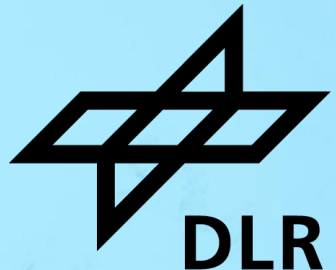


ABSCHLUSSVERANSTALTUNG GREENVALUE

Managementsystem für ein vernetztes, automatisiertes und emissionsreduziertes
Verkehrssystem zur Verkehrslenkung auf Basis dynamischer Bepreisungsaspekte

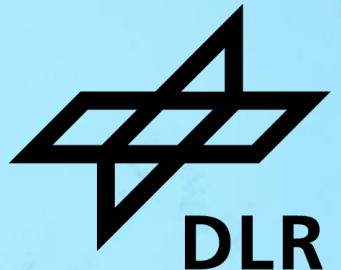
23.08.2023



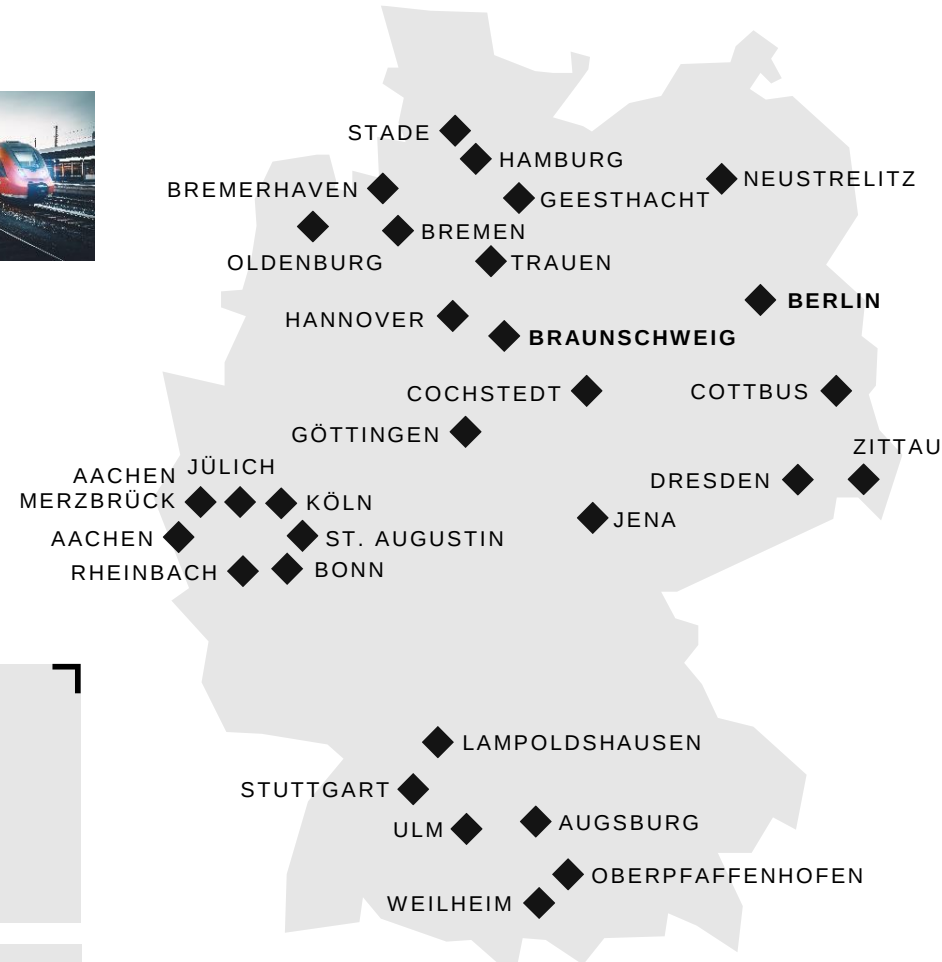
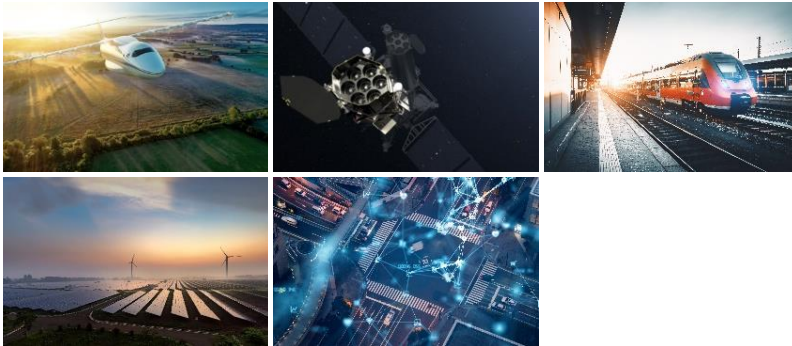
- Vorstellung DLR, Institut für Verkehrssystemtechnik
- Ausgangslage, Motivation und Projektziele
- Projektergebnisse
 - Stand der Technik
 - Systemarchitektur
 - Aufbau des Simulationsmodells
 - Szenariendefinition
- Simulationsergebnisse
- Ergebnisverwertung

ABSCHLUSSVERANSTALTUNG GREENVALUE

**Vorstellung DLR, Institut für Verkehrssystemtechnik
Prof. Dr. Michael Ortgiese**



Das DLR im Überblick



FORSCHUNGSEINRICHTUNG
RAUMFAHRTAGENTUR
PROJEKTTRÄGER

Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft



FORSCHUNGS- BEREICHE

Luftfahrt Verkehr
Raumfahrt Sicherheit
Energie Digitalisierung



ZAHLEN UND FAKTEN

9000+ Mitarbeitende
55 Institute/Einrichtungen
an 30 Standorten
Büros in Brüssel, Paris,
Tokio und Washington

Bereich Verkehr – Programmatische Domänen



VERKEHRSSYSTEM

Verkehrsentwicklungen
und -wirkungen,
Urbane Mobilität und
Stadtentwicklung,
Intermodale
Verkehrsknoten



STRASSENVERKEHR

Fahrzeuge,
Verkehrsmanagement,
Infrastruktur



SCHIENENVERKEHR

Fahrzeuge,
Verkehrsmanagement,
Infrastruktur

Technologietrends: Digitalisierung, Automation, Künstliche Intelligenz, Smart Data, Sektorenkopplung Energie und Verkehr

Institut für Verkehrssystemtechnik im Überblick



Standorte: Berlin, Braunschweig



Mitarbeitende: ca. 250 aus Ingenieurwissenschaft, IT-Wissenschaft, Psychologie etc.

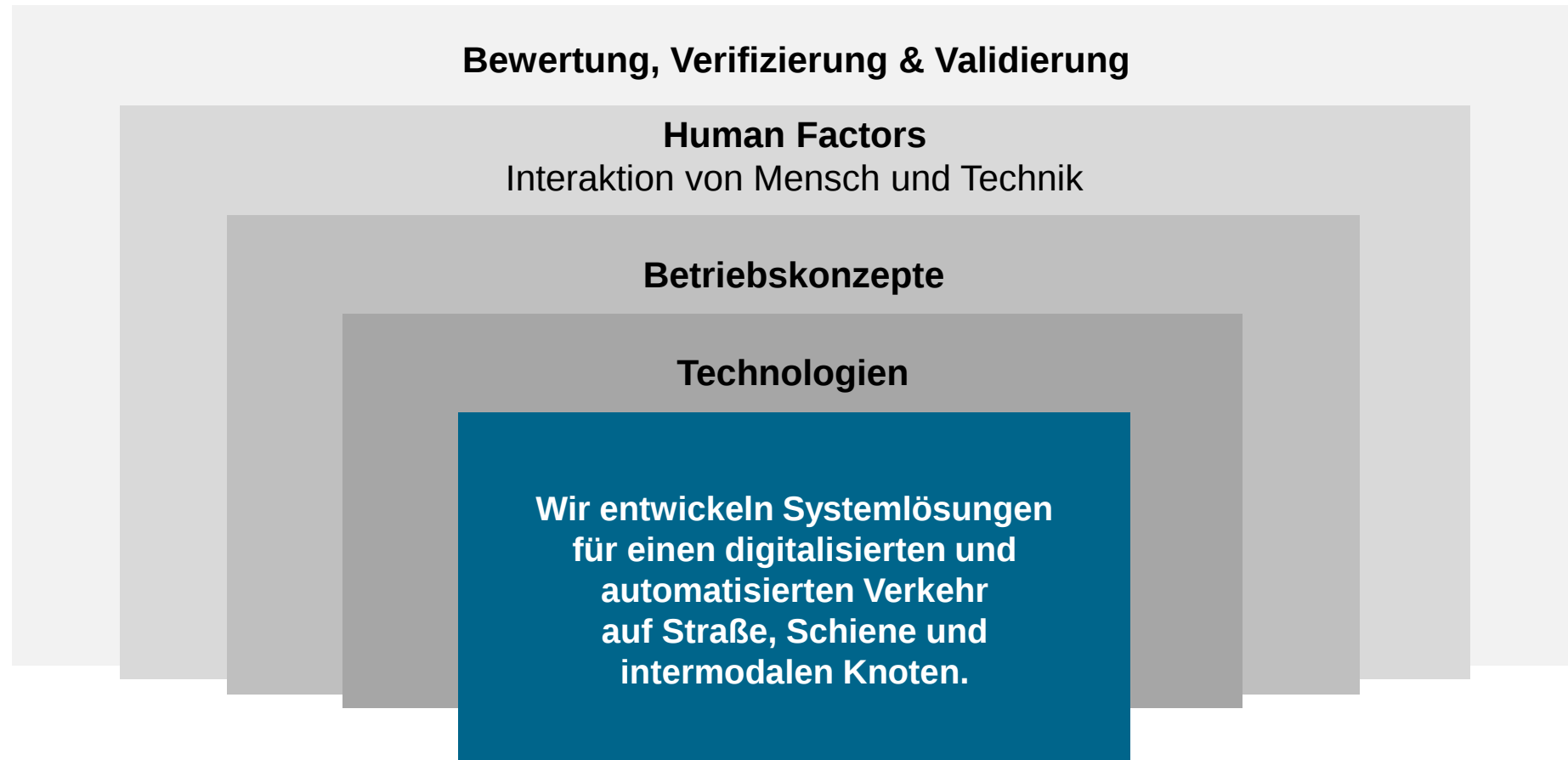


Großforschungsanlagen: Teststrecken, Simulatoren, Forschungsfahrzeuge etc.

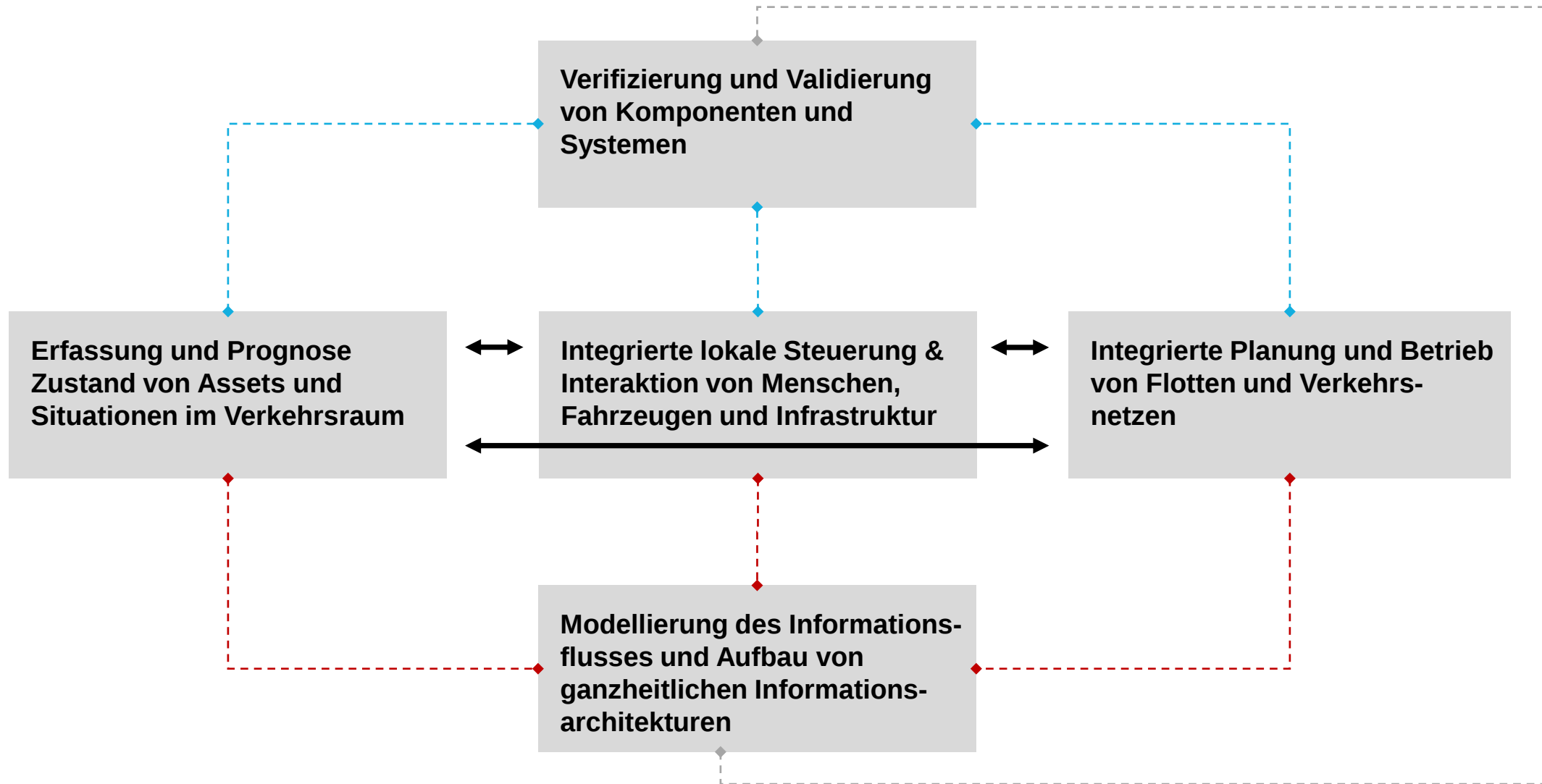


Forschungsgebiete: Straße, Schiene, intermodale Knoten





Unsere Strategie



Unser Netzwerk



Industrie



Organisationen



Forschung



Straße



Bildquelle hier angeben

Straße

„Wir entwickeln Technologiebausteine und Architekturen zur Erhöhung des Automationsgrades von Fahrzeugen, um den automatisierten und vernetzten Verkehr effizienter, nachhaltiger und sicherer zu gestalten.“

Methoden:

- Informationsverdichtung durch geteilte Datenräume aus Infrastruktur und Fahrzeugsensorik
- Entwicklung von Testwerkzeugen zur Absicherung automatischer Fahrmanöver in Simulation und Feldtest
- Entwicklung, Test und Demonstration innovativer Fahrfunktionsprototypen

Schiene



Schiene

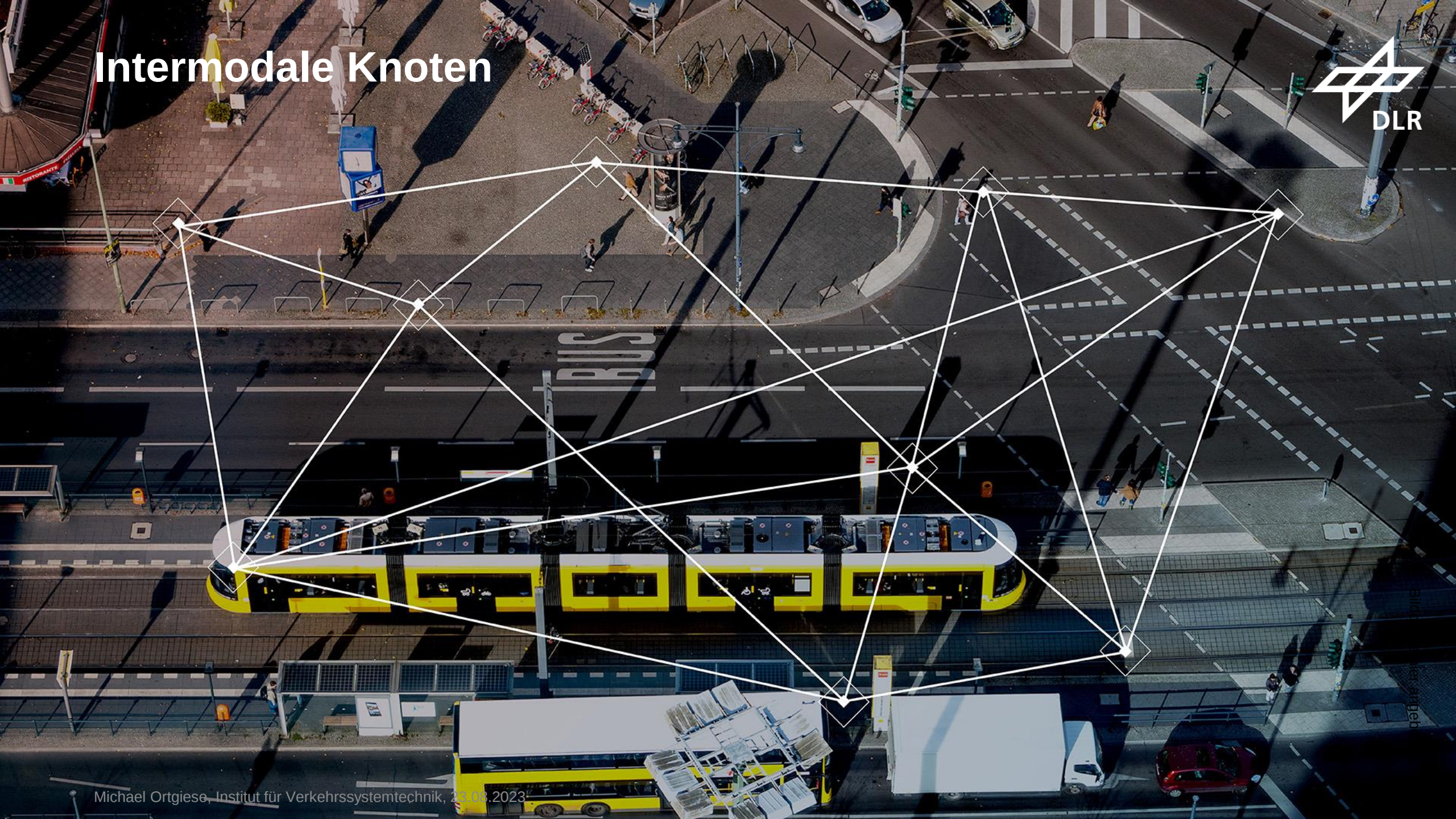
„Wir wollen die Wettbewerbsfähigkeit des Gesamtsystems Bahn stärken. Dafür betrachten wir Infrastruktur, Fahrzeug und Betrieb mit dem Menschen im Mittelpunkt.“

