Agentenbasierte Simulation des Schienengüterverkehrs mit dem Ziel der Netzoptimierung

Prof. Dr.-Ing. Dirk Bruckmann

HOCHSCHULE RHEIN-WAAL
Rhine-Waal University of Applied Sciences

Hochschule Rhein-Waal

Gegründet 1. Mai 2009

2 Standorte: Kleve und Kamp-Lintfort

4 Fakultäten
- Life Sciences
- Technologie und Bionik
- Gesellschaft und Ökonomie
- Kommunikation und Umwelt

5000 Studierende aus 100 Ländern

Prof. Integrierter öffentlicher Verkehr – Prof. Dirk Bruckmann

1991 – 1999 Studium Bauingenieurwesen an der Universität Duisburg-Essen Abschluss als Dipl.-Ing.

1999 – 2006 Wissenschaftlicher Assistent am Institut für Verkehrswesen und Verkehrsbau der Universität Duisburg Essen, Promotion zum Thema Containerisierung des Einzelwagenverkehrs

2006 – 2011 Fachspezialist Infrastrukturentwicklung bei der SBB Cargo AG, Basel, Schweiz, Projektleiter für Terminals des Kombinierten Verkehr

2011 – 2015 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme der ETH Zürich, Leiter des Teams „Logistik und Bahngüterverkehr“

Seit **1. Mai 2015** – Professor für Verkehrslogistik an der Hochschule Rhein-Waal, Kamp-Lintfort.

