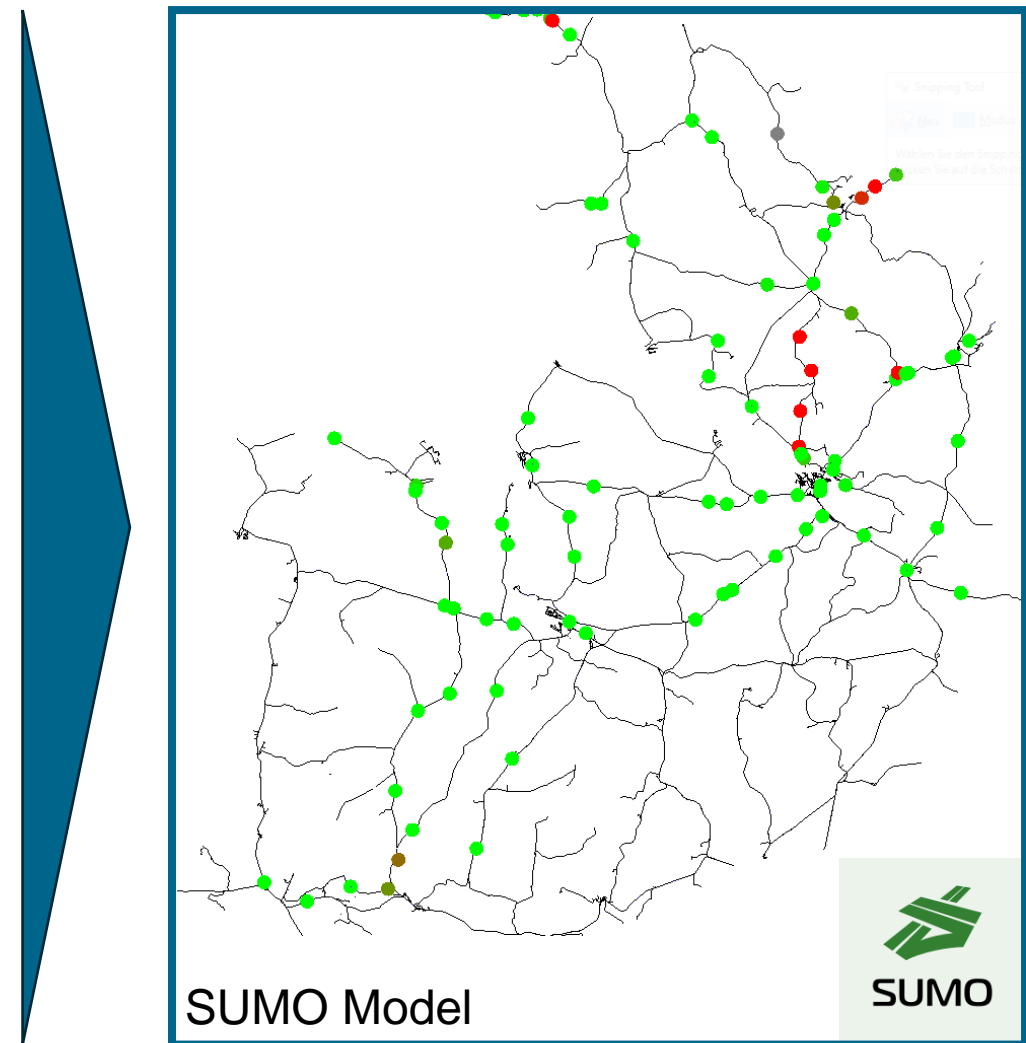
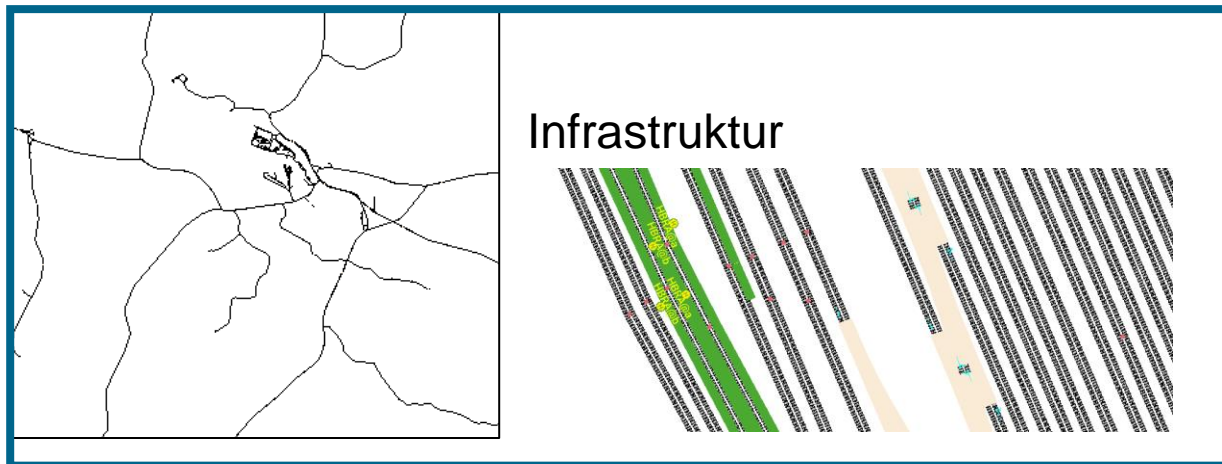