Methoden:

- Effiziente Erprobung und Zulassung digitaler Leit- und Sicherungstechnik
- Nutzer- und anforderungsgerechte Gestaltung von Arbeitsplätzen
- Lösungsansätze für betriebliche und wirtschaftliche Aspekte der Automatisierung
- Kapazitätsbewertung und Ermittlung der betrieblichen Resilienz
- Zustandsüberwachung und prädiktive Instandhaltung



Intermodale Knoten



Intermodale Knoten

„Wir entwickeln innovative Dienste zur Analyse und Optimierung künftiger Verkehrssysteme, indem wir mit einem Baukasten an Methoden und Werkzeugen die Nachhaltigkeit und Effizienz steigern.“

Methoden:

- Gestaltung des digitalen Verkehrssystems der Zukunft
- Entwicklung von Analyse- und Simulationswerkzeugen für komplexe Verkehrsnetze
- Entwicklung innovativer Verkehrsnetzsteuerungen und Bewertungsmethoden
- Demonstration prototypischer, auf Automation basierender multikriterieller Mobilitätsdienste



Mensch



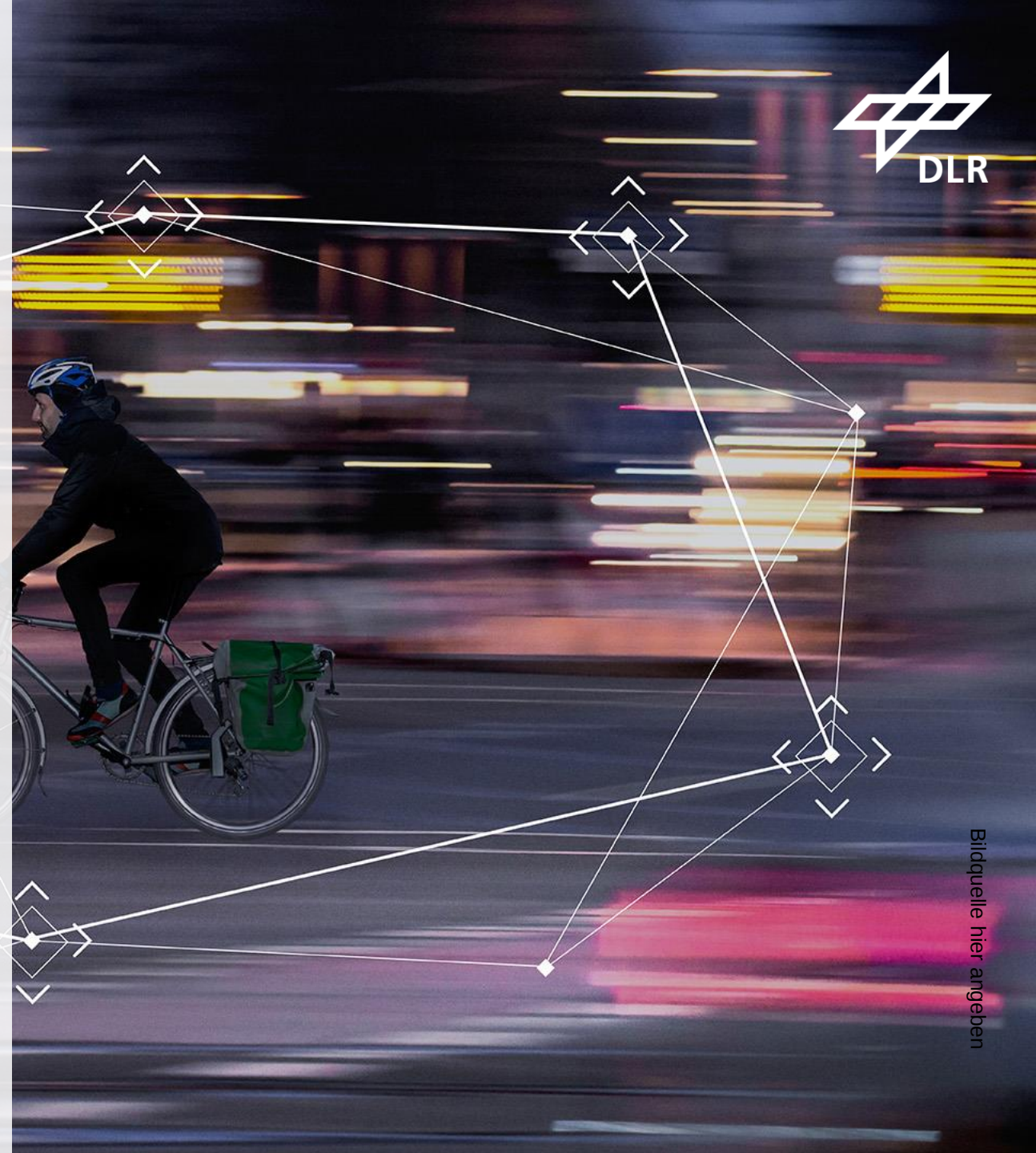
Bildquelle hier angeben

Mensch

„Wir analysieren den Menschen im Zentrum von Verkehr und Mobilität, um das Verkehrssystem durch anforderungsgerechte und menschenzentrierte Angebote und Konzepte sicherer und effizienter zu gestalten.“

Methoden:

- Analyse und Bewertung von Kooperation, Interaktion und Kommunikation
- Analyse von Informationsbedarfen
- Analyse von Nutzenden und Mitarbeitenden im ÖV
- Forschung zur User Experience
- Erforschung menschlicher Zustände und Leistungsfähigkeit
- Erstellung von Konzepten zur menschenzentrierten Systemgestaltung und Services



Flughafen

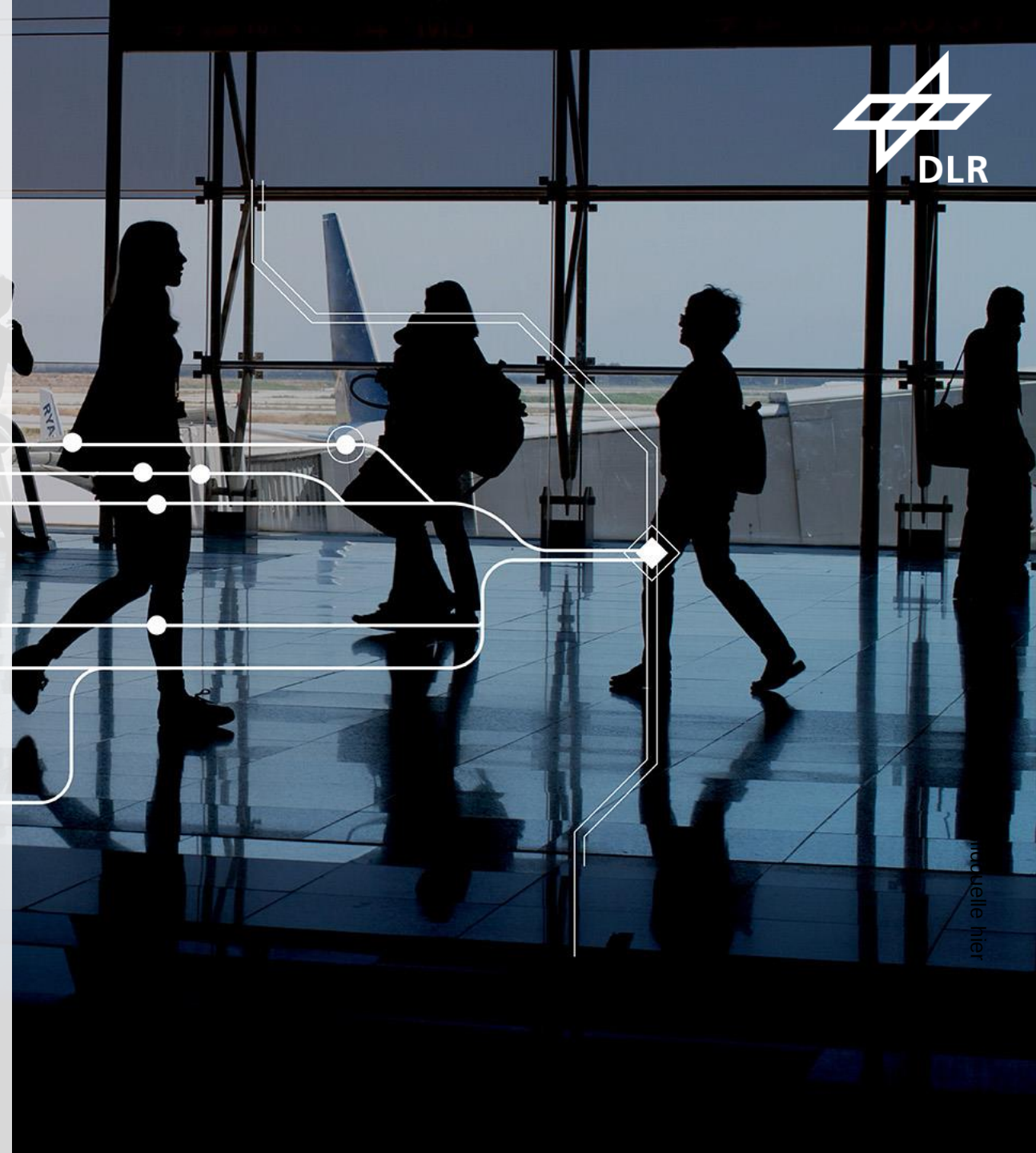


Flughafen

„Wir erforschen und optimieren Infrastrukturen, Prozesse und intermodale Schnittstellen am und um den Flughafen. Damit tragen wir dazu bei, die Wettbewerbsfähigkeit der Flughäfen zu verbessern sowie die Sicherheit und die Planbarkeit von Prozessen am Flughafen zu steigern.“

Methoden:

- Entwicklung digitaler Flughafen-Zwillinge
- Nutzung von Simulationen, Methoden der künstlichen Intelligenz, des Operations Research und systemtheoretischer Ansätze
- Realisierung und Demonstration in funktionellen Prototypen



Unsere Anlagen und Fahrzeuge



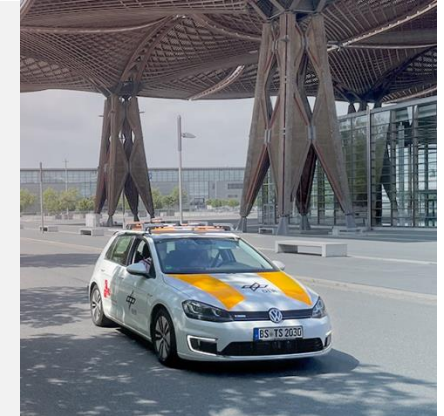
TESTFELD NIEDERSACHSEN

für das Testen und Validieren automatisierter Fahrfunktionen auf Autobahnen und in der Stadt



AUTONOME FAHRZEUGE

zur Erforschung von Automation, Nutzerzustandserfassung und der Analyse von Verkehrssituationen



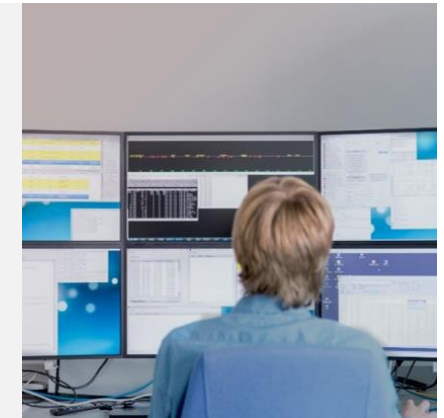
MOSAIC-LABOR

Koppelbare Simulatoren zur Erforschung von Kommunikation zwischen Verkehrsteilnehmern



RAILSITE

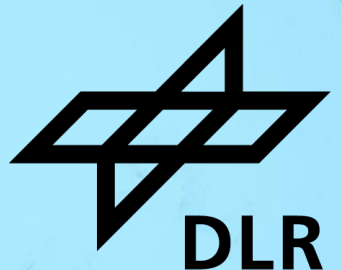
Zur Analyse von Leit- und Sicherungstechnik sowie von Betriebskonzepten



- Vorstellung DLR, Institut für Verkehrssystemtechnik
- Ausgangslage, Motivation und Projektziele
- Projektergebnisse
 - Stand der Technik
 - Systemarchitektur
 - Aufbau des Simulationsmodells
 - Szenariendefinition
- Simulationsergebnisse
- Ergebnisverwertung

ABSCHLUSSVERANSTALTUNG GREENVALUE

Ausgangslage, Motivation und Projektziele



Ausgangslage, Motivation und Projektziele



Gefördert durch:



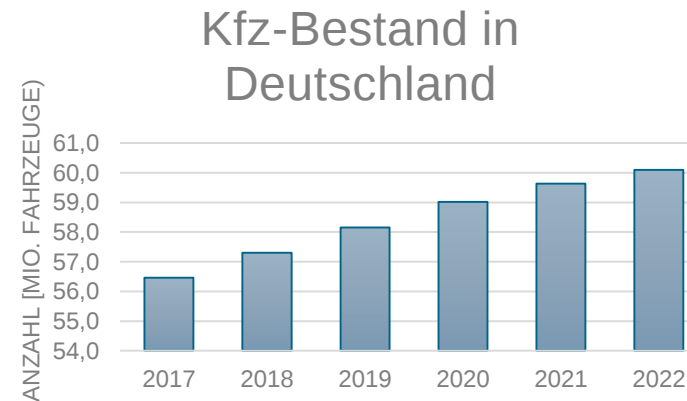
aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



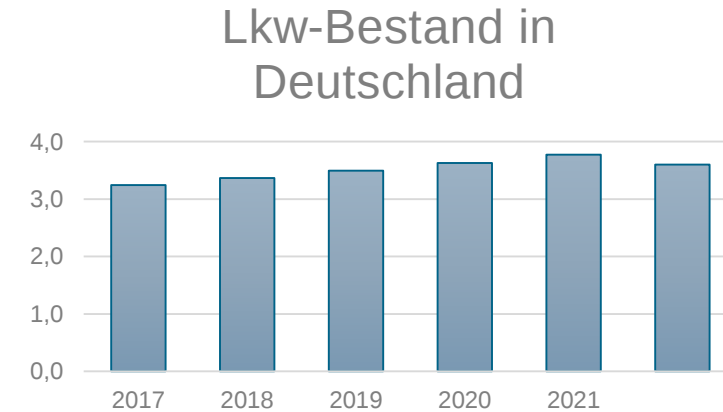
Ausgangslage, Motivation und Projektziele

■ Zukünftige Herausforderungen im Verkehr

- Hoher Raumbedarf, vor allem in Innenstädten, führt zu Nutzungskonflikten

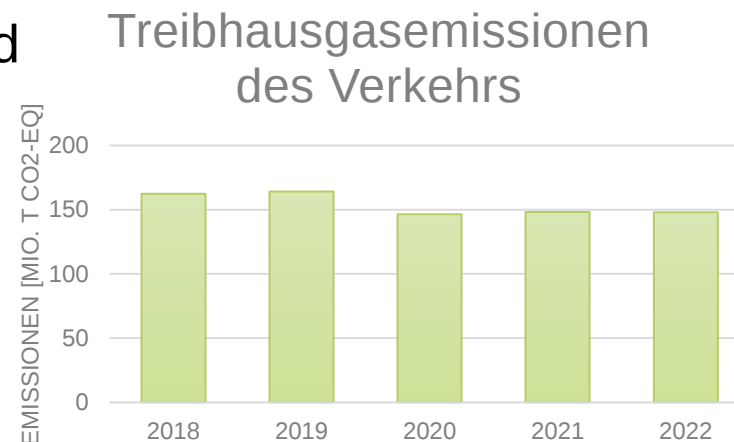


Quelle: KBA, letzter Zugriff 22.08.2023

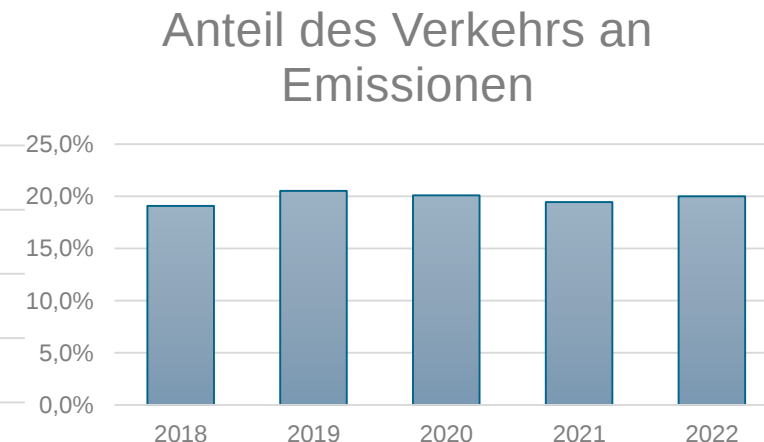


Quelle: KBA, letzter Zugriff 22.08.2023

- Zunehmender Kfz-Bestand und stagnierende Emissionen im Verkehrssektor



Quelle: UBA, letzter Zugriff 22.08.2023



Quelle: UBA, letzter Zugriff 22.08.2023

Ausgangslage, Motivation und Projektziele

- Zukünftige Rahmenbedingungen
 - Zunehmende Automatisierung und Vernetzung
 - Hohe Verfügbarkeit von Echtzeitdaten
 - Abnahme des Individualverkehrs, dafür Zunahme von Mobilitätsdiensten
 - Insgesamte Zunahme des Verkehrs zu erwarten



■ Projektziele

Konzeptionierung und Test eines dynamischen Managementsystems für automatisierten und vernetzten Verkehr

■ Projektziele

Konzeptionierung und Test eines dynamischen Managementsystems für automatisierten und vernetzten Verkehr

Vorgabe von Routen für
automatisierte, vernetzte Fahrzeuge
(AVF) zur Umsetzung von
Steuerungszielen

■ Projektziele

Konzeptionierung und Test eines dynamischen Managementsystems für automatisierten und vernetzten Verkehr

Vorgabe von Routen für
automatisierte, vernetzte Fahrzeuge
(AVF) zur Umsetzung von
Steuerungszielen

Koordinierung von Fahrmanövern
mit Slots

■ Projektziele

Konzeptionierung und Test eines dynamischen Managementsystems für automatisierten und vernetzten Verkehr

Vorgabe von Routen für automatisierte, vernetzte Fahrzeuge (AVF) zur Umsetzung von Steuerungszielen

Koordinierung von Fahrmanövern mit Slots

Wissensaufbau

Ausgangslage, Motivation und Projektziele

Existierende Arbeiten



- Dynamische Bepreisung im Verkehr ist in der Forschung ein weit verbreitetes Thema
 - Häufiger Fokus auf volkswirtschaftliche Wirkungen von Bepreisung auf makroskopischer Ebene
 - Intensive Beschäftigung mit diversen Bepreisungsfunktionen und -methoden
 - Verhaltensuntersuchungen zu Nutzerreaktion auf Preissetzungen
 - TU Berlin, ETH Zürich, TU Delft, University of Texas, ...
- Technische Betrachtungen sowie Ansätze im operativen Bereich sind nicht zu finden

Ausgangslage, Motivation und Projektziele

Wissenschaftliche Fragestellungen



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Kann dynamische Bepreisung als Werkzeug im operativen Verkehrsmanagement in einer Welt vernetzter und automatisierter Fahrzeuge eingesetzt werden?