Inhalt

Marktsituation des Schienengüterverkehrs

Verbesserungspotenziale

Forschungsbedarf

Modellbildung

Simulation

Weitere Schritte

Inhalt

Marktsituation des Schienengüterverkehrs

Verbesserungspotenziale

Forschungsbedarf

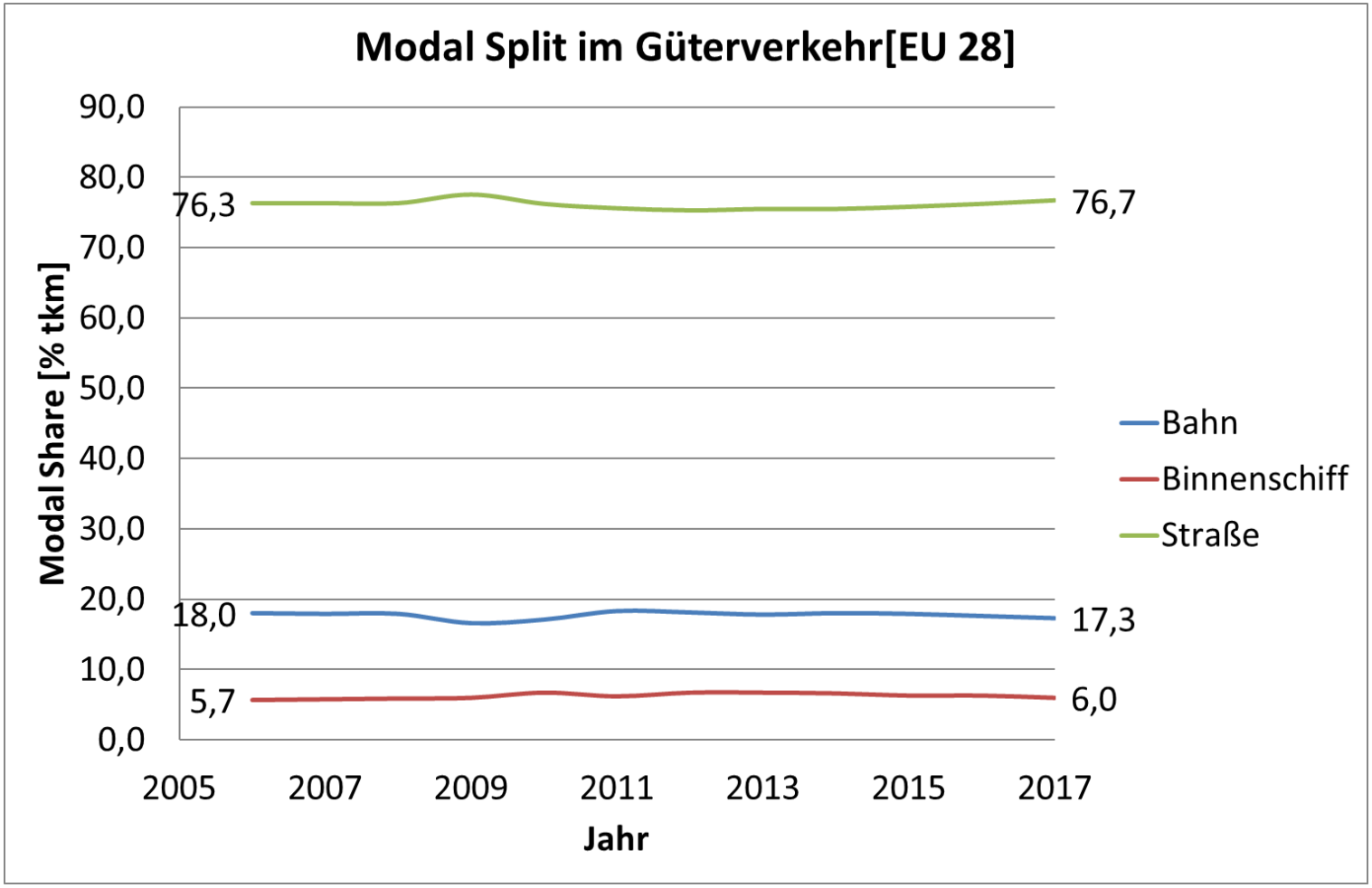
Modellbildung

Simulation

Weitere Schritte

Marktsituation des Bahngüterverkehrs

Modal Split im Güterverkehr



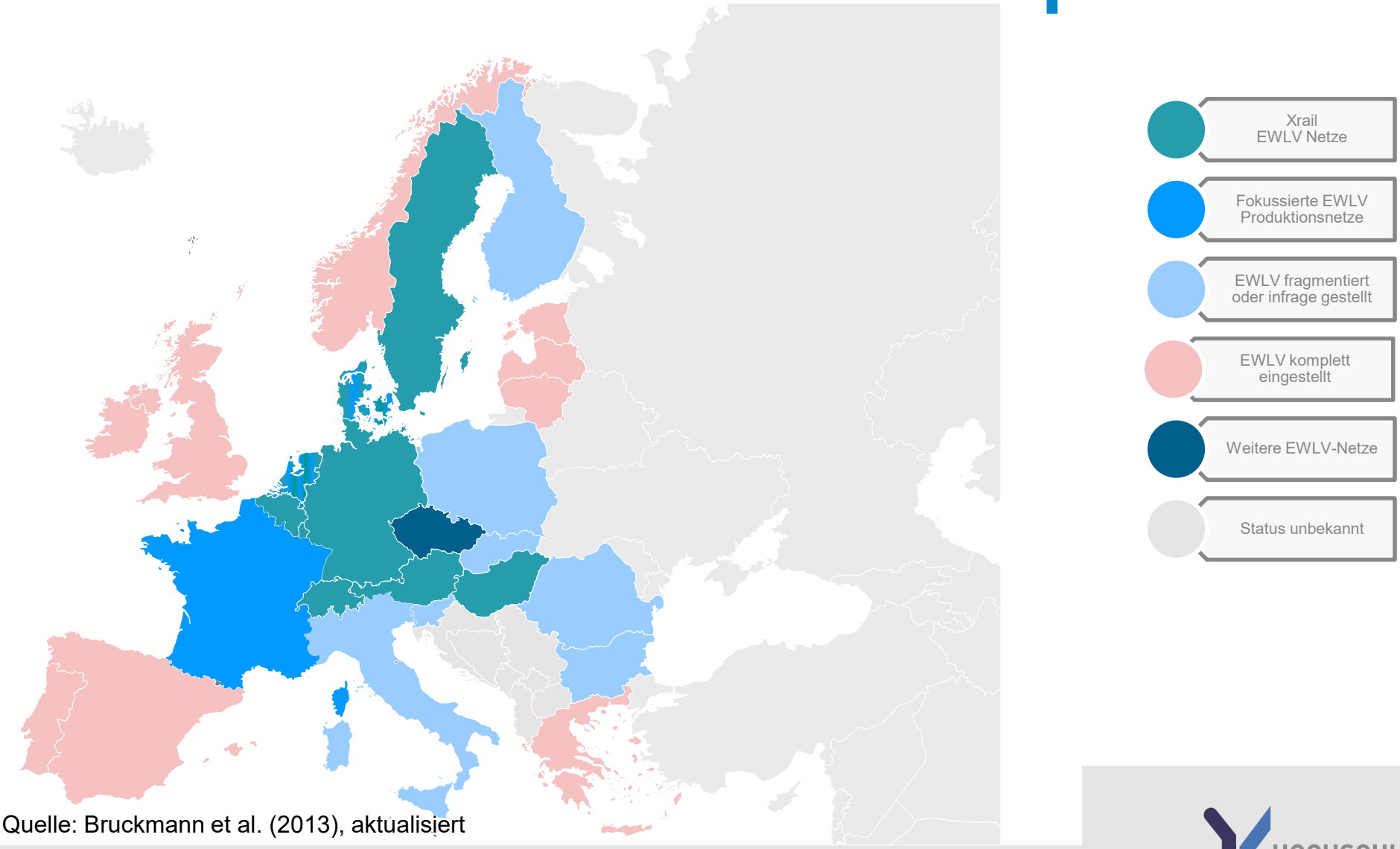
Entgegen der politischen Ziele der Europäischen Union stagniert der Marktanteil des Bahngüter-verkehrs seit 2005.

Quelle: Eurostat (2021)