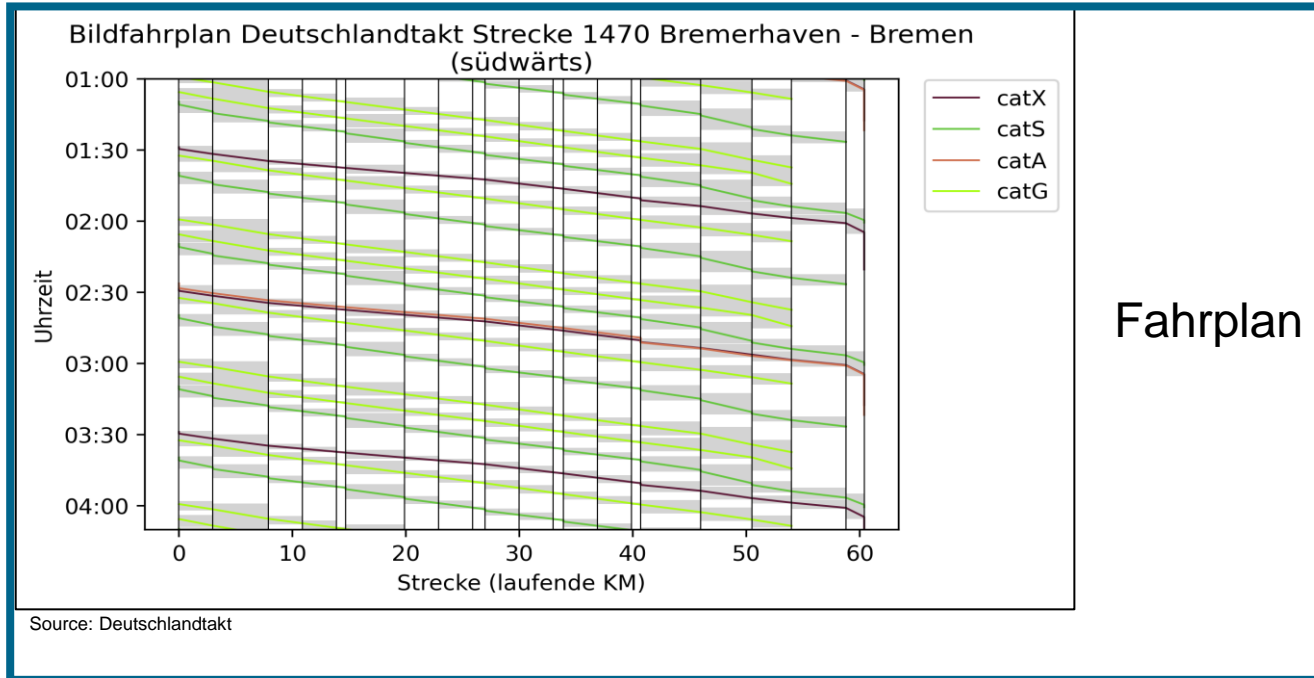