Ausgangslage, Motivation und Projektziele

Wissenschaftliche Fragestellungen



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Kann dynamische Bepreisung als Werkzeug im operativen Verkehrsmanagement in einer Welt vernetzter und automatisierter Fahrzeuge eingesetzt werden?

Bietet dynamische Bepreisung eine bessere Lösung für Verkehrsproblemen wie Staus oder Emissionen als eine herkömmliche City Maut?

Ausgangslage, Motivation und Projektziele

Wissenschaftliche Fragestellungen



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Kann dynamische Bepreisung als Werkzeug im operativen Verkehrsmanagement in einer Welt vernetzter und automatisierter Fahrzeuge eingesetzt werden?

Bietet dynamische Bepreisung eine bessere Lösung für Verkehrsproblemen wie Staus oder Emissionen als eine herkömmliche City Maut?

Welche Bedarfe zum Informationsaustausch existieren bei einem auf dynamischen Preisen basierenden Verkehrsmanagement?

Ausgangslage, Motivation und Projektziele

Arbeitspakete



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



	AP 1 – Systemarchitektur eines Managementsystems f. automatisierten u. vernetzten Verkehr	AP 2 – Aufbau eines geeigneten Simulationsmodells	AP 3 – Szenariendefinition und Durchführung der Simulation	AP 4 – Bewertung der Simulationsergebnisse
Ziel	Die Systemarchitektur sowie die Kommunikationsbedarfe für das dyn. Verkehrsmanagementsystem sind definiert.	Das Simulationsmodell und der Quellcode des Managementsystems sind fertiggestellt.	Die Simulation wurde durchgeführt. Die Simulationsmitschnitte liegen als Log- und Ergebnisdateien vor.	Die Ergebnisse der Simulation sind kritisch diskutiert, bewertet und in einem Ergebnisbericht zusammengefasst.
Arbeitsschritte	- Definition von Stakeholdern - Identifikation von Informationsbedarfen und Kommunikationskanälen - Abgleich mit bestehenden V2X-Standards - Definition der Systemarchitektur	- Auswahl eines geeigneten Untersuchungsraums - Erstellung eines Infrastrukturmodells - Modellierung der Verkehrsnachfrage - Umsetzung des Managementsystems in Programmcode	- Definition von Simulationsszenarien - Durchführung der Simulation	- Geeignete Darstellung der Simulationsdaten - Diskussion und Bewertung der Ergebnisse

Ausgangslage, Motivation und Projektziele

Einbettung des Projekts in die Förderrichtlinie



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

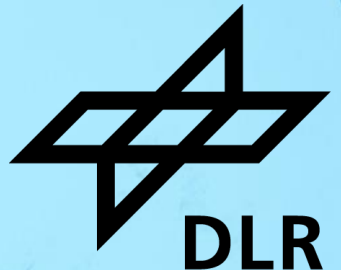


- Förderschwerpunkt „Datenbasierte Anwendungen“
 - Simulative Untersuchung von Use Cases für V2X-Daten
 - Zukünftige Einbettung in Smart-City-Konzept sinnvoll
- Themenbereiche des BMDV:
 - Integrierte und vernetzte Mobilität
 - Automatisierung, digitale Infrastruktur und digitale Innovation

- Vorstellung DLR, Institut für Verkehrssystemtechnik
- Ausgangslage, Motivation und Projektziele
- Projektergebnisse
 - Stand der Technik
 - Systemarchitektur
 - Aufbau des Simulationsmodells
 - Szenariendefinition
- Simulationsergebnisse
- Ergebnisverwertung

ABSCHLUSSVERANSTALTUNG GREENVALUE

Projektergebnisse - Stand der Technik



Stand der Technik

Verkehrsmanagement



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

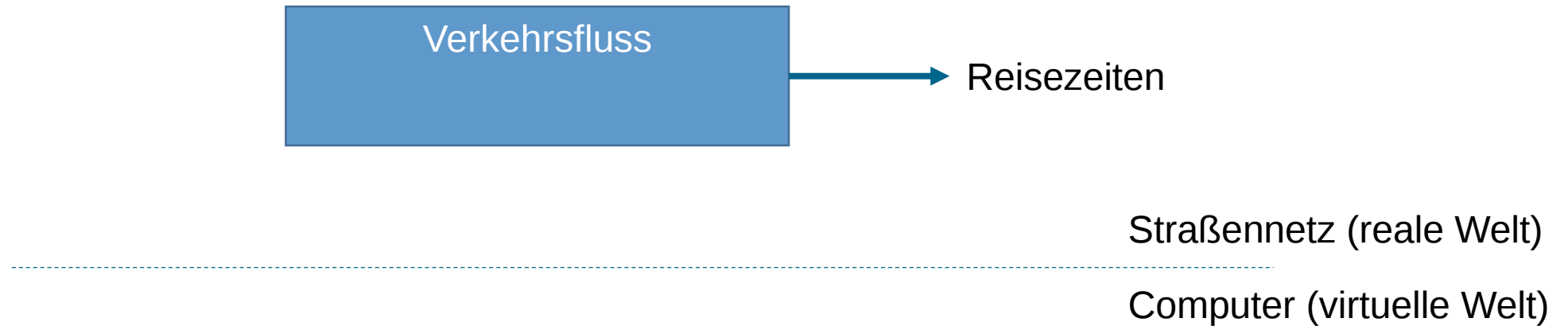


- Ziel: Beeinflussung des Verkehrs zur Umsetzung übergeordneter Steuerungsziele (z.B. Vermeidung von Staus)

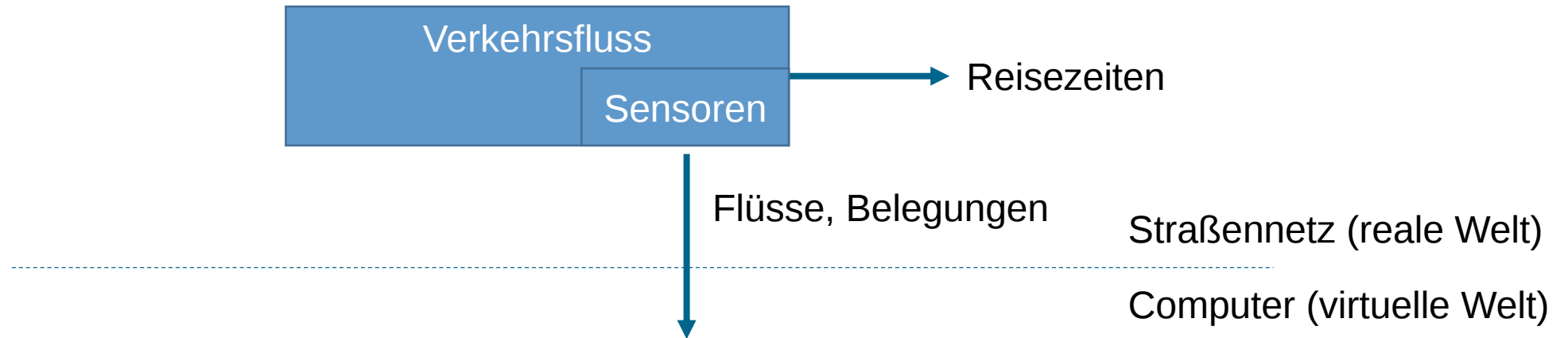
Straßennetz (reale Welt)

Computer (virtuelle Welt)

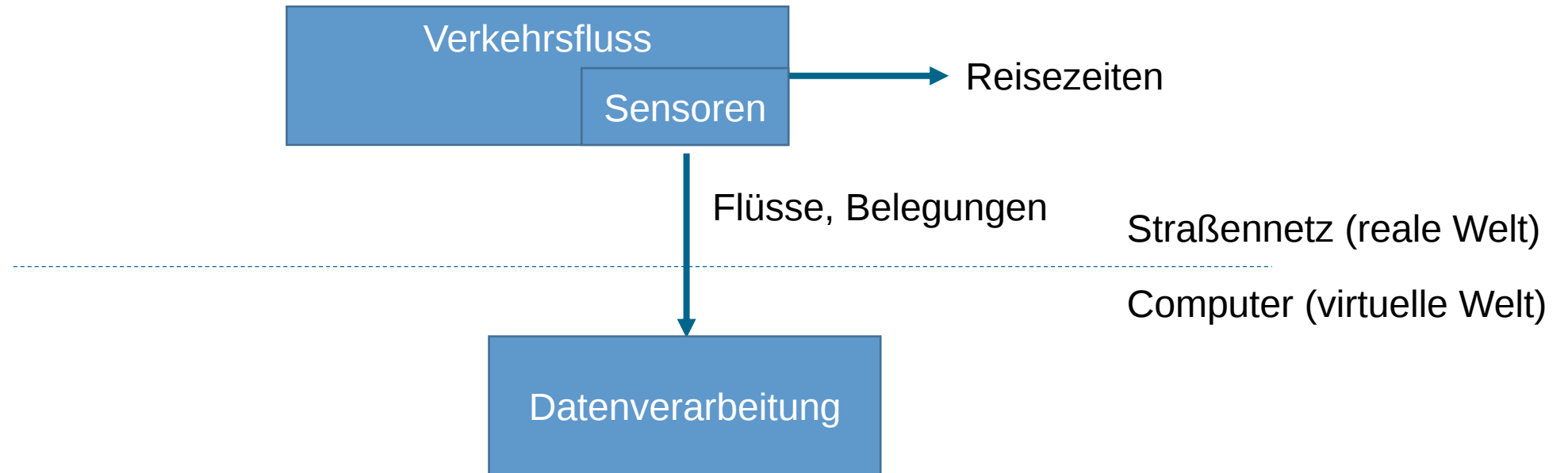
- Ziel: Beeinflussung des Verkehrs zur Umsetzung übergeordneter Steuerungsziele (z.B. Vermeidung von Staus)



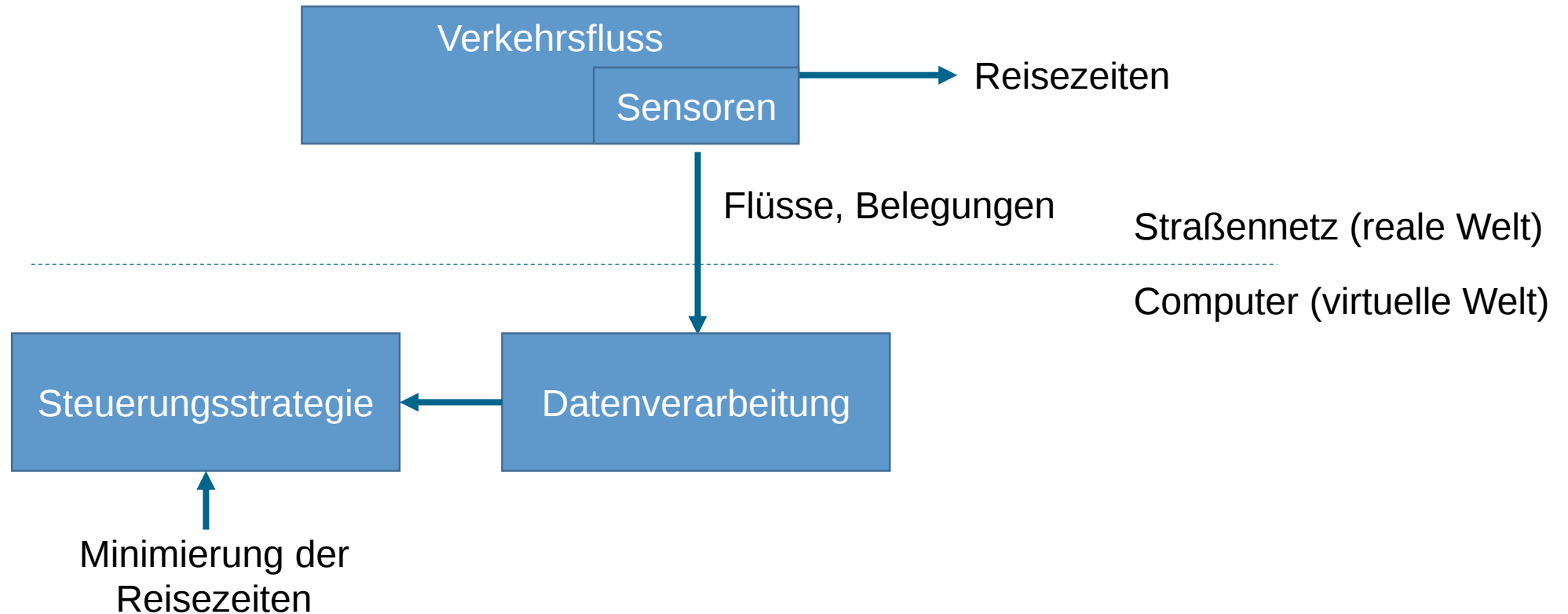
- Ziel: Beeinflussung des Verkehrs zur Umsetzung übergeordneter Steuerungsziele (z.B. Vermeidung von Staus)



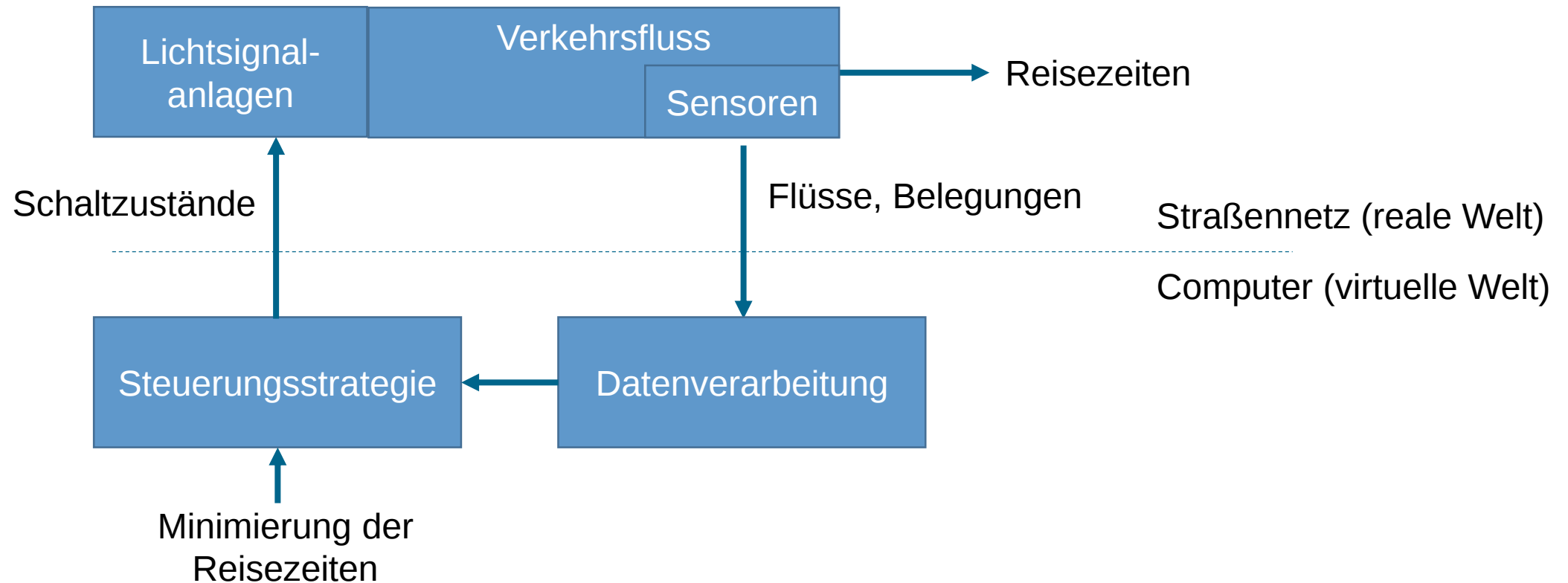
- Ziel: Beeinflussung des Verkehrs zur Umsetzung übergeordneter Steuerungsziele (z.B. Vermeidung von Staus)



- Ziel: Beeinflussung des Verkehrs zur Umsetzung übergeordneter Steuerungsziele (z.B. Vermeidung von Staus)

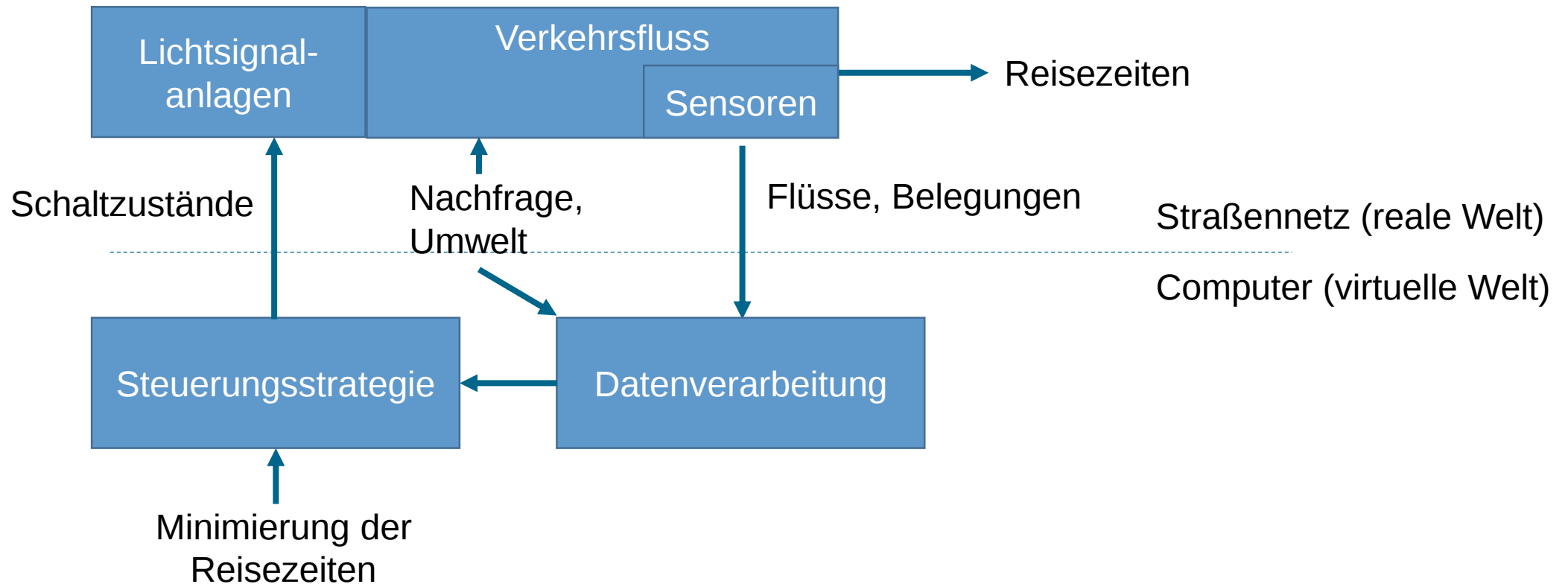


- Ziel: Beeinflussung des Verkehrs zur Umsetzung übergeordneter Steuerungsziele (z.B. Vermeidung von Staus)