HOCHSCHULE RHEIN-WAAL
Rhine-Waal University of Applied Sciences

Marktsituation des Bahngüterverkehrs

Situation des EWLV in Europe



Quelle: Bruckmann et al. (2013), aktualisiert

HOCHSCHULE RHEIN-WAAL
Rhine-Waal University of Applied Sciences

Inhalt

Marktsituation des Schienengüterverkehrs

Verbesserungspotenziale

Forschungsbedarf

Modellbildung

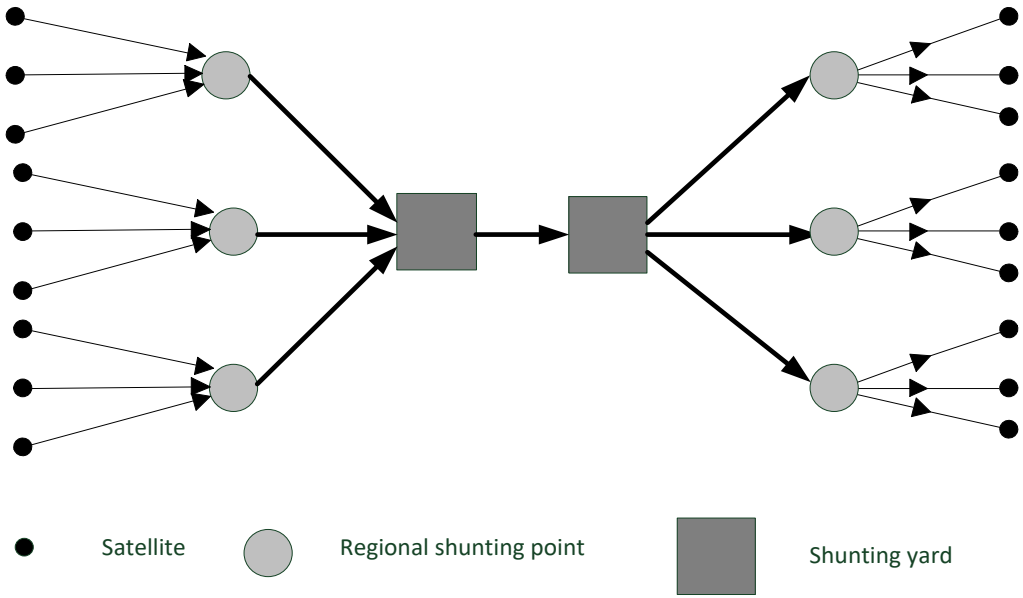
Simulation

Weitere Schritte

Verbesserungspotenziale

Ansätze im Einzelwagenverkehr

Produktionssystem im EWLV



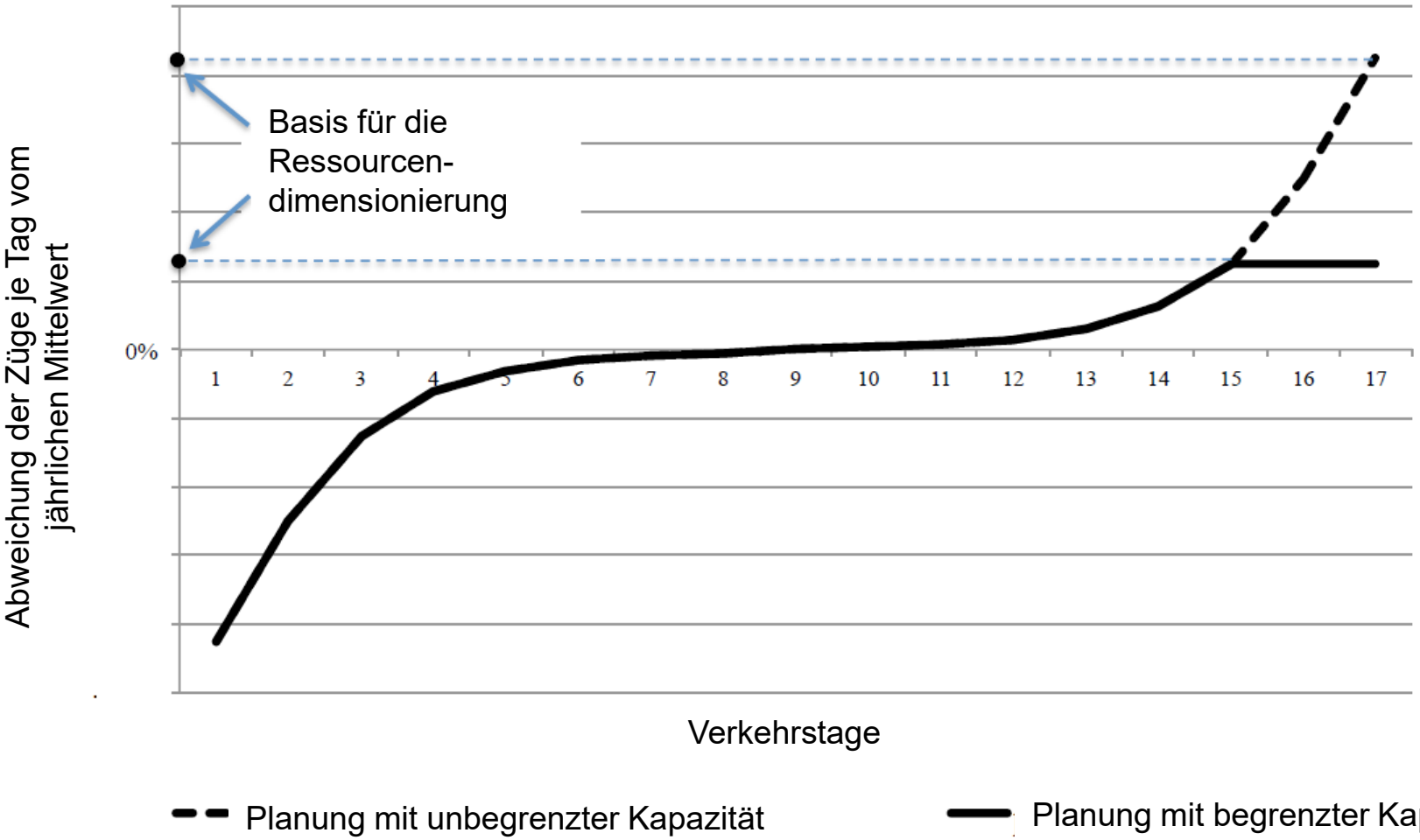
Ansatzpunkte für Verbesserungen in der Produktion

- Betriebliche Verbesserung im Streckenbetrieb (zwischen den Rangierungen)
- Verbesserung der Rangierprozesse
- Verbesserung der Netzgestaltung

HOCHSCHULE RHEIN-WAAL
Rhine-Waal University of Applied Sciences

Verbesserungspotenziale

Ansatzpunkt nachfragebezogene Netzgestaltung



Prinzip-darstellung

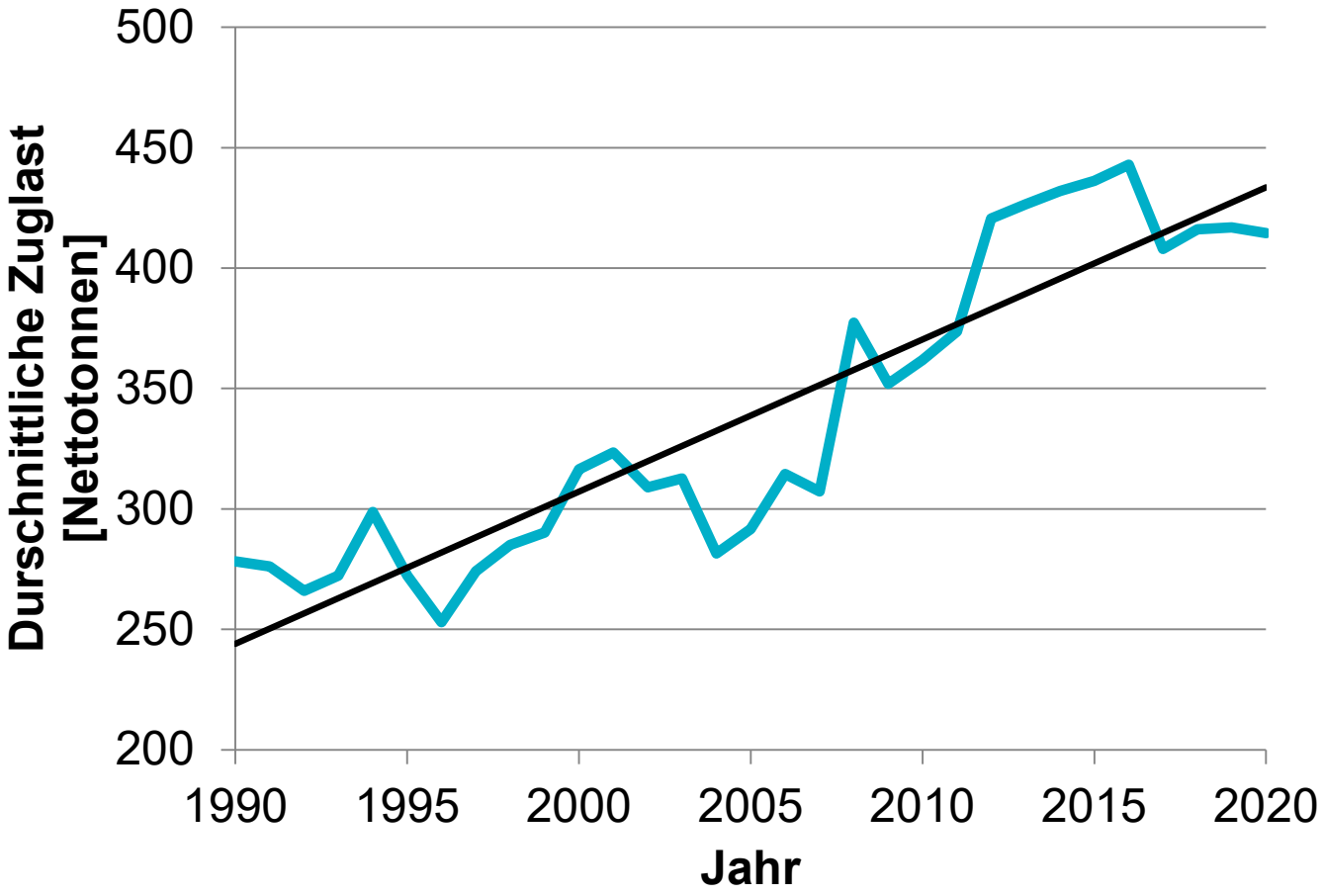
[1] *Dargestellt in absteigender Reihenfolge der Transportnachfrage*