- Infrastrukturdaten aus verschiedenen Quellen (einschließlich OSM)
- Datenkonvertierung mit SUMO *netconvert* in eine Netzwerkstrukturdatei
- Bidirektionales Routing für alle Strecken und Kanten aktiviert
- Umwandlung von Fahrplandaten für die Simulation in mikroskopische Zuglaufwege (gleisscharf)
- Routing von Waren- und Personenströmen

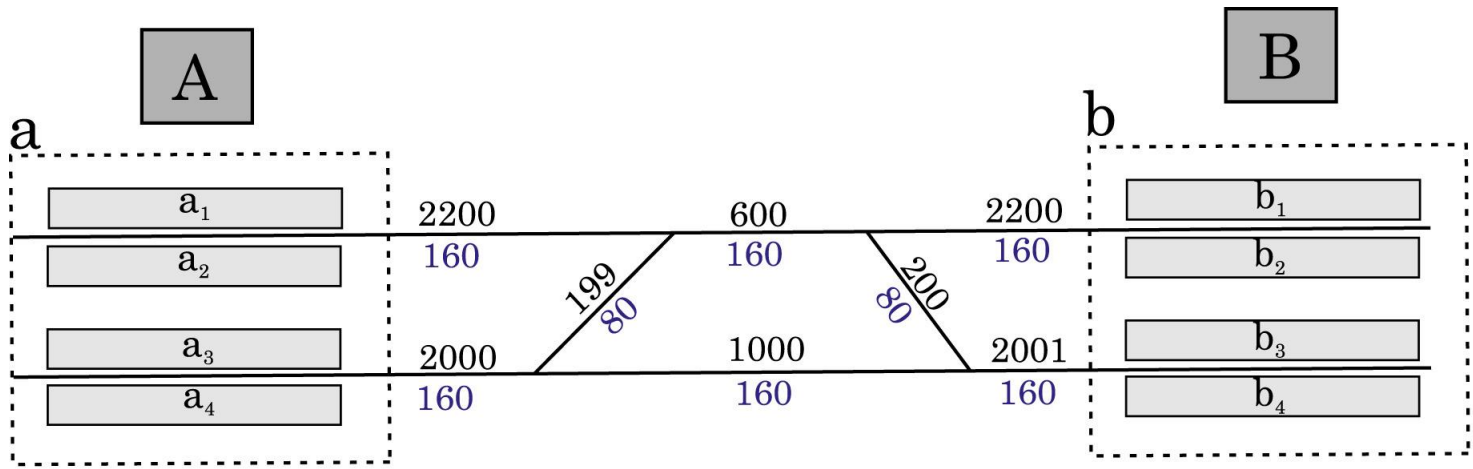


Jakob Geischberger, Norman Weik, Jürgen Pannek, Reliability evaluation of rail freight transport processes — An agent-based approach combining microscopic rail simulation and freight network logistics, Journal of Rail Transport Planning & Management, Volume 37, 2026, <https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2025.100558> (Geischberger et al. JRTPM 2026)

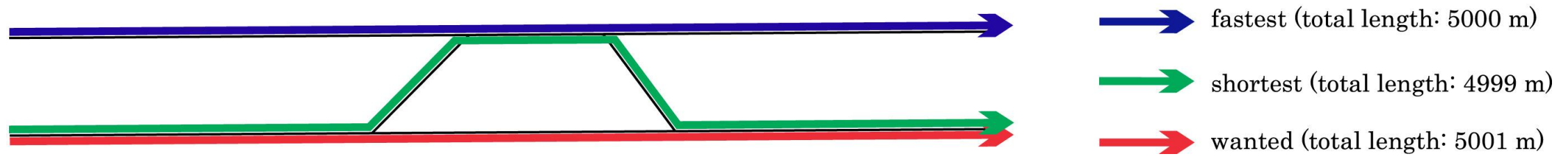
Mikroskopische Umlegung makroskopischer Fahrplandaten



Hindernisse beim mikroskopischen Zugrouting...