Stand der Technik Verkehrsmanagement

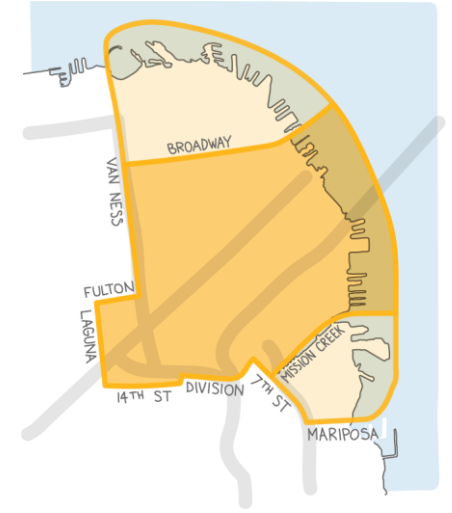
- Ziel: Beeinflussung des Verkehrs zur Umsetzung übergeordneter Steuerungsziele (z.B. Vermeidung von Staus)



Stand der Technik

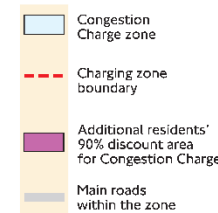
Bepreisung im Verkehr

- Festlegung von Gebühren für das Befahren der Straßeninfrastruktur
 - Festpreis
 - Fahrleistungsabhängig
 - Tageszeitabhängig
- Umsetzung langfristiger Steuerungsziele
 - Verlagerung
 - Vermeidung
- Praxisbeispiele
 - Lkw-Maut
 - City-Mauten, z.B. in San Francisco, Oslo, Stockholm und London



Quelle: SFCTA

Congestion
Charge area



Quelle: TfL

- Dynamische Bepreisung
 - Veränderliche Gebühr, z.B. abhängig von Tageszeit, Auslastung
 - Infrastrukturseitig eher „quasi-dynamische“ Ansätze mit peak-hour pricing üblich



Stand der Technik

Defizite



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



- Erhebung von Daten des fließenden Verkehrs meist nur punktuell möglich
 - Induktionsschleifen / Magnetfeldsensoren
 - Kameras
 - Radar
- Einflussnahme auf Verkehrsteilnehmer meist indirekt in Form von Empfehlungen
- Dynamische Steuerungsmaßnahmen nur mit hohem Aufwand umsetzbar

Stand der Technik Vision



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



- Erhebung von Daten des fließenden Verkehrs meist nur punktuell möglich

- Induktionsschleifen / Magnetfeldsensoren
- Kameras
- Radar

→ Vernetzung (Vehicle-to-Everything)

- Einflussnahme auf Verkehrsteilnehmer meist indirekt in Form von Empfehlungen
- Dynamische Steuerungsmaßnahmen nur mit hohem Aufwand umsetzbar

Stand der Technik Vision



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



- Erhebung von Daten des fließenden Verkehrs meist nur punktuell möglich

- Induktionsschleifen / Magnetfeldsensoren
- Kameras
- Radar

→ Vernetzung (Vehicle-to-Everything)

- Einflussnahme auf Verkehrsteilnehmer meist indirekt in Form von Empfehlungen

→ Automatisierung und Vernetzung

- Dynamische Steuerungsmaßnahmen nur mit hohem Aufwand umsetzbar

Stand der Technik Vision



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



- Erhebung von Daten des fließenden Verkehrs meist nur punktuell möglich

- Induktionsschleifen / Magnetfeldsensoren
- Kameras
- Radar

→ Vernetzung (Vehicle-to-Everything)

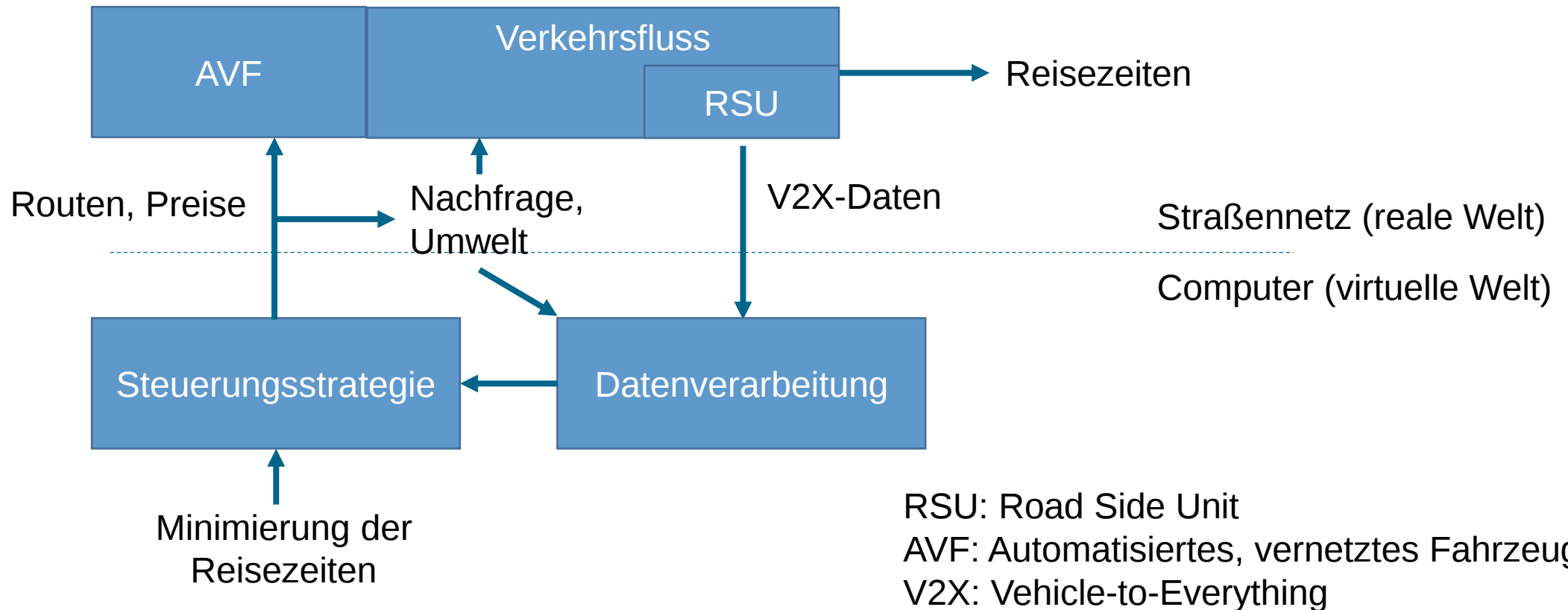
- Einflussnahme auf Verkehrsteilnehmer meist indirekt in Form von Empfehlungen

→ Automatisierung und Vernetzung

- Dynamische Steuerungsmaßnahmen nur mit hohem Aufwand umsetzbar

→ Hochdynamische Bepreisung und Verwendung von Slots

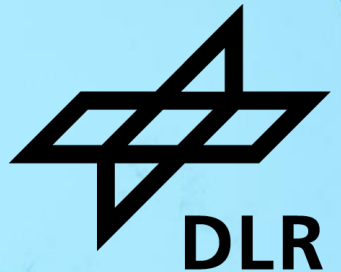
Stand der Technik Vision



- Vorstellung DLR, Institut für Verkehrssystemtechnik
- Ausgangslage, Motivation und Projektziele
- Projektergebnisse
 - Stand der Technik
 - Systemarchitektur
 - Aufbau des Simulationsmodells
 - Szenariendefinition
- Simulationsergebnisse
- Ergebnisverwertung

ABSCHLUSSVERANSTALTUNG GREENVALUE

Projektergebnisse - Systemarchitektur



- Konzeptionierung des Managementsystems
 - Identifikation von Akteuren
 - Informationsbedarfe / Informationsangebote
 - Informationskanäle
- Betrachtung von Vehicle-to-Everything (V2X) als mögliche Kommunikationstechnologie
- Slot-basierte Verkehrssteuerung

Systemarchitektur

Identifikation von Akteuren



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



	Kunden (Privatnutzer, Unternehmen, Mobilitätsdienstleister)	Betreiber des dynamischen Managementsystems	Öffentliche Hand (Betreiber von Infrastruktur und Verkehrsbehörde)
Rolle	Nutzer der Verkehrsinfrastruktur oder einer Mobilitätsdienstleistung	Betrieb des dynamischen Verkehrsmanagements und seiner Subsysteme	Auftraggeber und Finanzgeber des Verkehrsmanagements
Ziele	- Schnelle Verbindung zwischen Start- und Zielort - Wenig Zeitverlust durch Stau - Geringe Kosten	- Gleichgewicht zwischen Verkehrsnachfrage und -angebot herstellen - Operative Kosten gering halten	- Reduktion von negativen Effekten des Verkehrs (z.B. Stau, Emissionen) - Erhalt bestehender Infrastruktur ohne übermäßigen Neubau - Kostengünstiger Betrieb
Möglichkeiten der Einflussnahme	Auswahl der individuellen Route	Verteilung der Nutzer auf Routen	- Festlegung von Kapazitäten für Infrastrukturelemente - Ausbau / Sperrung von Infrastruktur - Vorgabe von strategischen Zielen

Systemarchitektur

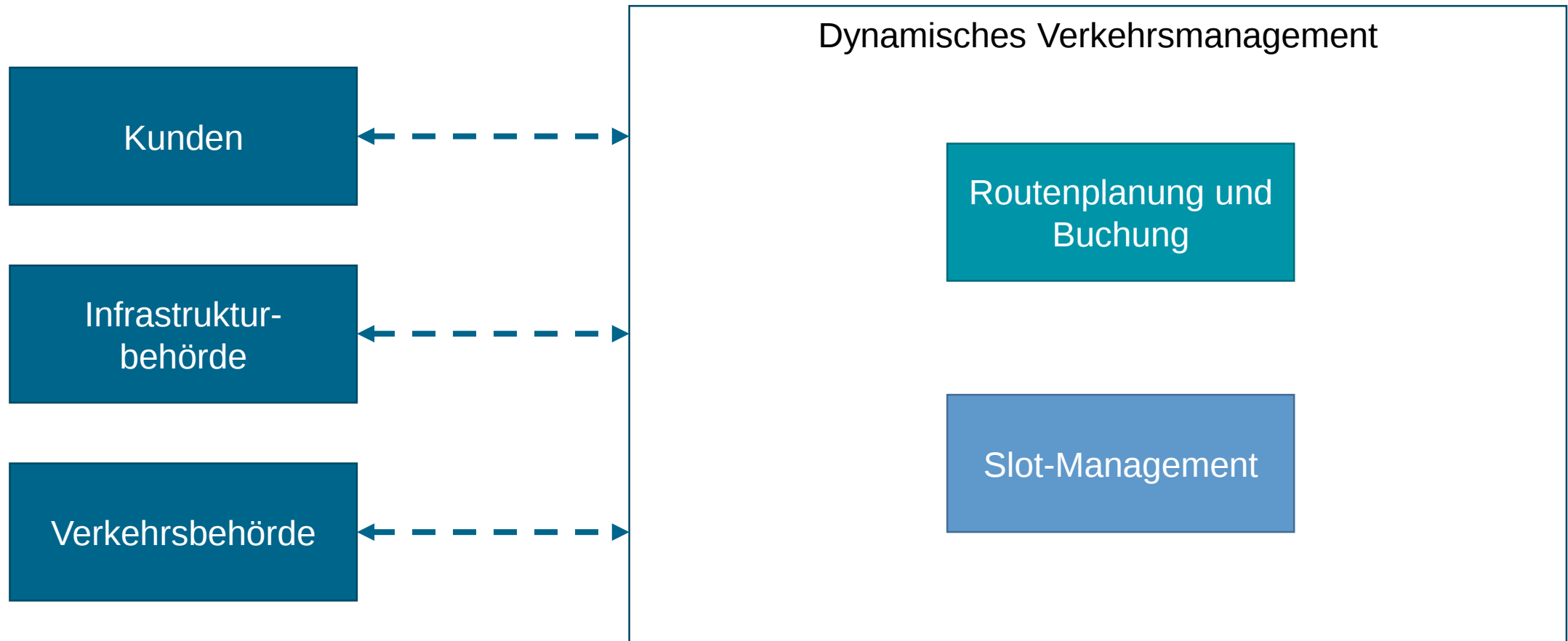
Konzeptionierung des Managementsystems



Gefördert durch:

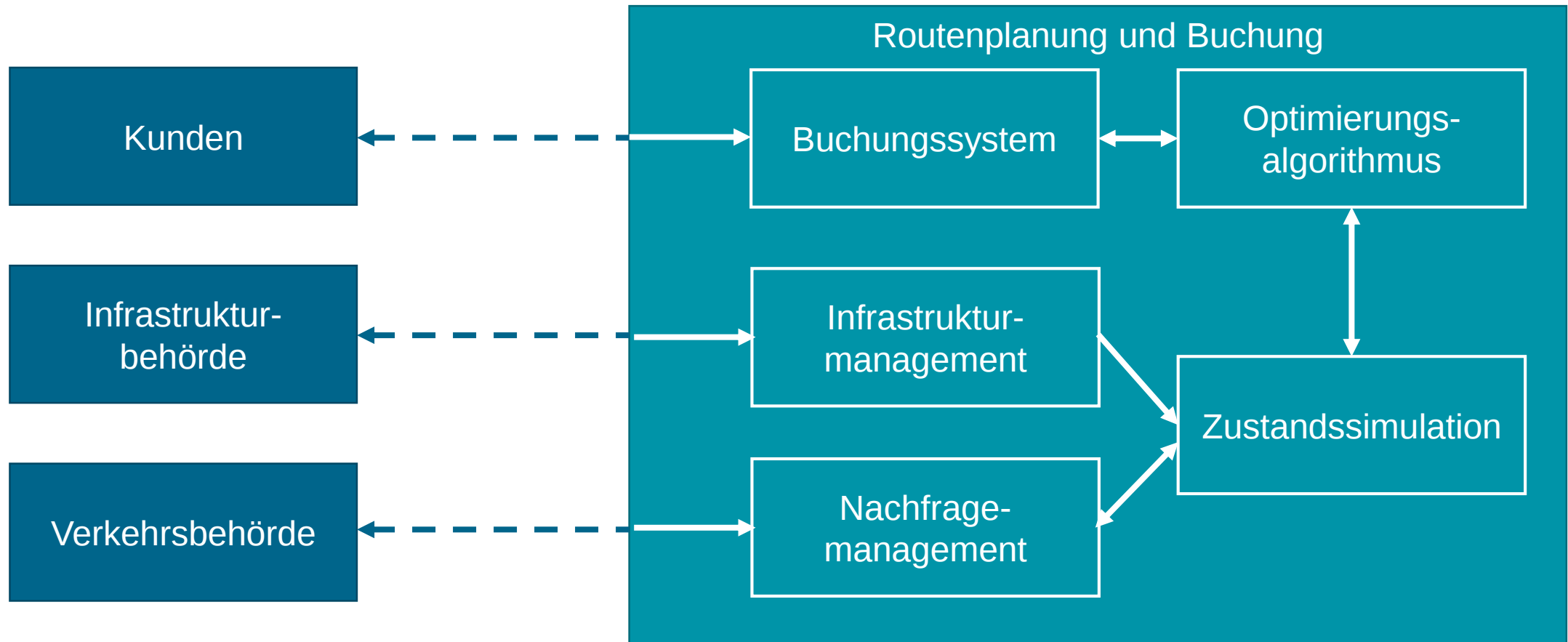


aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



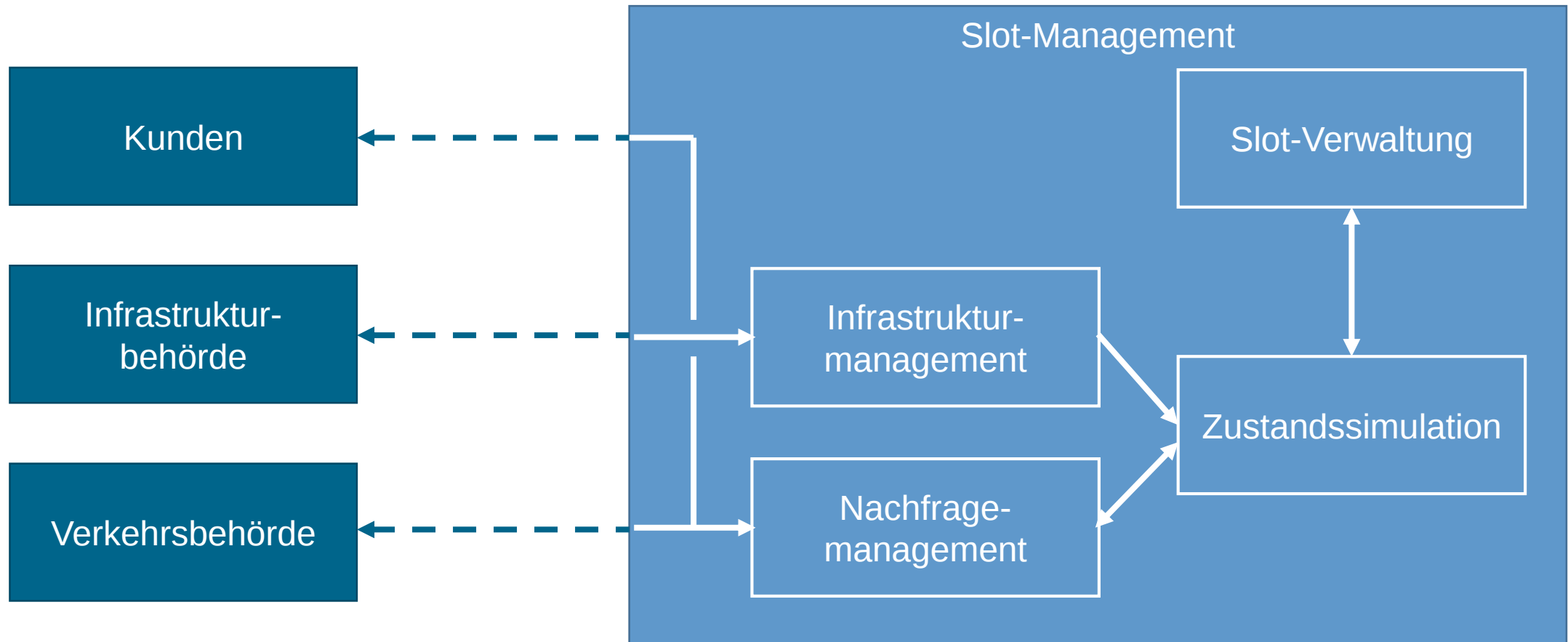
Systemarchitektur

Konzeptionierung des Managementsystems



Systemarchitektur

Konzeptionierung des Managementsystems



Systemarchitektur

Informationsbedarfe / -angebote



Gefördert durch:

 Bundesministerium
 für Verkehr und
 digitale Infrastruktur
 aufgrund eines Beschlusses
 des Deutschen Bundestages



Stakeholder	Bereitzustellende Informationen	Benötigte Informationen
Nutzer	Start- / Zielpositionen Gewünschte Ankunftszeit Aktuelle Fahrzeugpositionen Fahrzeuggeschwindigkeiten	Routen Kosten Trajektorien Topologie
Dynamisches Verkehrsmanagement	Routen Kosten Trajektorien	Start- / Zielpositionen Aktuelle Fahrzeugpositionen Fahrzeuggeschwindigkeiten Allgemeine Verkehrslage Infrastrukturdaten Steuerungsziele
Öffentliche Hand	Steuerungsziele Infrastrukturdaten Verkehrslage	Dynamische Verkehrsdaten

Systemarchitektur Vehicle-to-Everything (V2X)



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



- Hochfrequenter Informationsaustausch zur lokalen Koordinierung von Fahrzeugen untereinander und von Fahrzeugen mit der Infrastruktur
- Input für Nachrichten häufig aus Sensordaten von Fahrzeugen
- „Offline-“Austausch im Vorfeld von Fahrten nicht vorgesehen
- Fragestellungen:
 - Zu welchem Zeitpunkt werden Informationen zwischen den Stakeholdern ausgetauscht?
 - Mit welchen existierenden Standards können diese Informationen übermittelt werden?