Quelle: übersetzt aus Moll (2012)

HOCHSCHULE RHEIN-WAAL
Rhine-Waal University of Applied Sciences

Verbesserungspotenziale

Problematik: Zugauslastung



Die durchschnittliche Zuglast in der Schweiz ist bereits deutlich gestiegen, stagniert aber seit ca. 2010

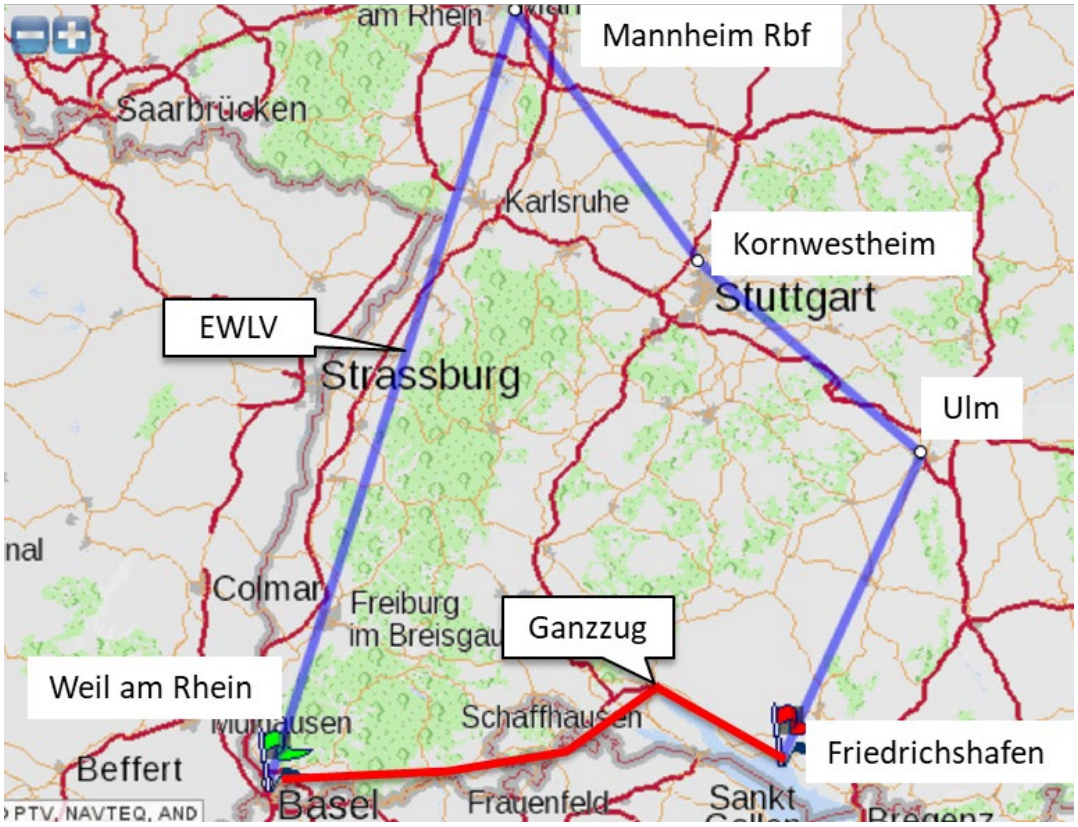
Quelle: Bundesamt für Statistik (2021)

HOCHSCHULE RHEIN-WAAL
Rhine-Waal University of Applied Sciences

Verbesserungspotenziale

Problematik: Umwege im EWLV

Beispiel: Weil am Rhein - Friedrichshafen



Quelle: Bruckmann (2013)

Transportentfernung:

EWLV: 574 km
Ganzzug (theoretisch): 185 km
Straßenentfernung: 191 km

HOCHSCHULE RHEIN-WAAL
Rhine-Waal University of Applied Sciences

Verbesserungspotenziale

Anforderungen an eine Simulation

Verbesserungsziele im EWLV-Netz

- Größere Auslastung der Züge, um die Zahl der Züge zu reduzieren,
- Gleichmäßige Auslastung aller Züge,
- Verringerung der Umwege von Wagen und
- Verbesserung der Angebotsqualität durch kürzere Laufzeiten.

Anforderung an ein Tool zur Netzsimulation und -optimierung

- Abdeckung der Produktionssysteme des EWLV,
- Einbezug der maximalen Zuglast und Zuglänge als Randbedingung,
- Umsetzung der Transporterfordernisse (früheste Abholung und späteste Zustellung in den Gleisanschlüssen),
- Berücksichtigung des Zeitbedarfs für Rangierungen und
- Optimierung des Wagenroutings abhängig von den Zugauslastungen.

HOCHSCHULE RHEIN-WAAL
Rhine-Waal University of Applied Sciences

Inhalt

Marktsituation des Schienengüterverkehrs

Verbesserungspotenziale

Forschungsbedarf

Modellierung des Einzelwagenverkehrs mit MATSim

Simulationsergebnisse

Weitere Schritte

Forschungbedarf

Methodische Lücke bei der Eisenbahnmodellierung

Makroskopische Ansätze
Herkömmliche Verkehrsmodelle mit Quelle-Ziel-Matrix und aggregiertem Streckennetz. Genauigkeit im Allgemeinen auf Basis von Tagesmengen

Mikroskopische Ansätze
Eisenbahnbetriebssimulationen mit detaillierter Abbildung der Infrastruktur und der Fahrplandaten. Berücksichtigen im Allgemeinen keine Nachfragedaten. Sekundengenaue Modellierung

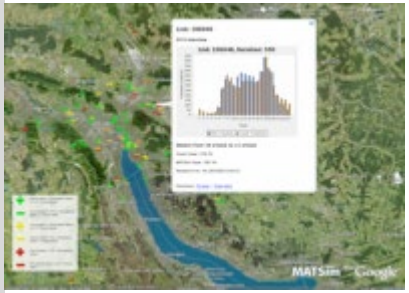
WagonSim als mesoskopischer Ansatz
Modellierung auf Basis einzelner Wagen. Verwendet ein abstrahiertes Infrastrukturnetz, dass die Netzstruktur und Kapazitätsbeschränkungen abbildet. Es wird ein minutengenauer Fahrplan abgebildet und es warden Zeiten für Rangiervorgänge beim Wagenübergang integriert.