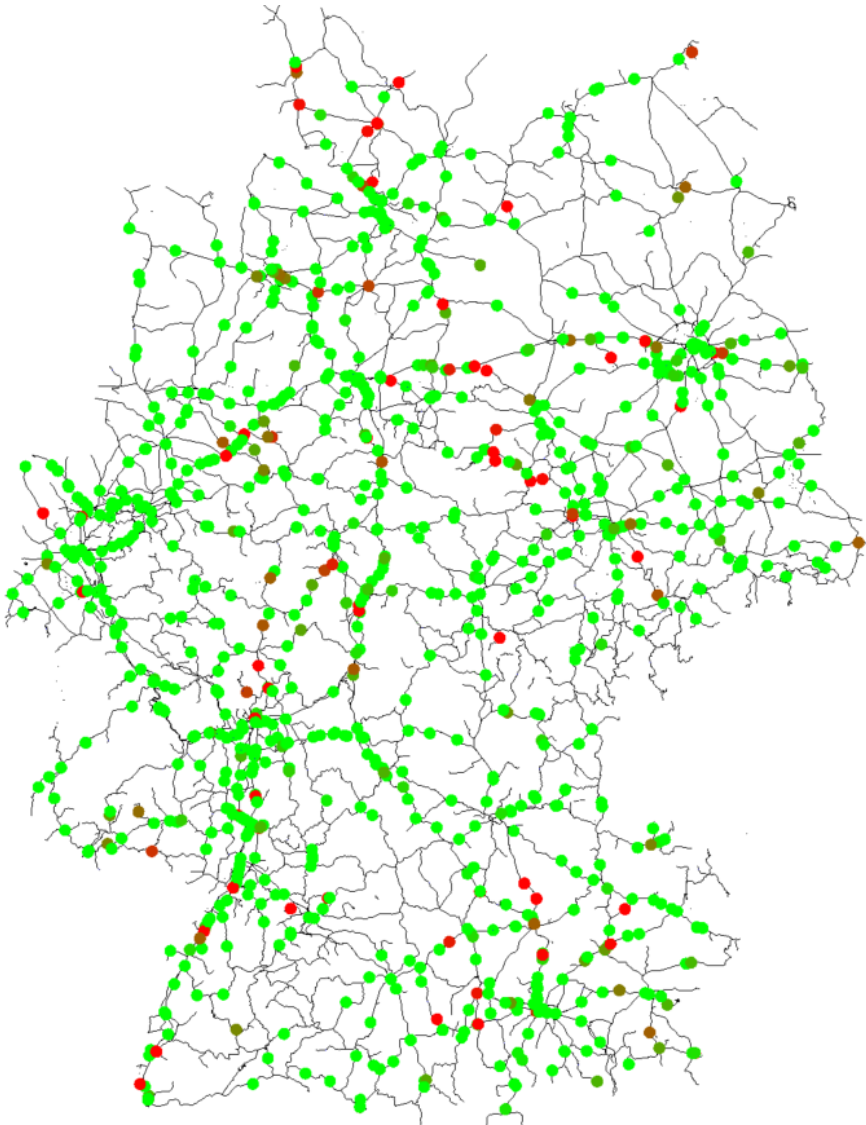


$$\frac{\text{length (m)}}{\text{allowed speed (km/h)}}$$



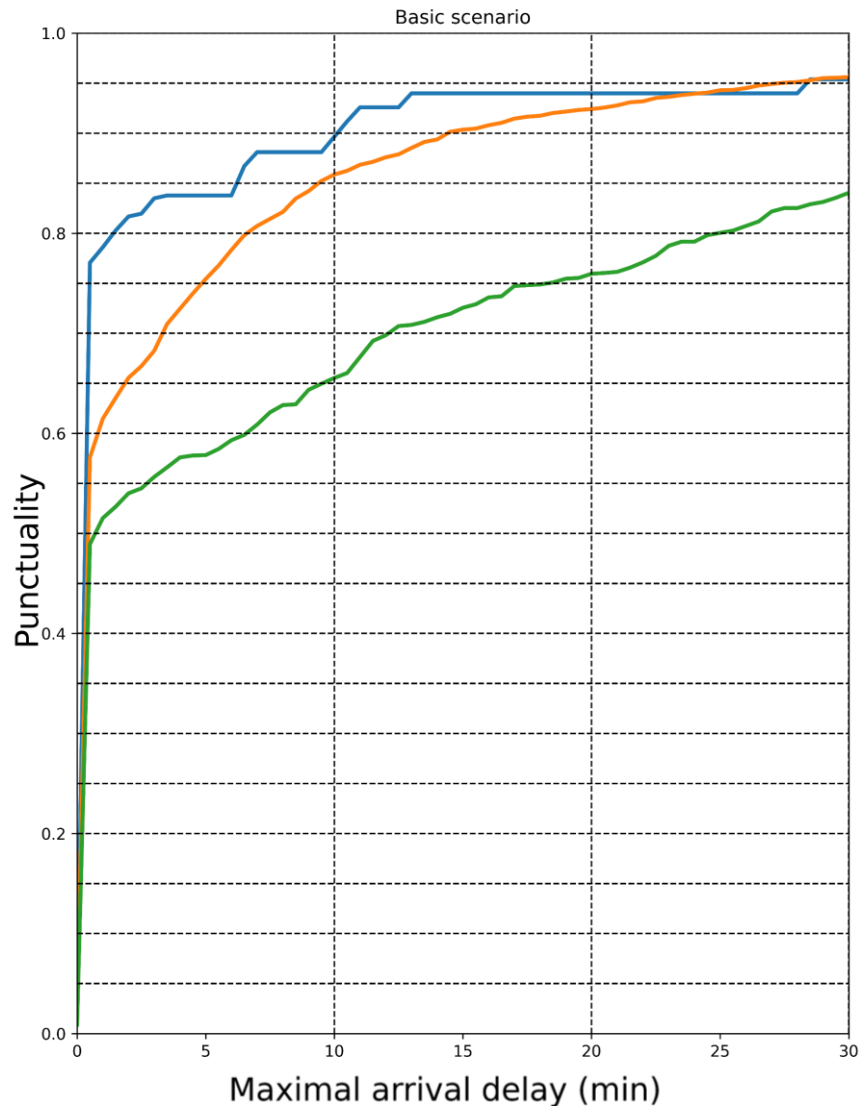
Source: Geischberger et al. JRTPM 2026

Ausgewählte use cases: Schienennetz Deutschland



- Deutsches Streckennetz vollständig importiert und simulierbar
- Hunderttausende Knoten, Weichen und Streckenabschnitte topologisch abgebildet