Systemarchitektur

V2X – Abgleich zw. Informationen und Standards



Information	Zeitpunkt der Übermittlung	ETSI Nachrichtentypen
Aktuelle Fahrzeugposition Fahrzeuggeschwindigkeit	On trip	CAM (Nutzer) IVIM (System)
Topologie	On trip	MAPEM (System) SPATEM (System)
Trajektorien	On trip	MCM (System)
Start- / Zielpositionen Gewünschte Ankunftszeit	Off trip	-
Routenempfehlungen mit Kosten	Off trip & on trip	-

CAM: Cooperative Awareness Message
 IVIM: Infrastructure to Vehicle Information Message
 MAPEM: Map Data (Straßentopologie)
 MCM: Maneuver Coordination Message
 SPATEM: Signal Phase and Timing

Systemarchitektur

V2X – Mögliche Erweiterungen des Standards



Gefördert durch:
 Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur
aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



- Großteil der Informationsbedarfe wird mit existierenden V2X-Nachrichten abgedeckt
- Off-Trip-Nachrichten nicht im Standard vorgesehen und nicht zweckmäßig
- Keine Nachrichten für on-trip Routenempfehlungen mit Preisen explizit im Standard vorgesehen

Systemarchitektur

Slot-basiertes Verkehrsmanagement

- „Konventionelle“ Kooperation
 - Fahrzeugführer handeln (kooperative) Fahrmanöver unter Einhaltung existierender Regeln und gegenseitiger Rücksichtnahme untereinander aus
 - Je höher die Verkehrsdichte, desto ineffizienter funktioniert die Aushandlung → Stau



Quelle: Presseportal, Ersteller: © ACE | Credit: ACE Auto Club Europa

Systemarchitektur

Slot-basiertes Verkehrsmanagement

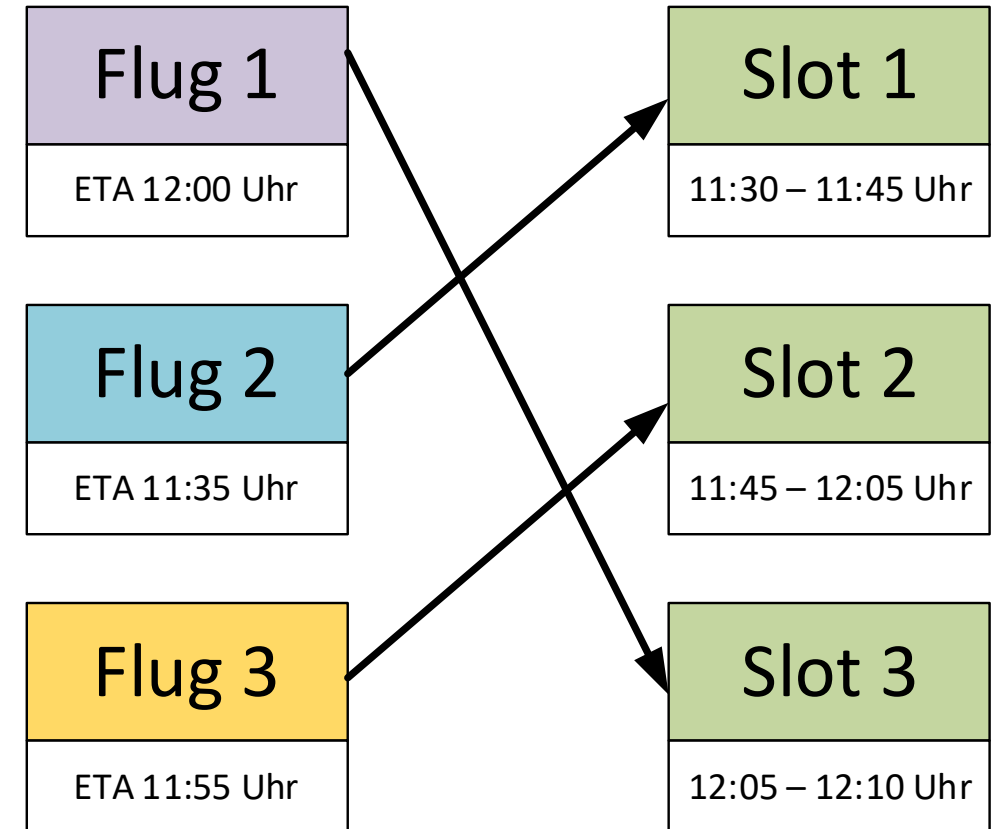
- Automatisierte Kooperation
 - Automatisierte Fahrzeuge lösen Abstimmung von Fahrmanövern algorithmisch und über Vernetzung
 - Nach welchen Kriterien werden Reihenfolgen für Fahrmanöver festgelegt?
 - Lassen sich existierende Regeln und menschliches Verhalten nachbilden oder sogar verbessern?
- Lösung: zentral organisierte Zuteilung von Straßenraum durch Slots



Systemarchitektur

Slot-basiertes Verkehrsmanagement

- Slots im Flugverkehr
 - Mittel zur Zuteilung von unzureichenden Kapazitäten an Flughäfen
 - Voraussetzung zur Nutzung der Flughafeninfrastruktur
 - Festlegung von Slots anhand des Ankunfts- und Abflugzeitpunkts
 - Bindung an Zeitpunkte und Nutzungsarten von Slots

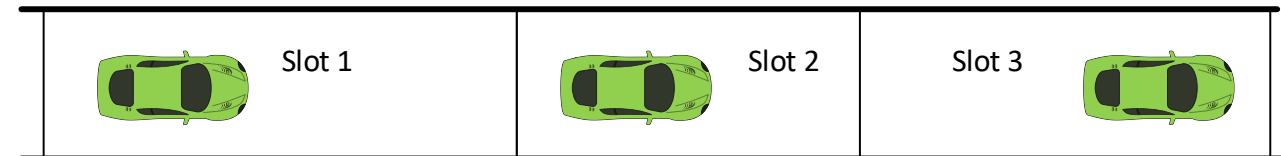


Systemarchitektur

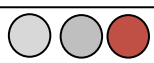
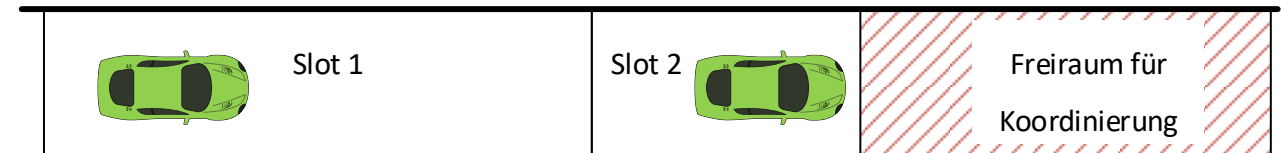
Slot-basiertes Verkehrsmanagement

■ Was ist ein Slot im Straßenverkehr?

- Erlaubnis zum alleinigen Befahren eines bestimmten Straßenquerschnitts zu einem bestimmten Zeitpunkt für ein Fahrzeug



- Organisation von Fahrzeugen zur optimalen Ausnutzung der Infrastruktur



■ Gewichtung von Slots

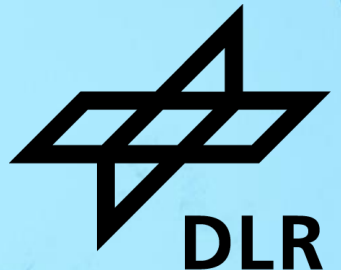
- Sonder-Slots für öffentlichen Verkehr oder BOS-Fahrzeuge



- Vorstellung DLR, Institut für Verkehrssystemtechnik
- Ausgangslage, Motivation und Projektziele
- Projektergebnisse
 - Stand der Technik
 - Systemarchitektur
 - Aufbau des Simulationsmodells
 - Szenariendefinition
- Simulationsergebnisse
- Ergebnisverwertung

ABSCHLUSSVERANSTALTUNG GREENVALUE

Projektergebnisse - Aufbau des Simulationsmodells



Aufbau des Simulationsmodells

Inhalte

- Auswahl eines Untersuchungsgebiets
- Erstellung des Infrastrukturmodells
- Erzeugung der Verkehrsnachfrage
- Programmierung des Managementsystems



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Aufbau des Simulationsmodells

Auswahl eines Untersuchungsgebiets



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



- **Kriterien für Untersuchungsgebiet**
 - Urbaner Raum
 - Verkehrsmengen mit Simulation handelbar, relevante Verkehrsmengen, die ein Management rechtfertigen
 - Hohe Verfügbarkeit von Eingangsdaten

71

-
- A diagram of a green gear-like shape. Inside the gear, there is a white rectangular box containing the text "28.000". A yellow curved arrow starts from the left side of this box and loops back to its right side, representing a self-loop. To the right of the gear, there are two yellow arrows. The top arrow points away from the gear to the right and is labeled "38.000". The bottom arrow points towards the gear from the right and is labeled "67.000".

Daniel Wesemeyer, Institut für Verkehrssystemtechnik, 23.08.2023

Aufbau des Simulationsmodells

Simulationstools



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



- Anforderungen:
 - Darstellung einzelner Fahrzeuge
 - Erhebung von Fahrzeugdaten und Einflussnahme auf Fahrzeuge zur Laufzeit
 - Rechenzeittechnisch effizient

Aufbau des Simulationsmodells

Simulationstools



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



- Anforderungen:
 - Darstellung einzelner Fahrzeuge
 - Erhebung von Fahrzeugdaten und Einflussnahme auf Fahrzeuge zur Laufzeit
 - Rechenzeittechnisch effizient
- SUMO
 - Mikroskopische Verkehrssimulation
 - Interaktion mit Objekten über Programmierschnittstelle TraCI (Traffic Control Interface)
- TAPAS
 - Erstellung von Tagesplänen für Agenten (Aktivitäten und Ortsveränderungen)
 - Datengrundlage MiD



SUMO
SIMULATION OF URBAN MOBILITY



Aufbau des Simulationsmodells

Erstellung des Infrastrukturmodells

- Erstellung des Simulationsnetzes mittels OSM Web Wizard
- Händische Nachbearbeitungen und Korrekturen an Kanten, Kreuzungen und LSAs
- Keine Implementierung realer LSA-Steuerungen



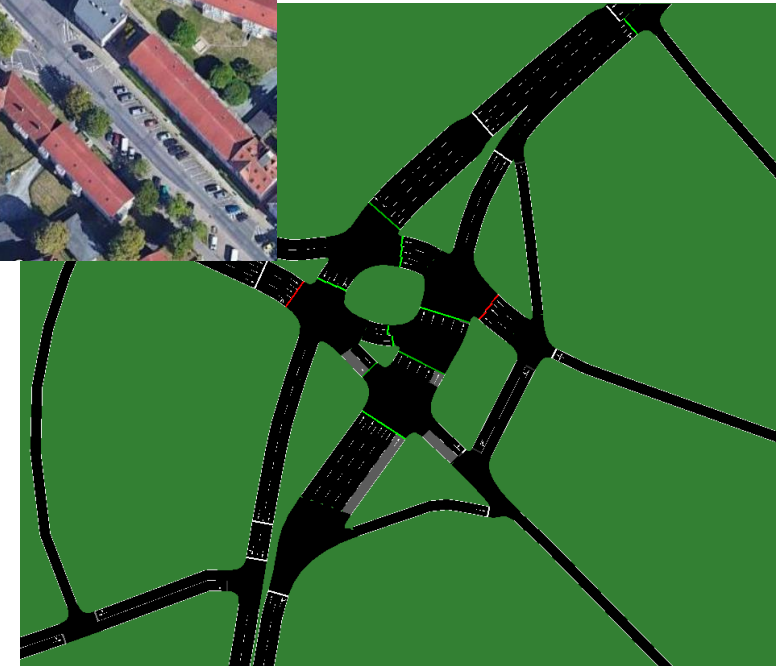
Aufbau des Simulationsmodells

Erstellung des Infrastrukturmodells

- Erstellung des Simulationsnetzes mittels OSM Web Wizard
- Händische Nachbearbeitungen und Korrekturen an Kanten, Kreuzungen und LSAs
- Keine Implementierung realer LSA-Steuerungen



Quelle: Google Maps



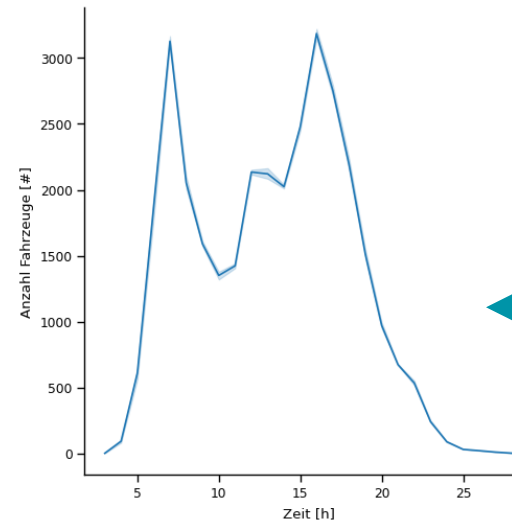
Aufbau des Simulationsmodells

Erzeugung der Verkehrsnachfrage



Agenten-
Tagespläne

TAPAS-
SUMO-
Kopplung



Fahrten



Aufbau des Simulationsmodells

Erzeugung der Verkehrsnachfrage



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



- Fahrzeugtypen
 - Betrachtung verschiedener Ausstattungsraten für automatisierte, vernetzte Fahrzeuge (AVF) im Mischverkehr
- Annahmen in der Parametrisierung
 - AVF fahren gleichmäßiger als konventionelle Fahrzeuge (keine Schwankungen in der Geschwindigkeit)
 - AVF „trödeln“ nicht (perfektes Beharren bei zulässiger Höchstgeschwindigkeit)

Aufbau des Simulationsmodells

Erzeugung der Verkehrsnachfrage



Gefördert durch:



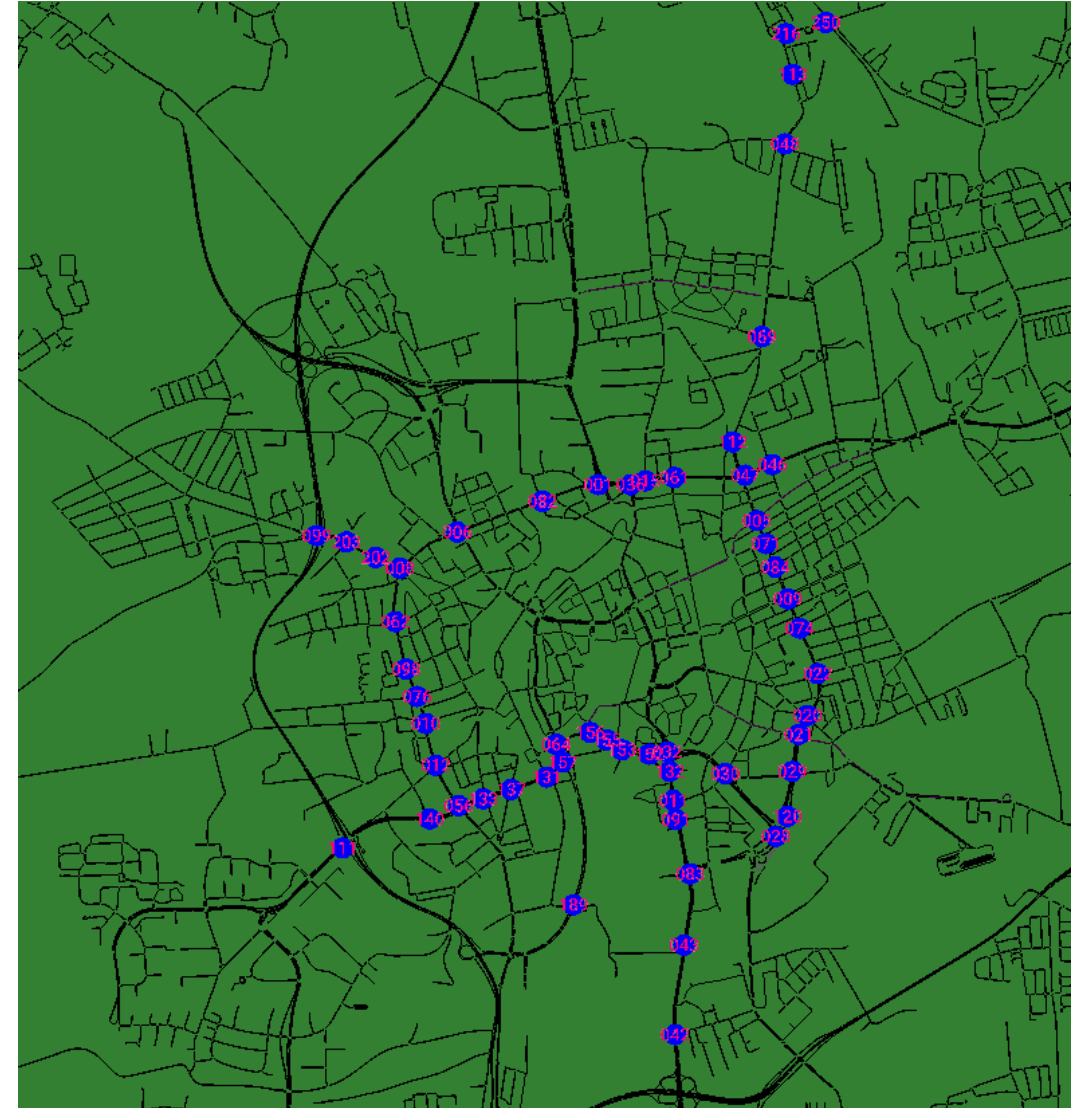
aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