Forschungsbedarf

MATSIM als agentenbasierte Simulationssoftware

WagonSIM wurde auf Basis von MATSim entwickelt:

- **Schnelle, dynamische agentenbasierte Similation**
  Simuliert ganze Tage in Minuten.
- **Öffentlicher Verkehr und Individualverkehr**
  Private Fahrzeuge und öffentlicher Verkehr können abgebildet werden.
- **Unterstützt große Modelle**
  MATSim kann detaillierte Netze mit Millionen Agenten abbilden.
- **Vergleich der Simulationsergebnisse mit echten Daten**
  z.B. Vergleich der Simualtionsergenisse mit Zählquerschnitten
- **Modularer Ansatz**
  Einfach erweiterbar mit neuen Algorithmen
- **Interaktive Visualisierung**
  Das Verhalten einzelner Agenten ist sichtbar.
- **Open Source**
  Der Java Code läuft auf allen gängigen Systemen.



HOCHSCHULE RHEIN-WAAL
Rhine-Waal University of Applied Sciences

Inhalt

Marktsituation des Schienengüterverkehrs

Verbesserungspotenziale

Forschungsbedarf

Modellbildung

Simulationsergebnisse

Weitere Schritte

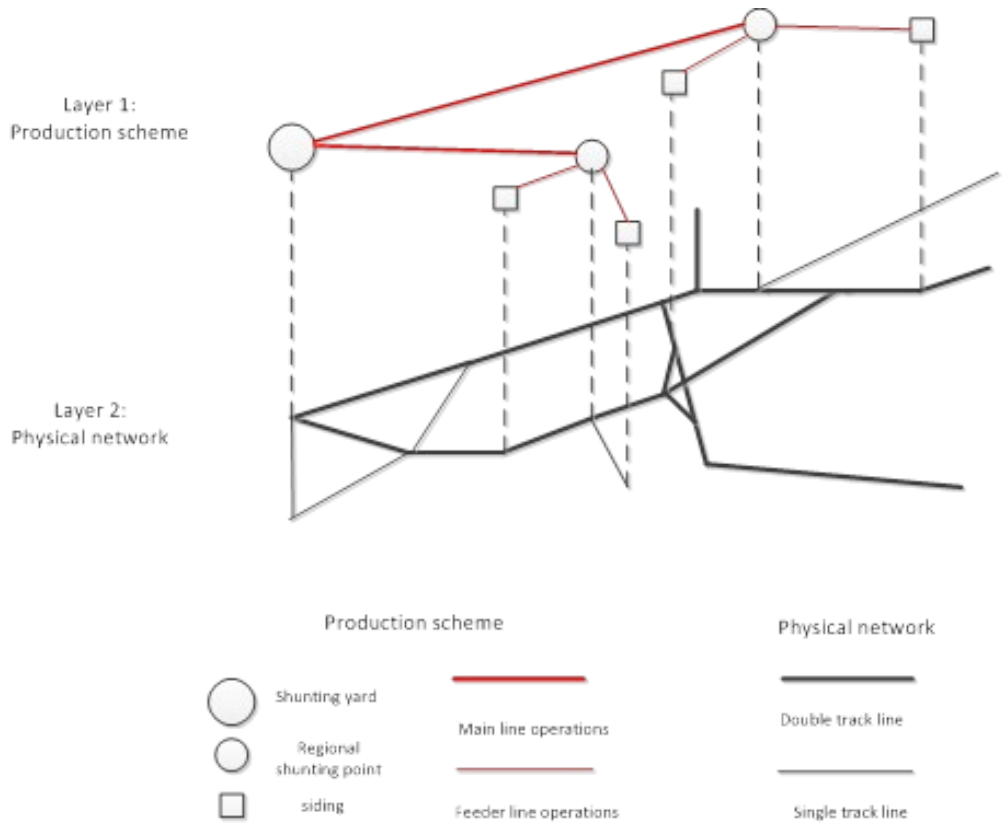
Spezifische Teile der Modellierung

MATSIM-Element	Verwendung in WagonSIM
Agent	Wagen mit spezifischer Länge und Gewicht.
Aktivitätenplan	Für jeden Wagen: Startgleisanschluss mit früherster Abfahrtszeit und Zielgleisanschluss mit spätester Ankunftszeit
Population der Agenten	Datensatz mit allen Wagen
Fahrzeuge	Züge mit maximaler Länge und maximalem Gewicht
Fahrplan für Fahrzeuge	Zugfahrpläne im Produktionsnetz

HOCHSCHULE RHEIN-WAAL
Rhine-Waal University of Applied Sciences

Modellbildung

Zwei Netzebenen warden abgebildet: Infrastruktur und Produktionsnetz



Wagen
Aktivitätenplan

Werden auf dem Produktionsnetz geroutet.