- Gleichzeitige Simulation tausender Züge im gesamten Netz
- Datenbasis OpenStreetMap und Deutschlandtakt → railML
- Skalierbarkeit von Einzelstrecke bis bundesweitem Gesamtnetz, Ausschnitte möglich
- Realitätsnahe Abbildung von Streckenklassen, Geschwindigkeitsprofilen und Haltemustern

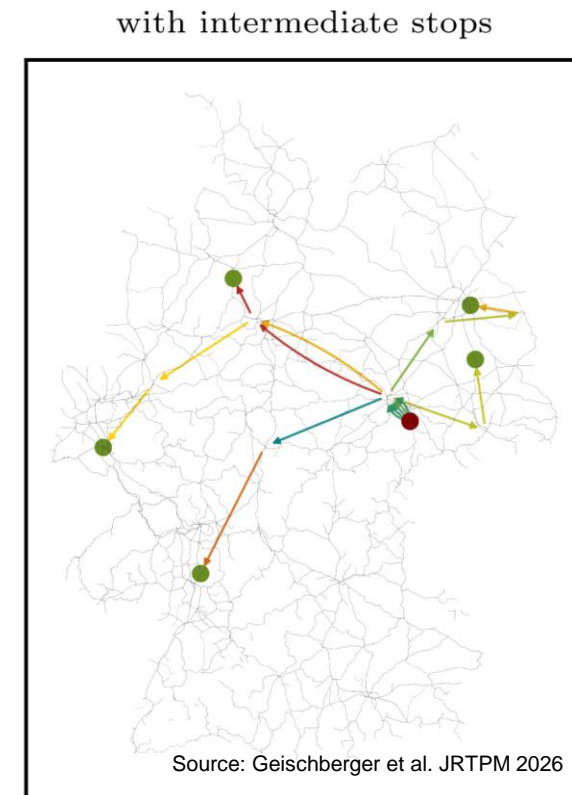
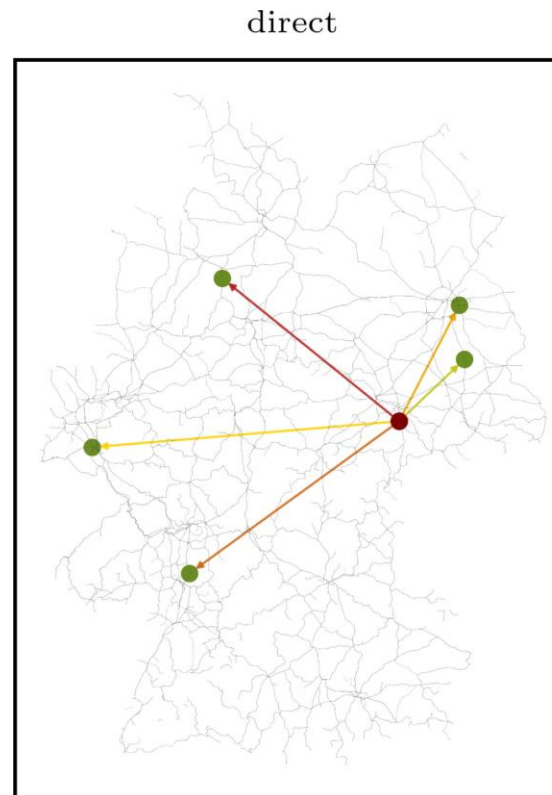
Zugpünktlichkeit