- Verhaltensmodell
 - Jeder Nutzer vergleicht die Kosten der vorgeschlagenen Route mit der eigenen Zahlungsbereitschaft
 - Annahme von Routen, wenn eigene Zahlungsbereitschaft höher ist als die Kosten
 - Keine Betrachtung von Modusänderung

Aufbau des Simulationsmodells V2X-Modellierung

- Keine explizite Betrachtung der Kommunikationsprozesse
 - Zu aufwändig für gegebene Nachfrage
- Vereinfachte Modellierung in SUMO
 - Road Side Units an LSAs
 - Erhebung von Daten vernetzter Fahrzeuge an RSUs
 - Begrenzung der Empfangsreichweiten



Aufbau des Simulationsmodells

Programmierung des Managementsystems



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

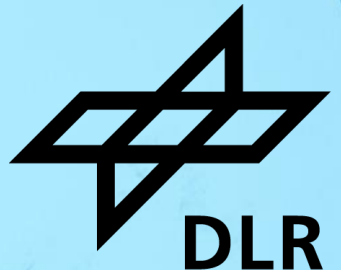


- Design und Konzept der Software-Module anhand der erhobenen Anforderungen
- Programmierung in Python
 - 1800 Zeilen Code
- Anbindung an die Verkehrssimulation über TraCI (**T**raffic **C**ontrol **I**nterface)
- Testmodule
- Versionierung und Deployment-Prozess über GitLab

- Vorstellung DLR, Institut für Verkehrssystemtechnik
- Ausgangslage, Motivation und Projektziele
- Projektergebnisse
 - Stand der Technik
 - Systemarchitektur
 - Aufbau des Simulationsmodells
 - Szenariendefinition
- Simulationsergebnisse
- Ergebnisverwertung

ABSCHLUSSVERANSTALTUNG GREENVALUE

Projektergebnisse - Szenariendefinition



Szenariendefinition

Ziele

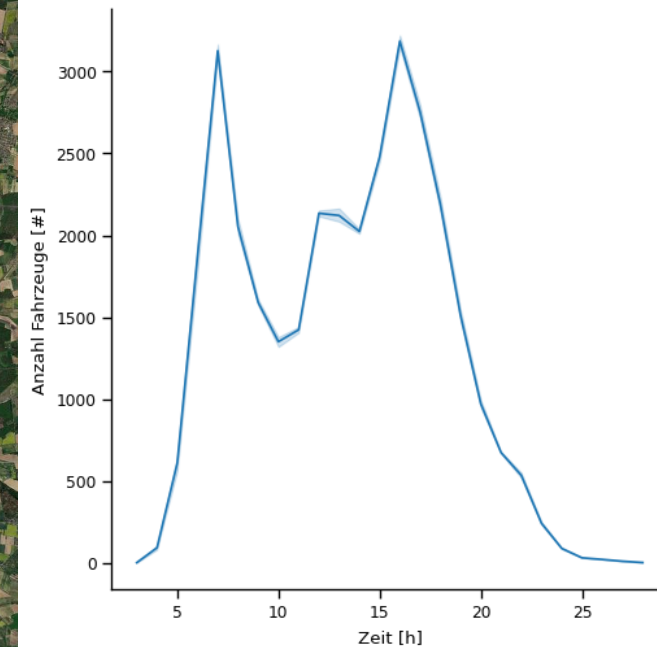
- Untersuchung der Auswirkungen der dynamischen Bepreisung auf die Routenverteilung
- Messung der Auswirkungen der Bepreisung auf
 - Reisezeiten
 - Verlustzeiten
 - CO₂-Emissionen
- Untersuchung der Auswirkungen des Slot-Managements
- Erwartete Einsparpotentiale zwischen 10 – 25%
- Allerdings:
 - Slots lassen sich nicht effizient großräumig darstellen
→ Trennung zwischen makroskopischer und mikroskopischer Ebene



Szenariendefinition

Makroskopisches Szenario

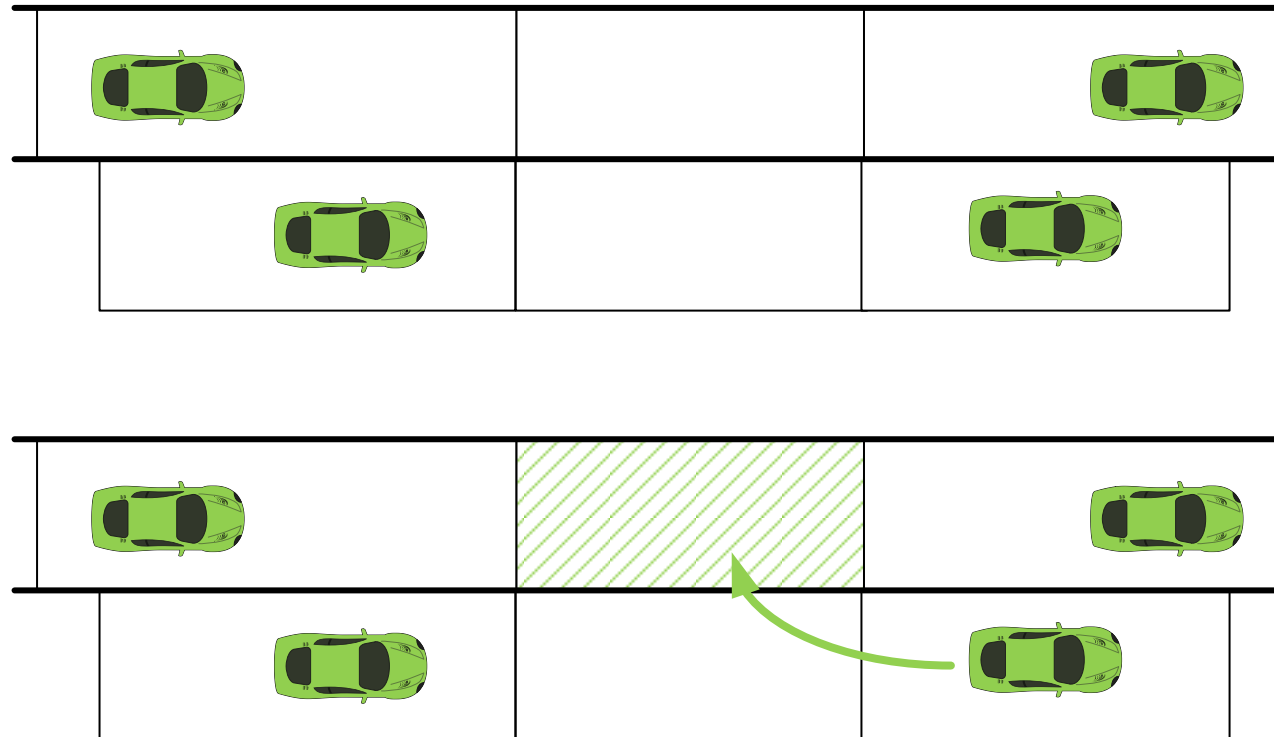
- Simulation des Braunschweiger Stadtgebiets
- Werktäglicher motorisierter Verkehr über einen simulierten Tag
- Drei Bepreisungsszenarien
 - Basisfall ohne Bepreisung
 - City-Maut
 - GreenValue-System



Szenariendefinition

Mikroskopisches Szenario

- Steuerungsverfahren 1: Einfädeln in existierende Lücken



Szenariendefinition

Mikroskopisches Szenario



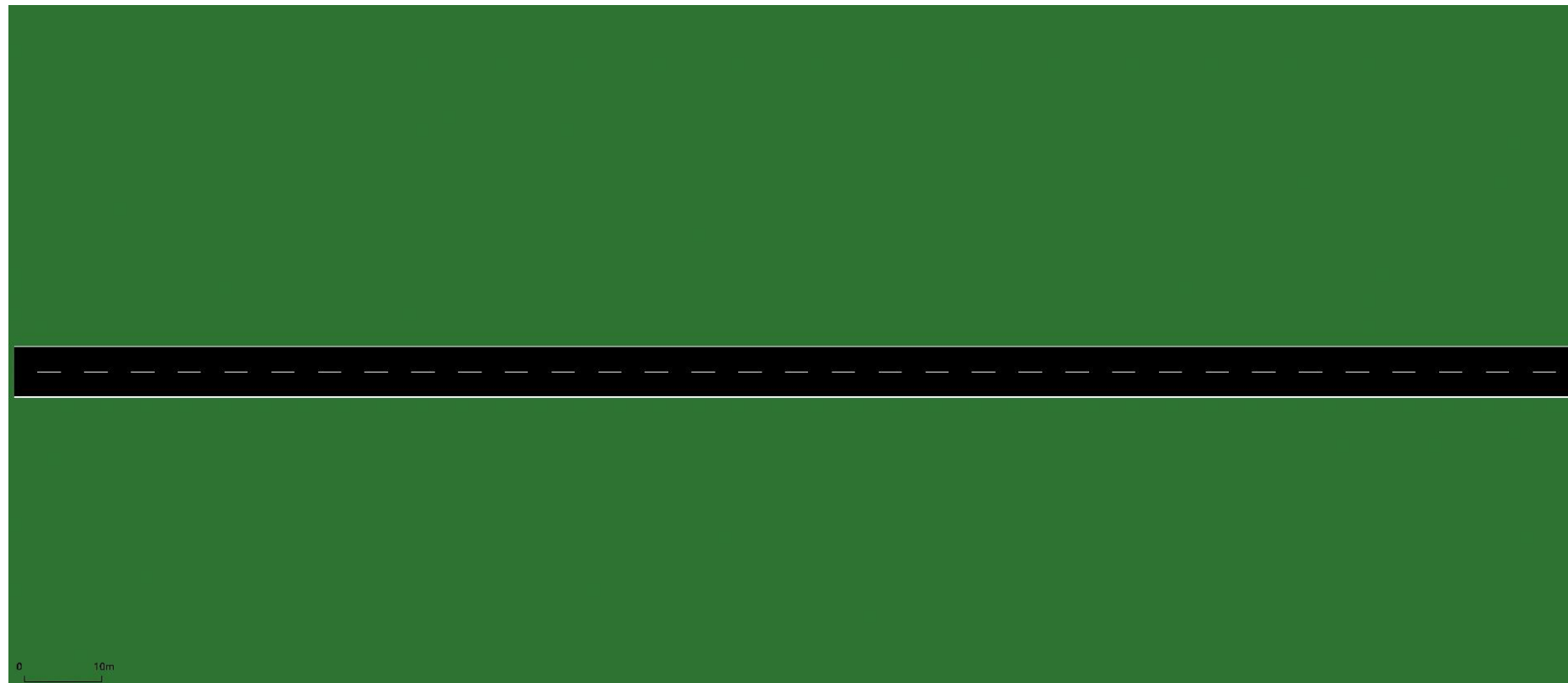
Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



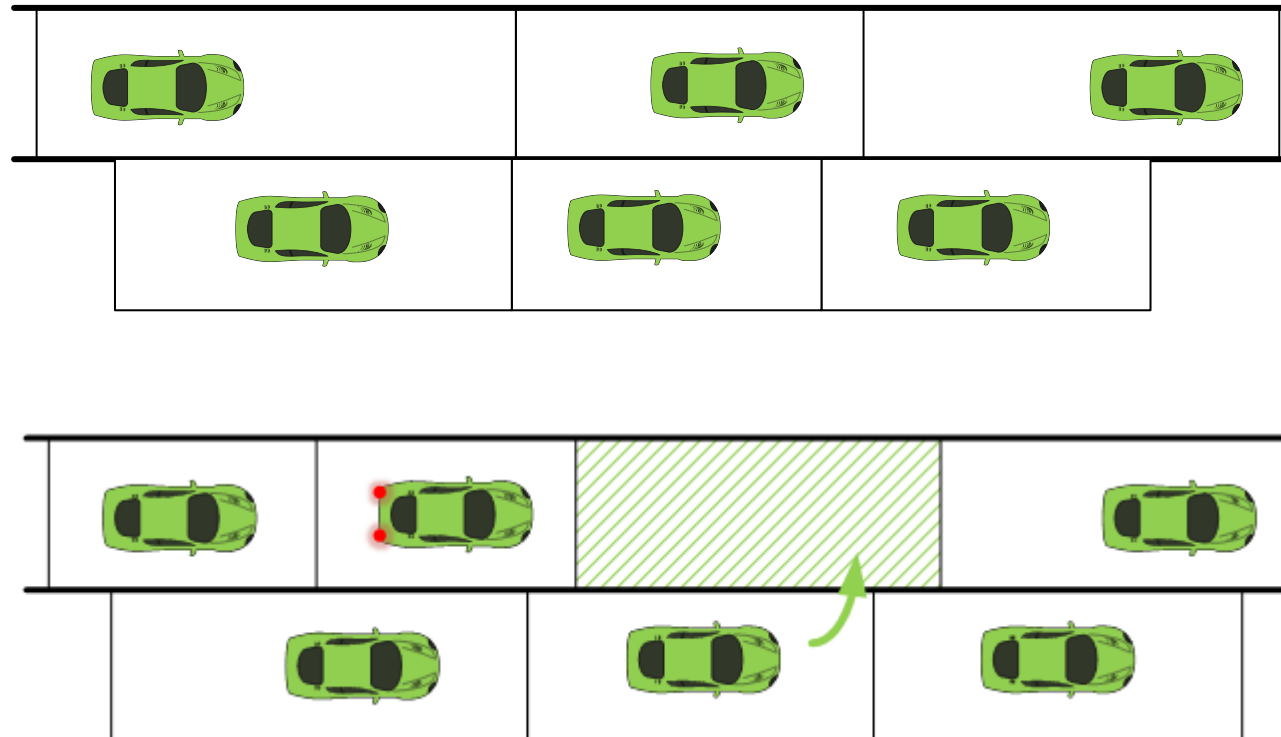
- Steuerungsverfahren 1: Einfädeln in existierende Lücken



Szenariendefinition

Mikroskopisches Szenario

Steuerungsverfahren 2: Öffnen von Lücken



Szenariendefinition

Mikroskopisches Szenario



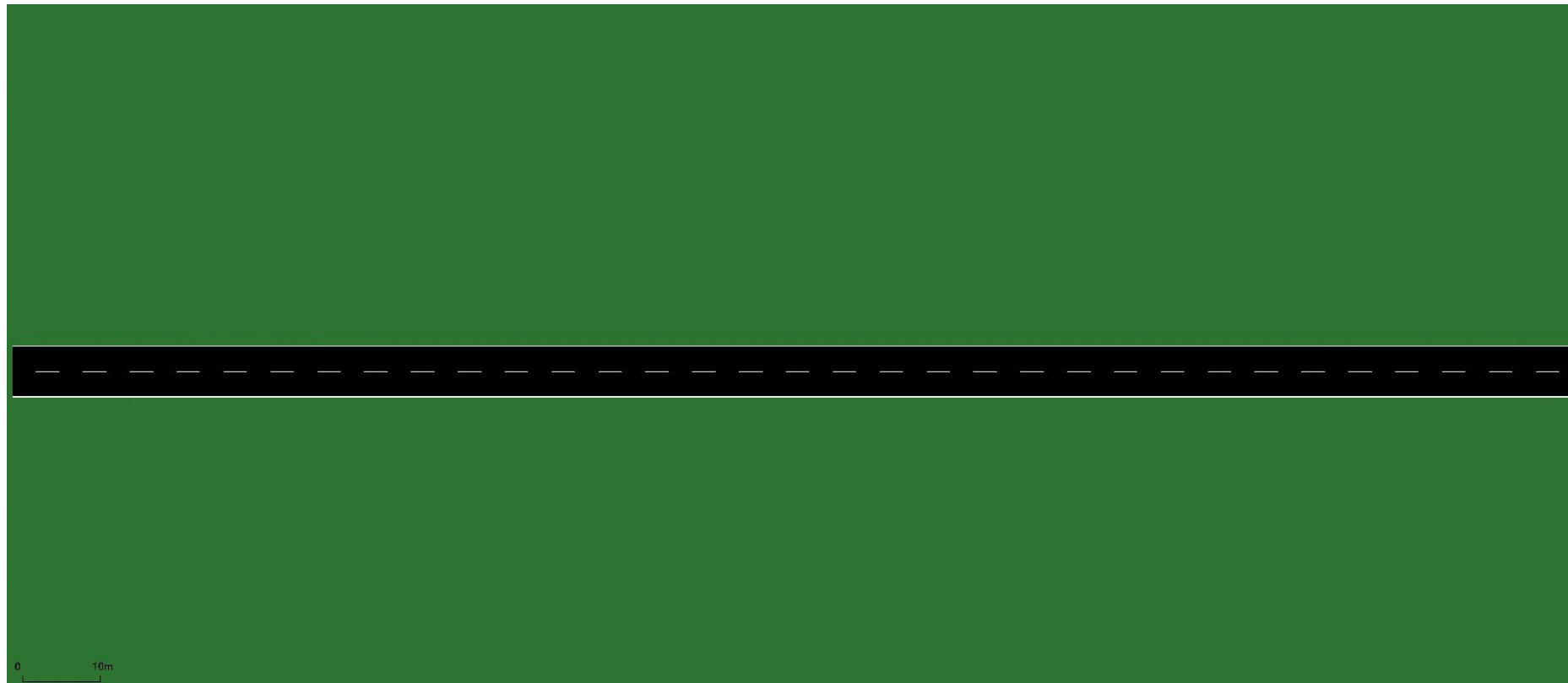
Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



■ Steuerungsverfahren 2: Öffnen von Lücken



■ Makroskopische Simulation

- Verteilung von Fahrzeugrouten anhand der aktuellen Verkehrslage

	Keine Bepreisung	City-Maut	GreenValue-System
Anteil AVF	0	0	0%, 10%, 25%, 50%, 75%, 100%
Nachfrage-Skalierung	100%	100%	100%

■ Mikroskopische Simulation

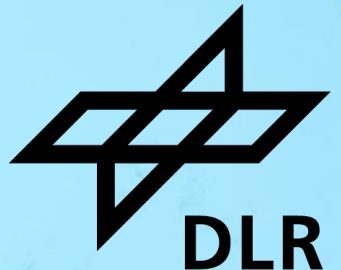
- Koordinierung von Fahrmanövern mit Hilfe von Slots

	Keine Slots	Slots Methode 1	Slots Methode 2
Anteil AVF	0	0%, 25%, 50%, 75%, 100%	0%, 25%, 50%, 75%, 100%
Nachfrage-Skalierung	25%, 50%, 75%, 100%		