WagonSIM Fahrplan
Zugfahrpläne inklusive Produktionsnetz

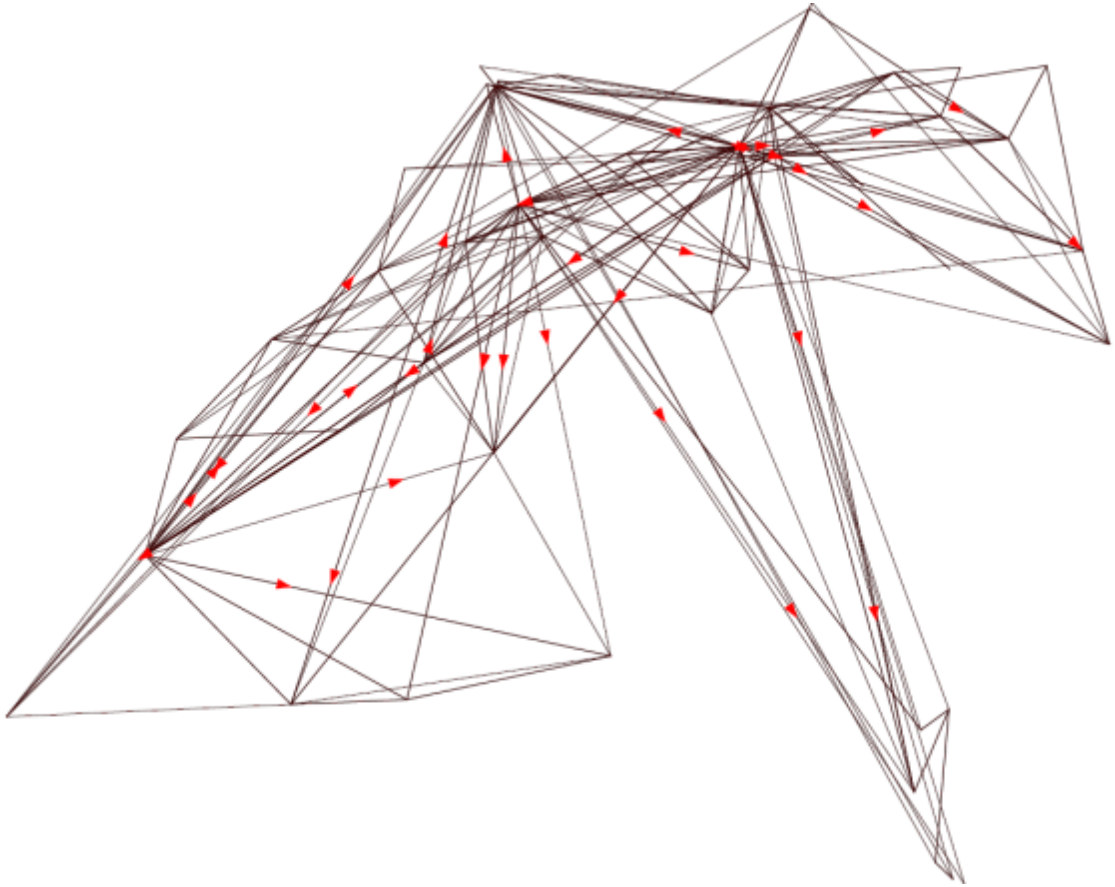
Werden auf dem Infrastrukturnetz geroutet.

Produktionsnetz
(kommerzielle Halte)

HOCHSCHULE RHEIN-WAAL
Rhine-Waal University of Applied Sciences

Modellbildung

Produktionsnetz in der Schweiz



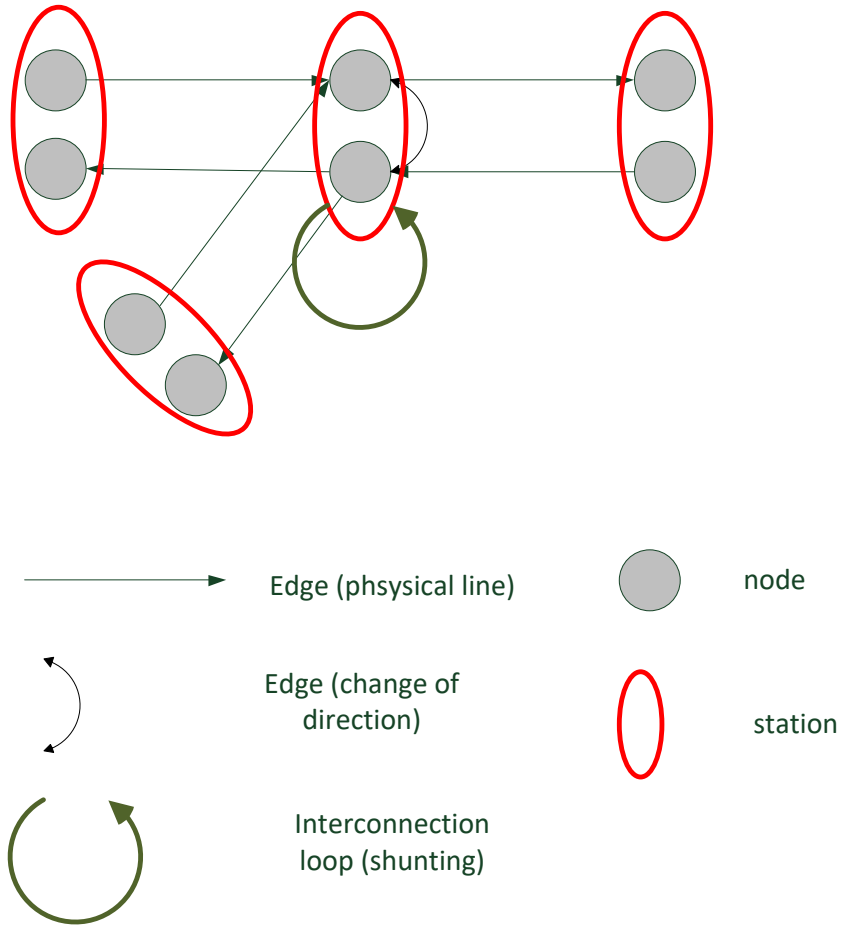
Elemente des Produktionsnetzes

- **Knoten** repräsentieren die kommerziellen Halte zum Aufnehmen und Absetzen von Wagen
- **Kanten** repräsentieren die Züge, die die kommerziellen Halte bedienen.

HOCHSCHULE RHEIN-WAAL
Rhine-Waal University of Applied Sciences

Modellbildung

Das Infrastrukturmodell mit den Attributen und Constraints



Elemente des Infrastrukturnetzes

- **Kanten** mit einer Länge, einer Höchstgeschwindigkeit und einer Kapazität (Zugfahrten).
- **Knoten** mit einer maximalen Kapazität für die Anzahl rangierter Wagen und Zeitbedarfswerten für das An- und Abhängen von Wagen
- **Verknüpfungsschleifen** an den Knoten mit einem Mindestzeitbedarf, um Anschlussbeziehungen zwischen Zügen zu modellieren.