- Kumulative Darstellung des Anteils pünktlicher Züge je Verspätungsschwelle
- X-Achse: maximale Ankunftsverspätung in Minuten (0–30 min)
- Y-Achse: Anteil pünktlicher Züge in Prozent (0–100 %)
- Steiler Kurvenanstieg nahe Null signalisiert typischerweise hohe Betriebsqualität
- Flacher Verlauf zeigt systemische Verspätungen im Netz
- Unterscheidung nach Zuggattung

Transport- und Reiseketten in SUMO

- Modellierung multimodaler Reiseketten mit Umsteigevorgängen bzw. Umschlag
- Definition von Personen-Trips über mehrere Verkehrsträger hinweg
- Explizite Abbildung von Warte-, Geh- und Fahrzeiten je Etappe
- Abbildung von Anschlussbeziehungen und Umsteigekorrespondenzen



Source: Geischberger et al. JRTPM 2026

arrival delay at final destination (min)

-100

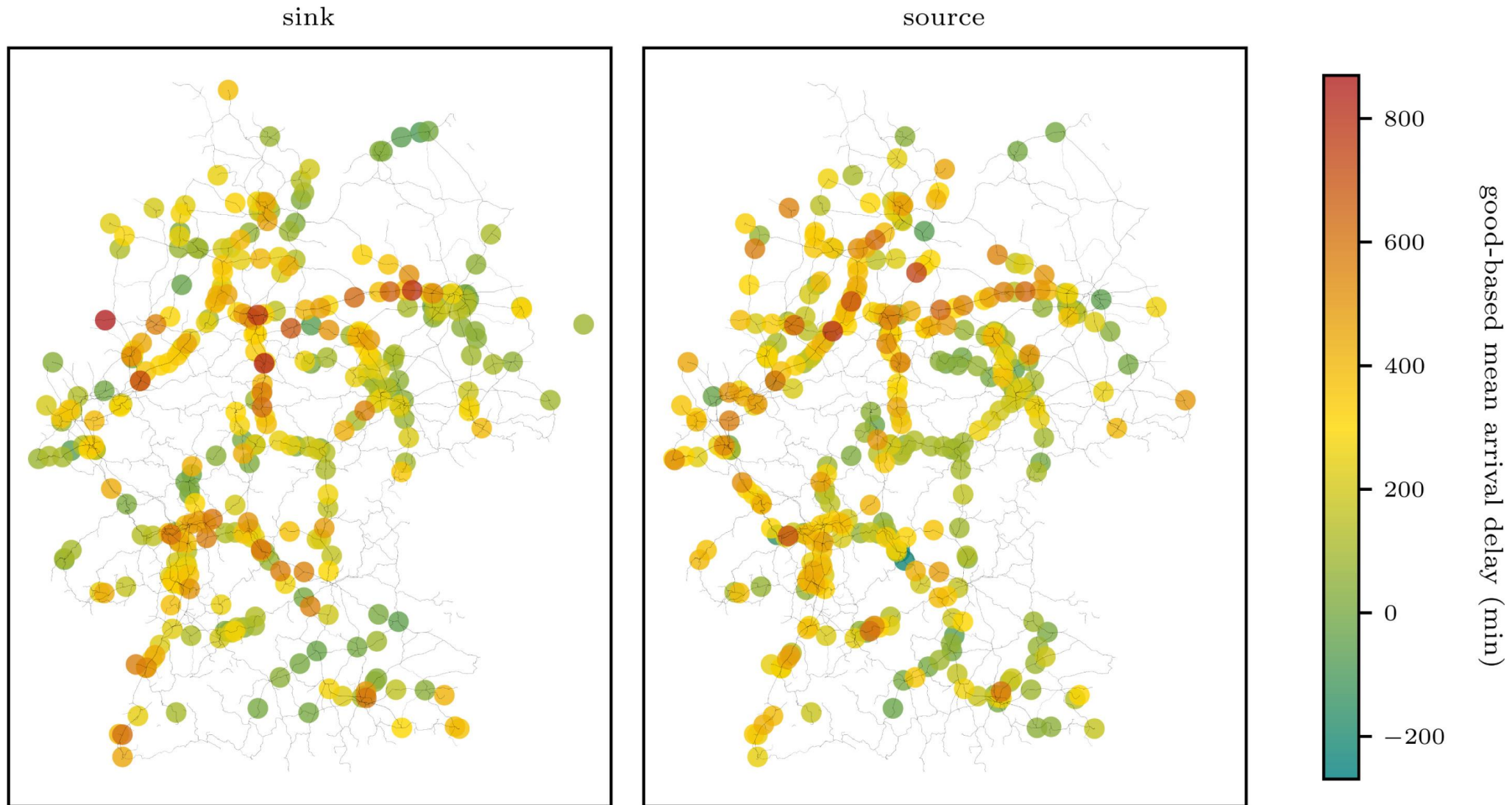