HOCHSCHULE RHEIN-WAAL
Rhine-Waal University of Applied Sciences

Inhalt

Marktsituation des Schienengüterverkehrs

Verbesserungspotenziale

Forschungsbedarf

Modellbildung

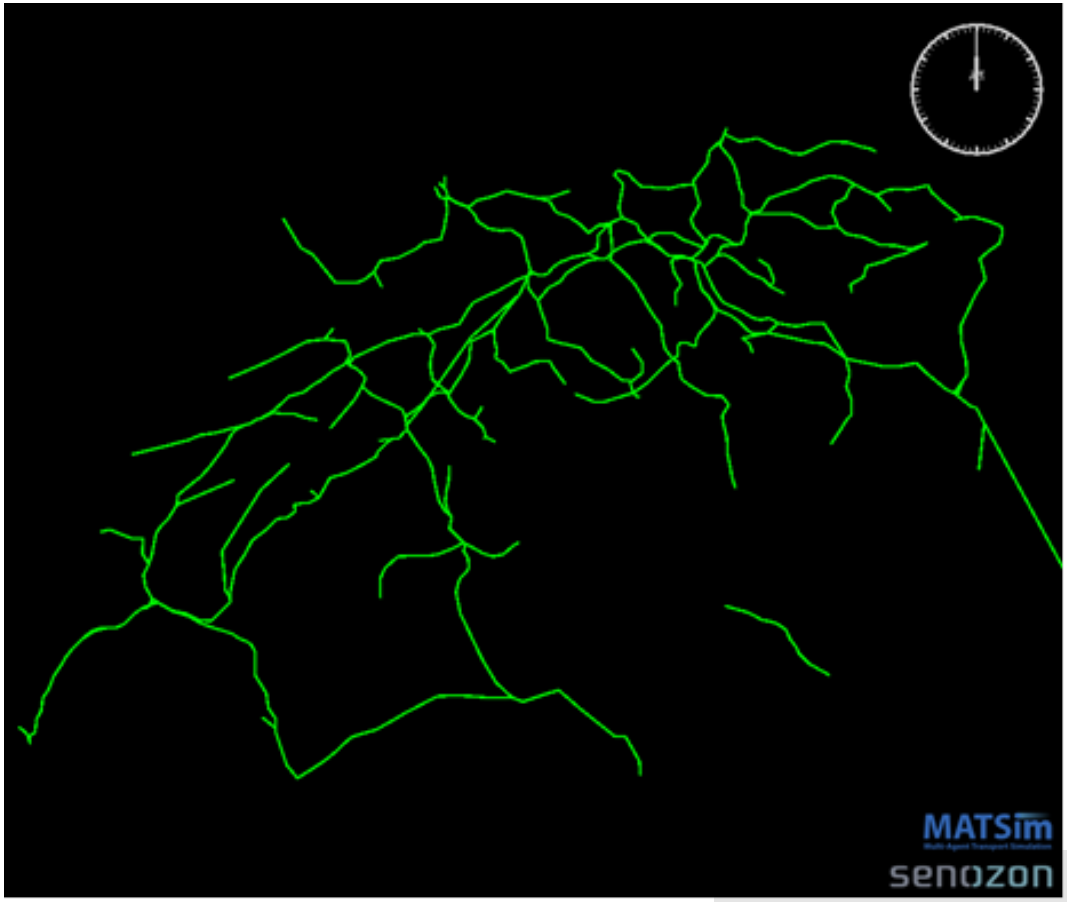
Simulation

Weitere Schritte

Simulation

Das Infrastrukturmodell

Aufgrund fehlender Datenverfügbarkeit wurde das Netzmodell aus den graphischen Fahrplänen aller Bahnlinien in der Schweiz erzeugt.



Simulation

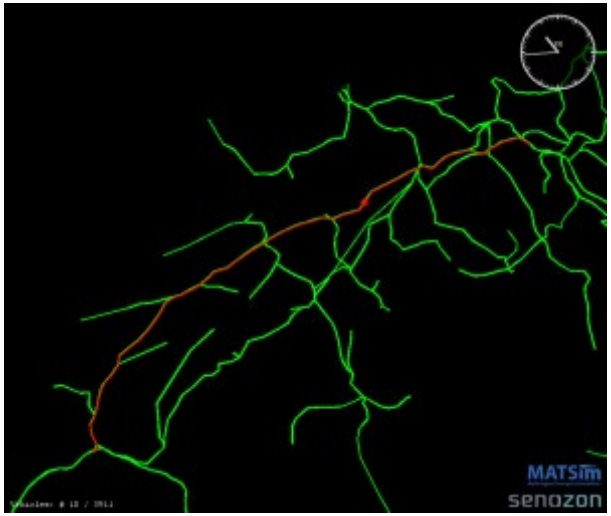
Routing and Optimisation

Die Wagen werden aufgrund generalisierter Kosten auf dem kürzesten Wege geroutet.
Derzeit werden nur Transportzeiten berücksichtigt. Weitere Kostenelemente können aber integriert warden.

WagonSim nutzt die bereits in MATSim integrierten Routensuchalgorithmen
Dijkstra / AStarEuclidean / AStarLandmarks

Züge werden nach dem First-in-first-out Prinzip gefüllt.:
Wenn die Maximallänge oder Maximallast erreicht ist, warten die Wagen auf den nächsten Zug.

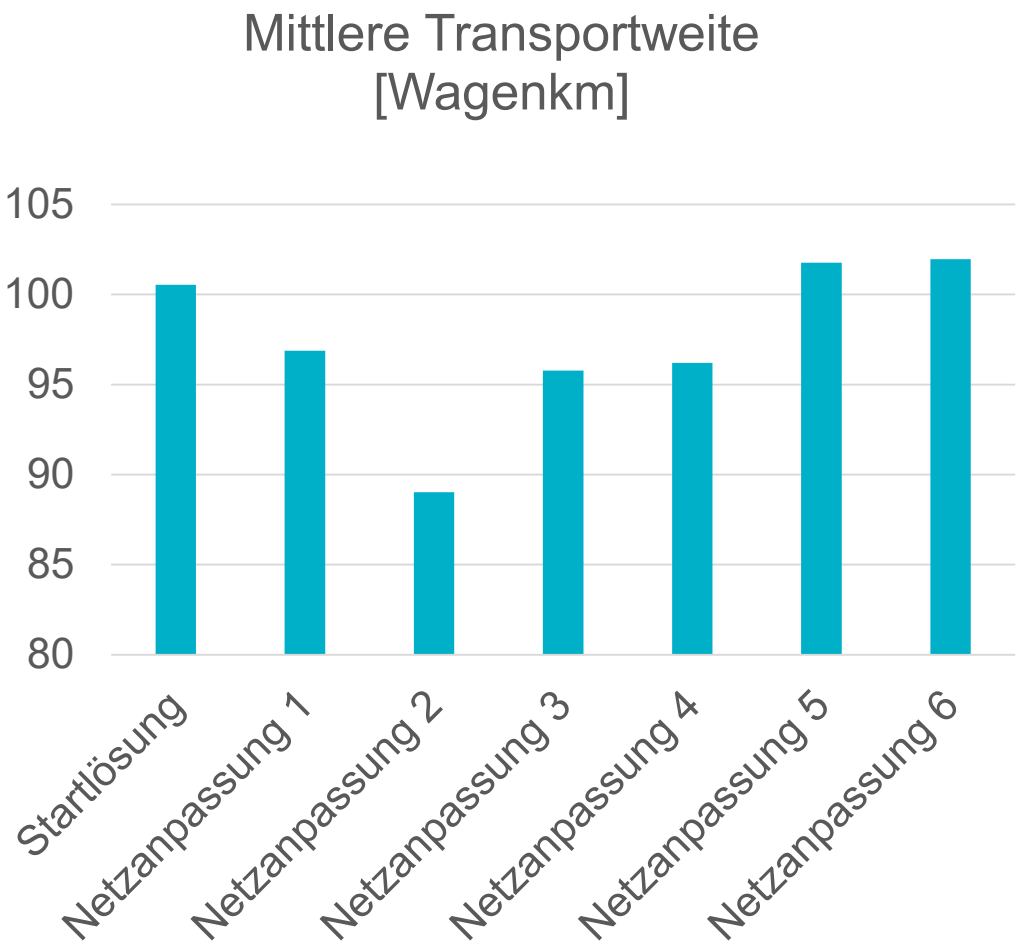
Die Gesamtoptimierung erfolgt in mehreren Iterationen:
Im Rahmen der Iterationen wird die Zahl der verspäteten Wagen möglichst reduziert.

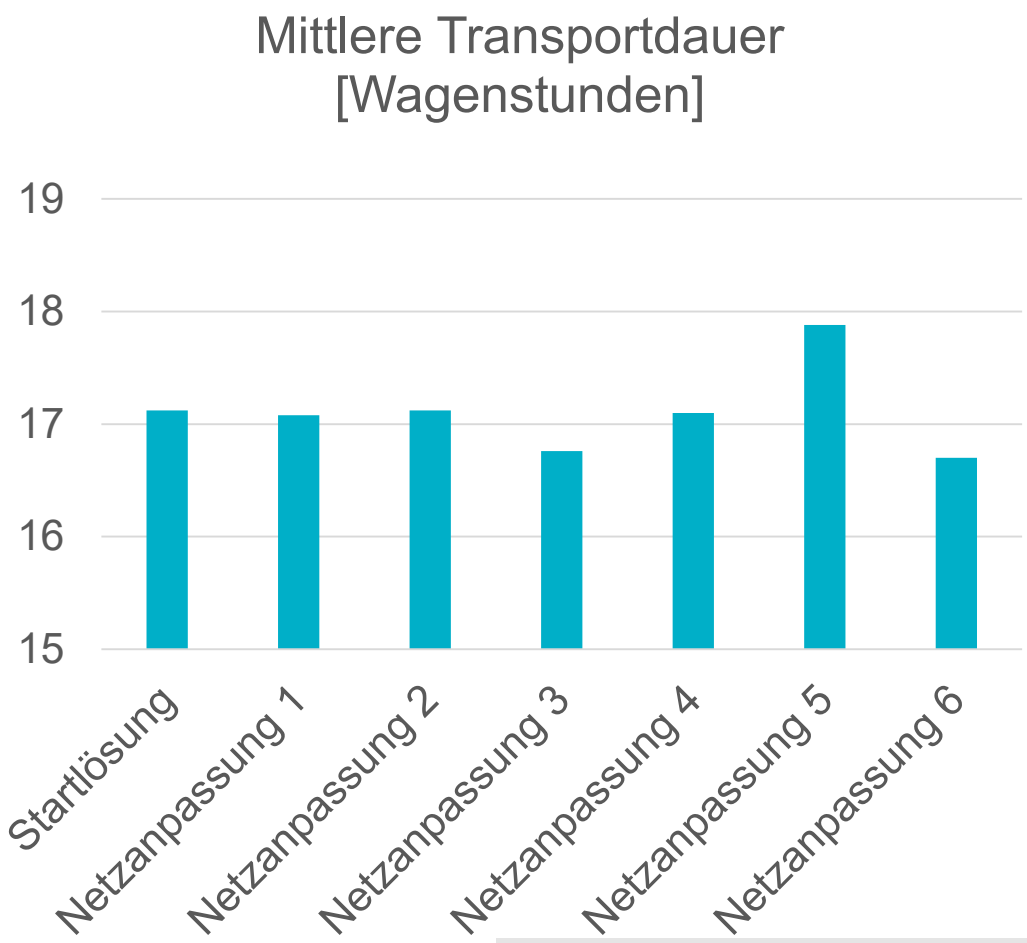


HOCHSCHULE RHEIN-WAAL
Rhine-Waal University of Applied Sciences

Simulation

Ergebnisse erster Netzoptimierungen





Quelle: Mancera et al. (2015)

HOCHSCHULE RHEIN-WAAL
Rhine-Waal University of Applied Sciences

Inhalt

Marktsituation des Schienengüterverkehrs

Verbesserungspotenziale

Forschungsbedarf

Modellbildung

Simulation

Weitere Schritte

Weitere Schritte

Optionen für eine Weiterentwicklung

Schritt 1: Modellierung bestehender Netze und Routing der Züge wie beschrieben.

Schritt 2 (teilweise umgesetzt): Möglichkeit zur manuellen Anpassung von Fahrplänen und Routen zur Verbesserung von Produktionssystemen

Schritt 3: Integration von Kapazitätsrestriktionen auf der Infrastruktur um die Machbarkeit von Netzanpassungen zu prüfen.

Schritt 4: Automatische Fahrplanerzeugung auf den Bestandsnetzen.

Schritt 5: Automatische Erstellung tagesscharfer Netze.

Schritt 6: Einbezug anderer Anbieter, um das gesamte Güterverkehrsangebot zu simulieren.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Kontakt:
Prof. Dr.-Ing. Dirk Bruckmann
dirk.bruckmann@hsrw.eu
+49 (2842) 908 25 -246

Quellen

Bruckmann, D. (2013) Laufwege von Güterwagen, Wascosa Infoletter (22) 12-14.

Bruckmann, D., Galonske, N., Fumasoli, T. und U. Weidmann (2013) Viable Wagonload Production Schemes, Presentation, World Congress on Railway Research, paper-ID 565, Sydney.

Bundesamt für Statistik (2021) Öffentlicher Verkehr inkl. Schienengüterverkehr – detaillierte Zeitreihen, BFS-Nummer su-d-11-TP-ZR, veröffentlicht am 15.09.2021, url: https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/mobilitaet-verkehr/querschnittsthemen/oeffentlicher-verkehr.assetdetail.18444392.html

Eurostat (2021) Modal Split of inland freight transport, Tabelle TRAN_HV_FRMOD, Version: 25.03.2021, url: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tran_hv_frmod/default/table?lang=en

Mancera, A., Bruckmann, D. und U. Weidmann (2015) Single wagonload production schemes improvements using GüterSim (agent-based simulation tool), Transport Research Procedia 10 (2015) 615-624.

Moll, S. (2012) Productivity Improvements for Freight Railways through Collaborative Transport Plannung, Dissertation. ETH Zürich.

Universität St. Gallen (2014) Logistikmarkstudie.