0

100

200

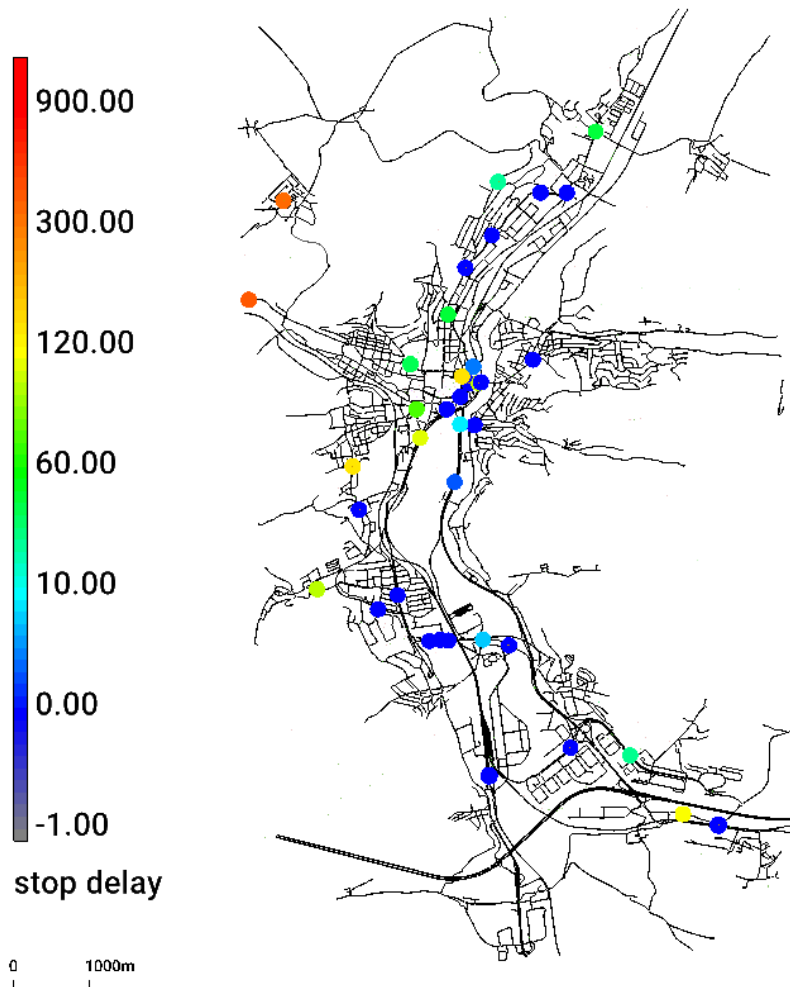
300

Lokale Effekte in großen Netzwerken



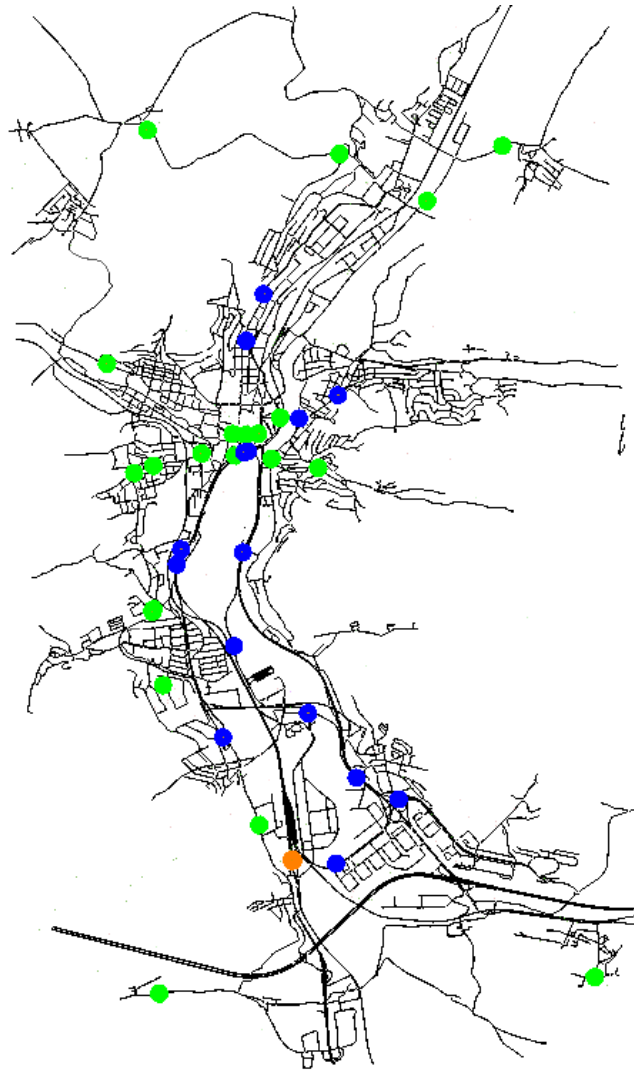
Source: Geischberger et al. JRTPM 2026

Use case: ÖPNV-Netz Jena



- Vollständige Abbildung des Jenaer ÖPNV-Netzes mit allen Verkehrsträgern
- Netzimport aus OSM
- Automatischer Import von GTFS-Daten und Matching mit dem OSM Netz
- Automatische, heuristische Ergänzung der Tram-Signal-Sicherungsinfrastruktur (fehlt in OSM komplett)

Use case: ÖPNV-Netz Jena



- Bus, Straßenbahn und Regionalbahn im gemeinsamen Simulationsmodell (Bus: grün, Tram: blau, Regionalbahn: orange)
- Gleichzeitige Simulation aller Linien im gesamten Stadtgebiet
- Unterstützung für Angebotsplanung und -analyse im Verbundnetz

Zusammenfassung und Ausblick

- SUMO: Mikroskopische, agentenbasierte Abbildung von Eisenbahn- und ÖPNV-Netzen inkl. Personen- und Warenströmen
- Pünktlichkeitsanalysen und Kapazitätsbewertungen auf simulativer Grundlage
- Bewertung bestehender Infrastruktur sowie zukünftiger Ausbauvarianten
- Störungsmodellierung und dynamisches Rerouting im laufenden Betrieb
- Erweiterung auf weitere Regionen, Verkehrsträger und Anwendungsfelder geplant
- Relevanz für EVU, EIU, städtische Verkehrsplanung, Behörden...



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Jakob Geischberger

Gruppenleiter: Bahnbetrieb

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)

Institut für Verkehrssystemtechnik

Digitalisierter Schienenverkehr und –betrieb

Lilienthalplatz 7

38108 Braunschweig

jakob.geischberger@dlr.de