- Vorstellung DLR, Institut für Verkehrssystemtechnik
- Ausgangslage, Motivation und Projektziele
- Projektergebnisse
 - Stand der Technik
 - Systemarchitektur
 - Aufbau des Simulationsmodells
 - Szenariendefinition
- Simulationsergebnisse
- Ergebnisverwertung

ABSCHLUSSVERANSTALTUNG GREENVALUE

Projektergebnisse - Simulationsergebnisse
Maik Halbach

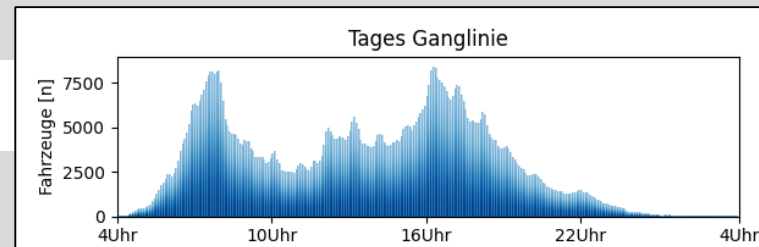


Projektergebnisse

Makroskopische Simulation

Netzweite Kenngrößen

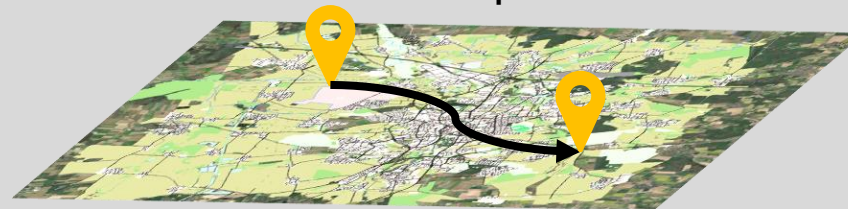
- Fahrzeuge im Netz [n]
- Mittelwert Geschwindigkeit [m/s]
- Mittelwert Reisezeit [s]



Fahrzeug Trip Daten

- Reisezeit [s]
- Verlustzeit [s]
- Wartezeit [s]
- Routenlänge [m]
- CO₂-Emissionen [g]

Trip



Projektergebnisse

Makroskopische Simulation – Graph Auswertung

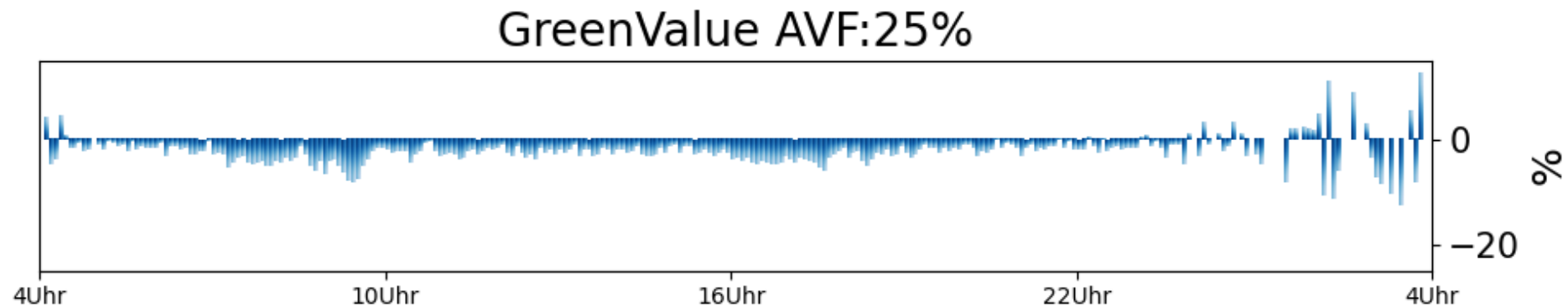
Netzweite Kenngrößen



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Projektergebnisse

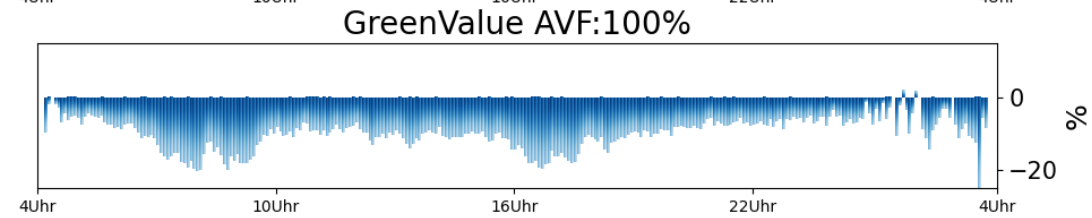
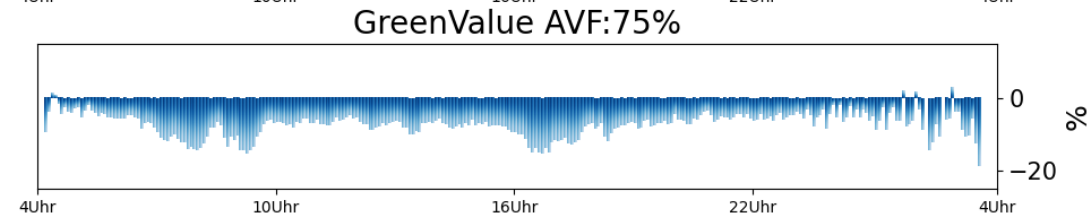
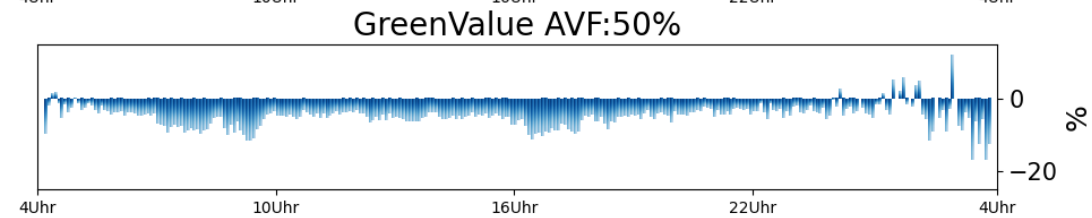
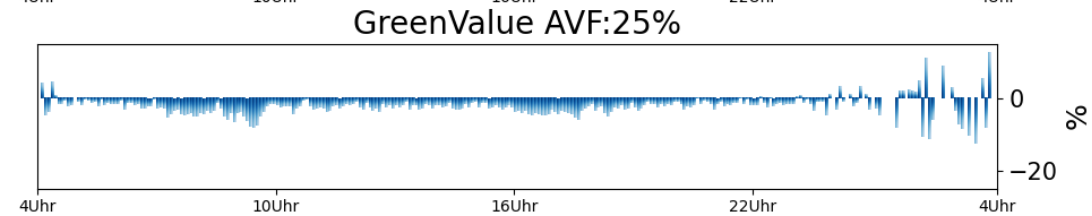
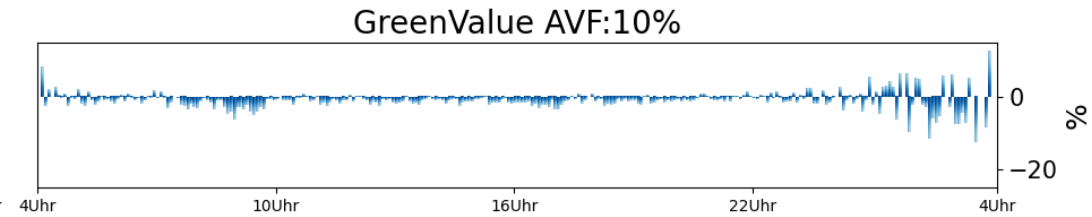
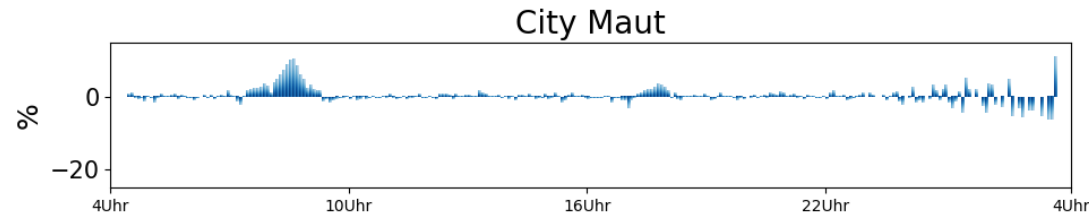
Makroskopische Simulation – Fahrzeuge im Netz



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Projektergebnisse

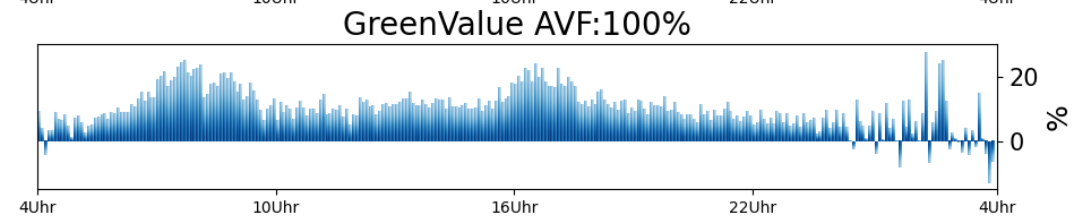
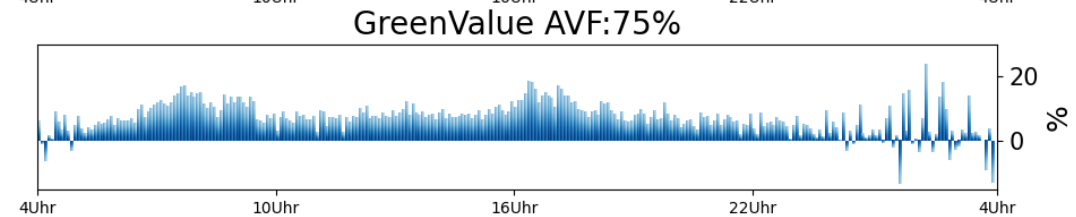
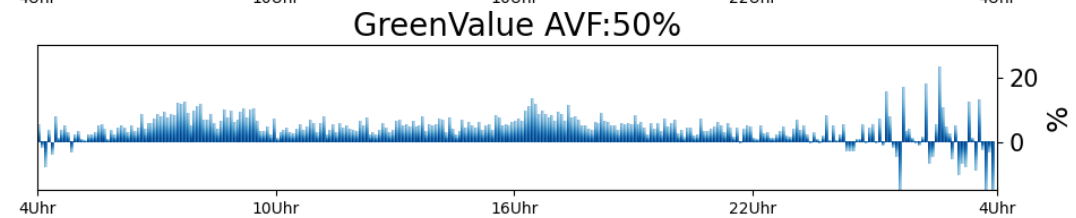
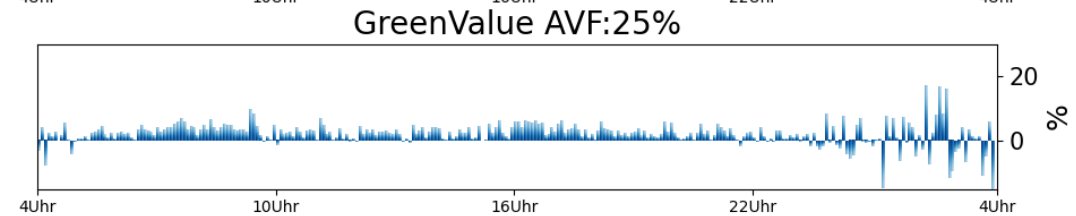
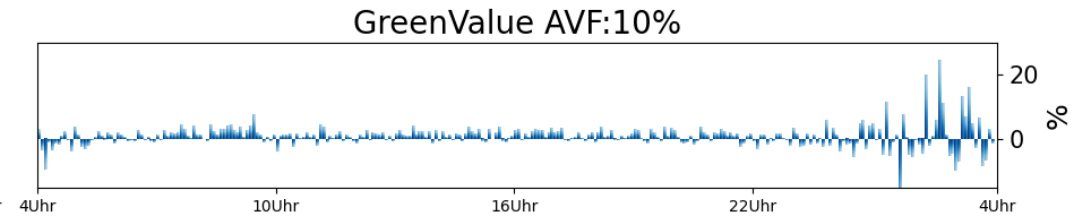
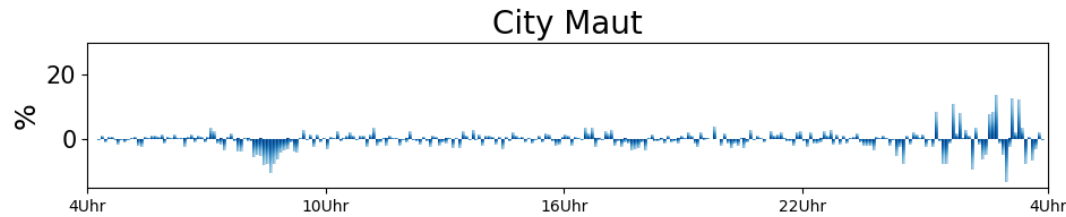
Makroskopische Simulation – Geschwindigkeit



Gefördert durch:

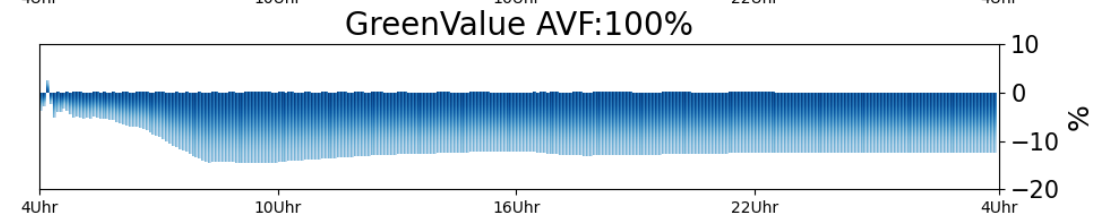
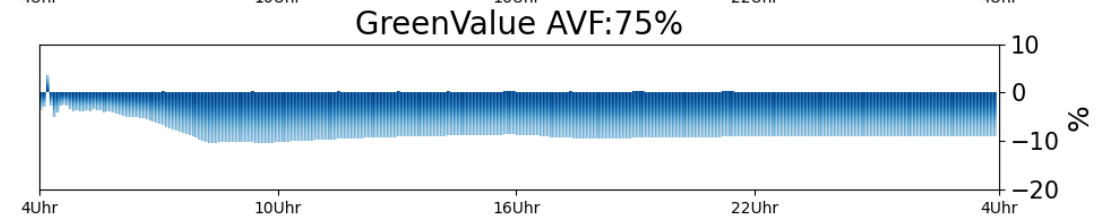
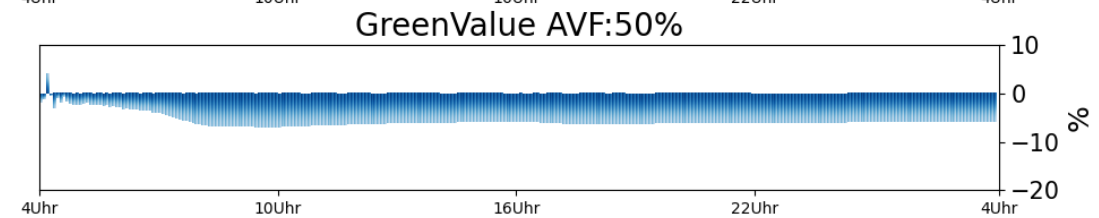
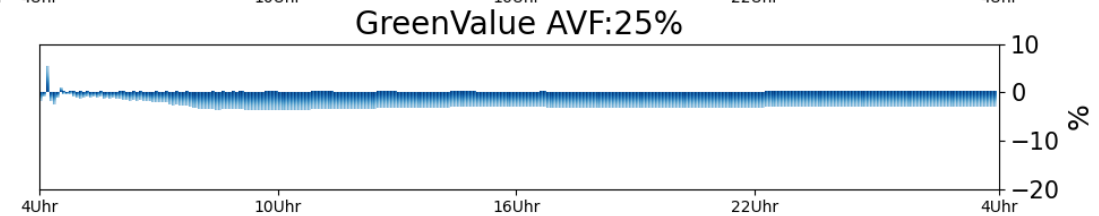
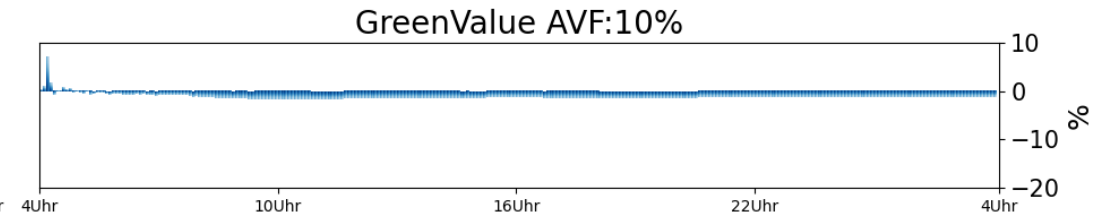
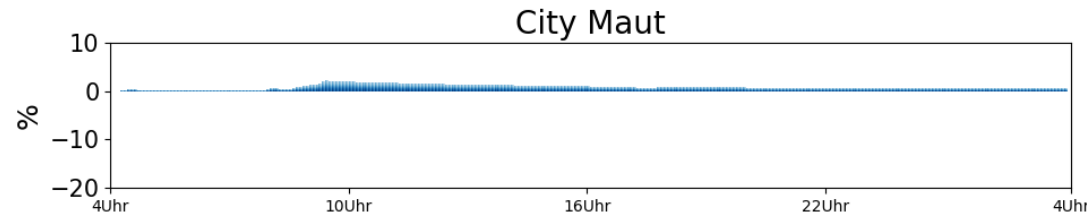


aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



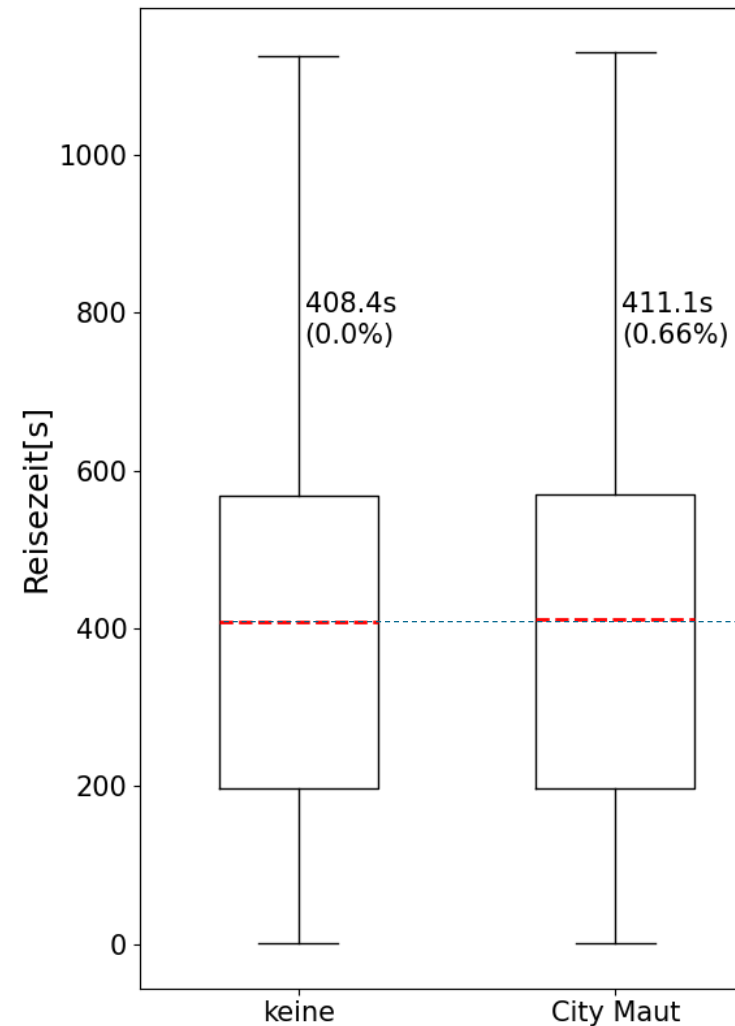
Projektergebnisse

Makroskopische Simulation - Reisezeit



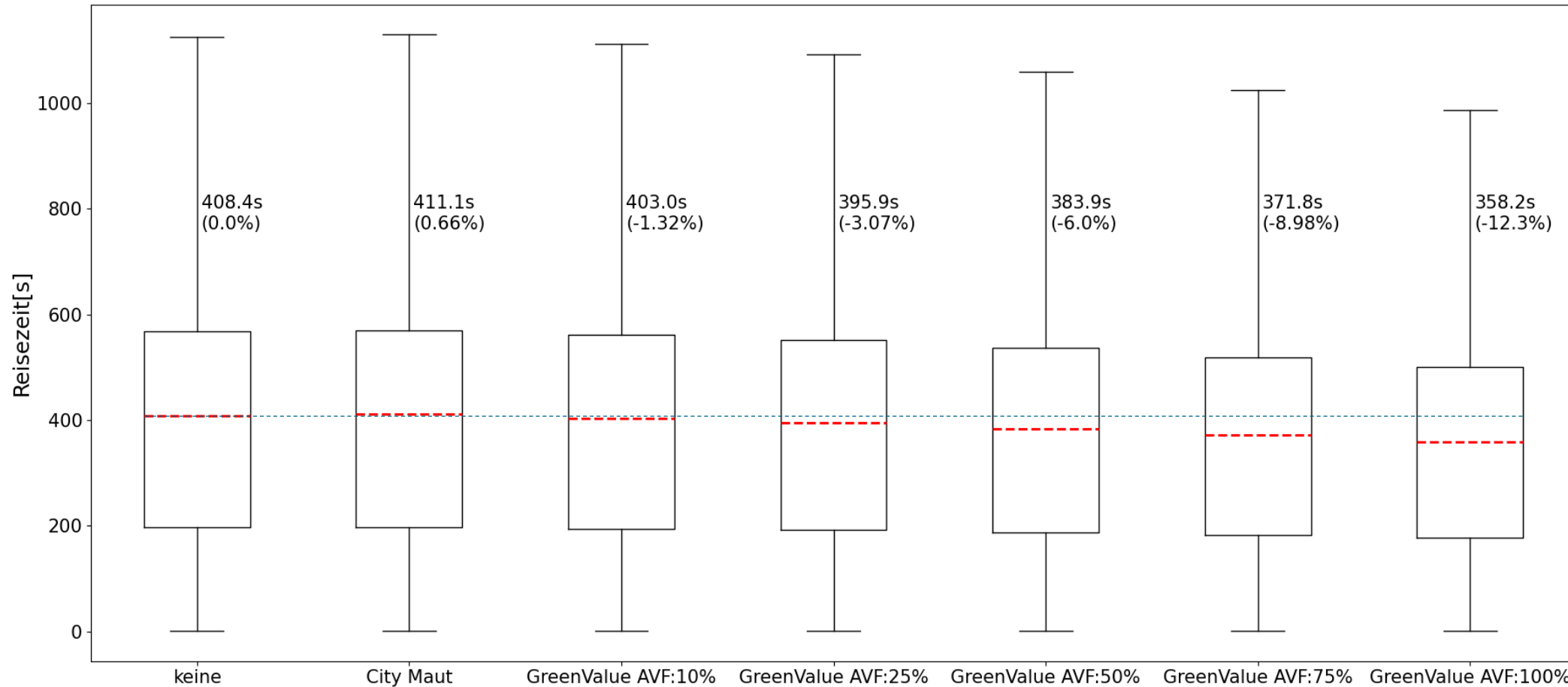
Projektergebnisse

Makroskopische Simulation – Boxplot Auswertung Fahrzeug Trip Daten



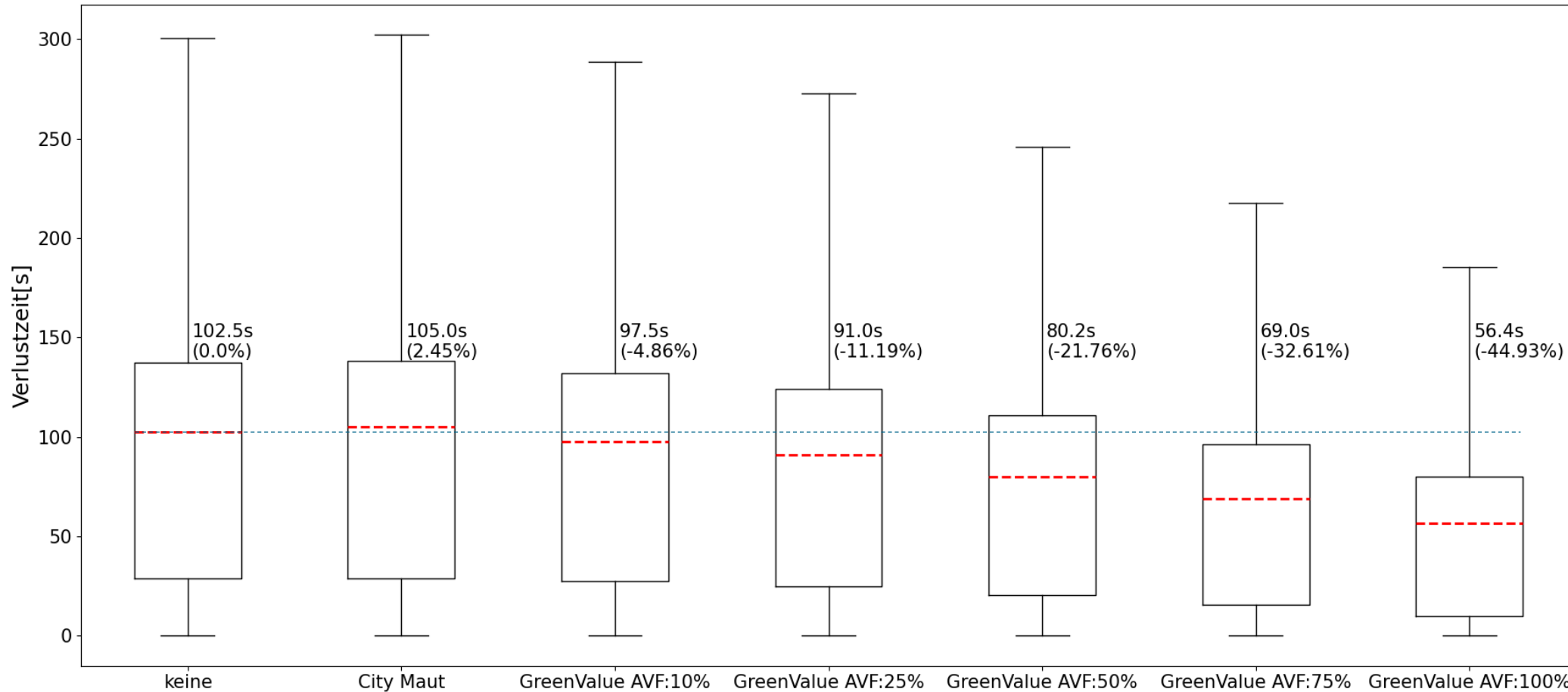
Projektergebnisse

Makroskopische Simulation – Reisezeit Trips



Projektergebnisse

Makroskopische Simulation – Verlustzeit Trips



Projektergebnisse

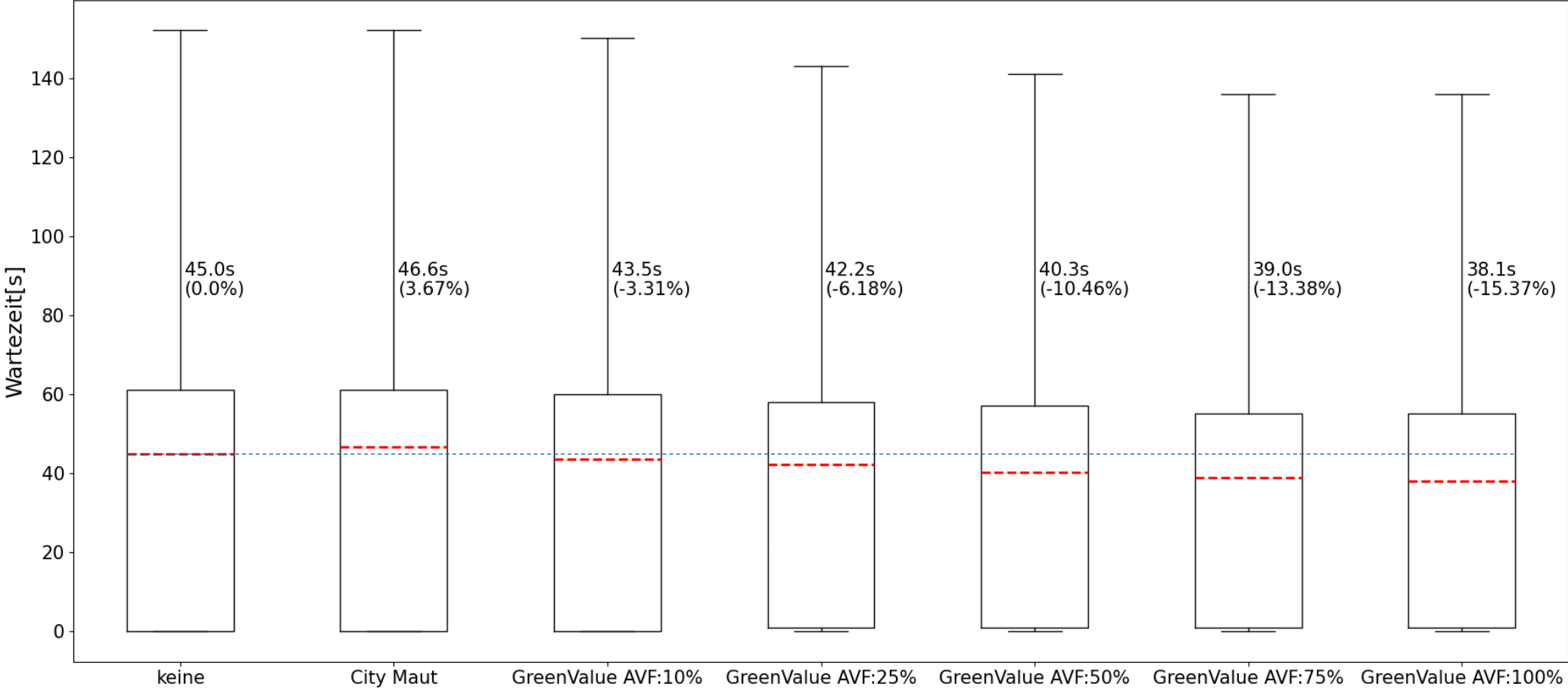
Makroskopische Simulation – Wartezeit Trips



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Projektergebnisse

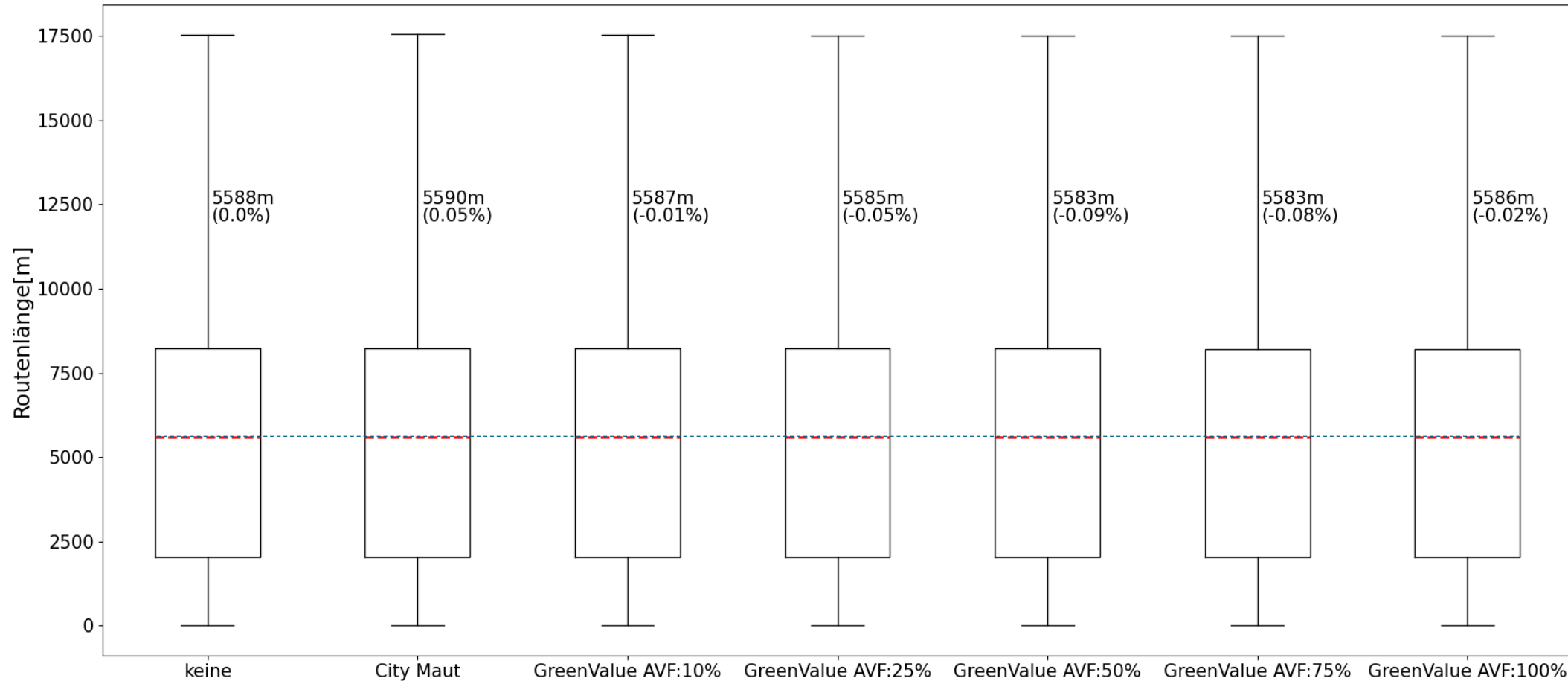
Makroskopische Simulation – Routenlänge Trips



Gefördert durch:

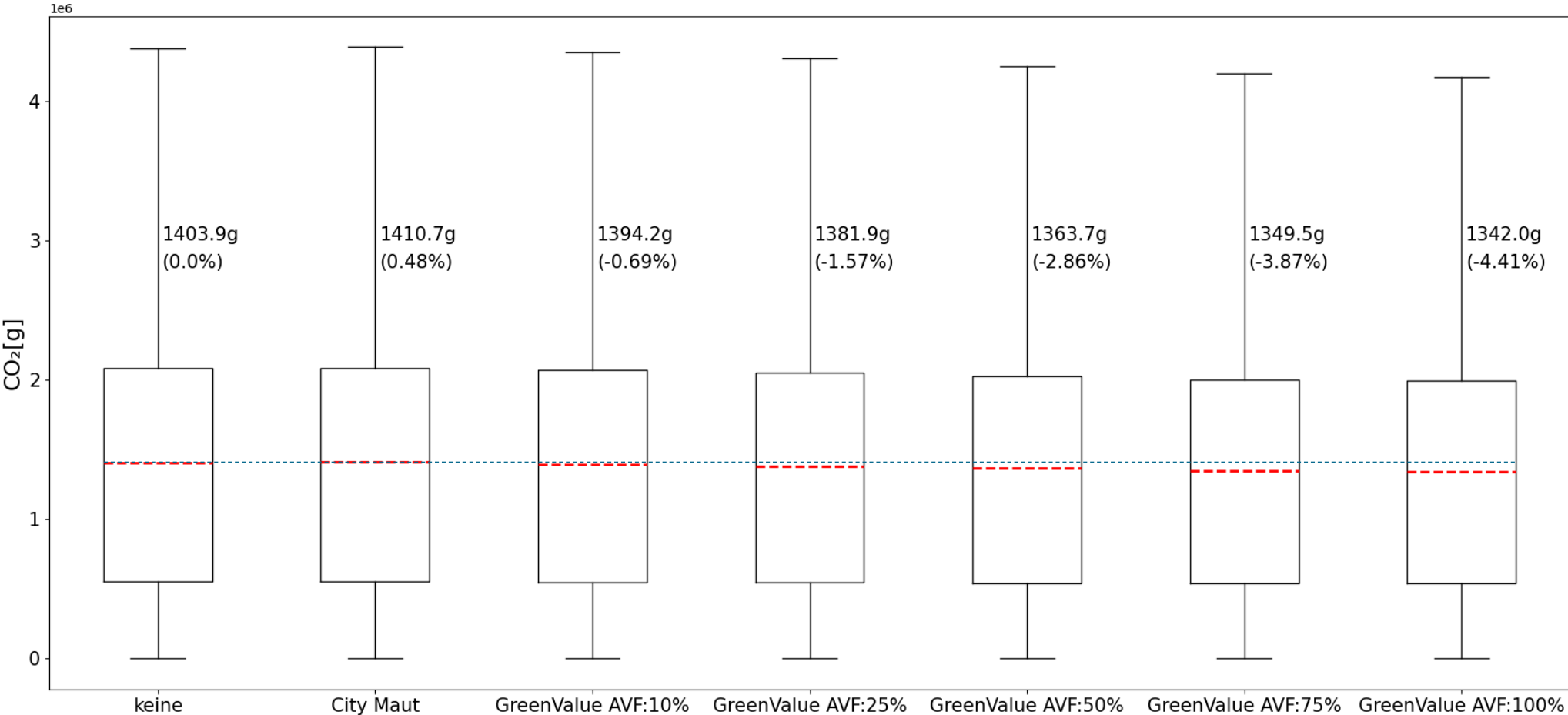


aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Projektergebnisse

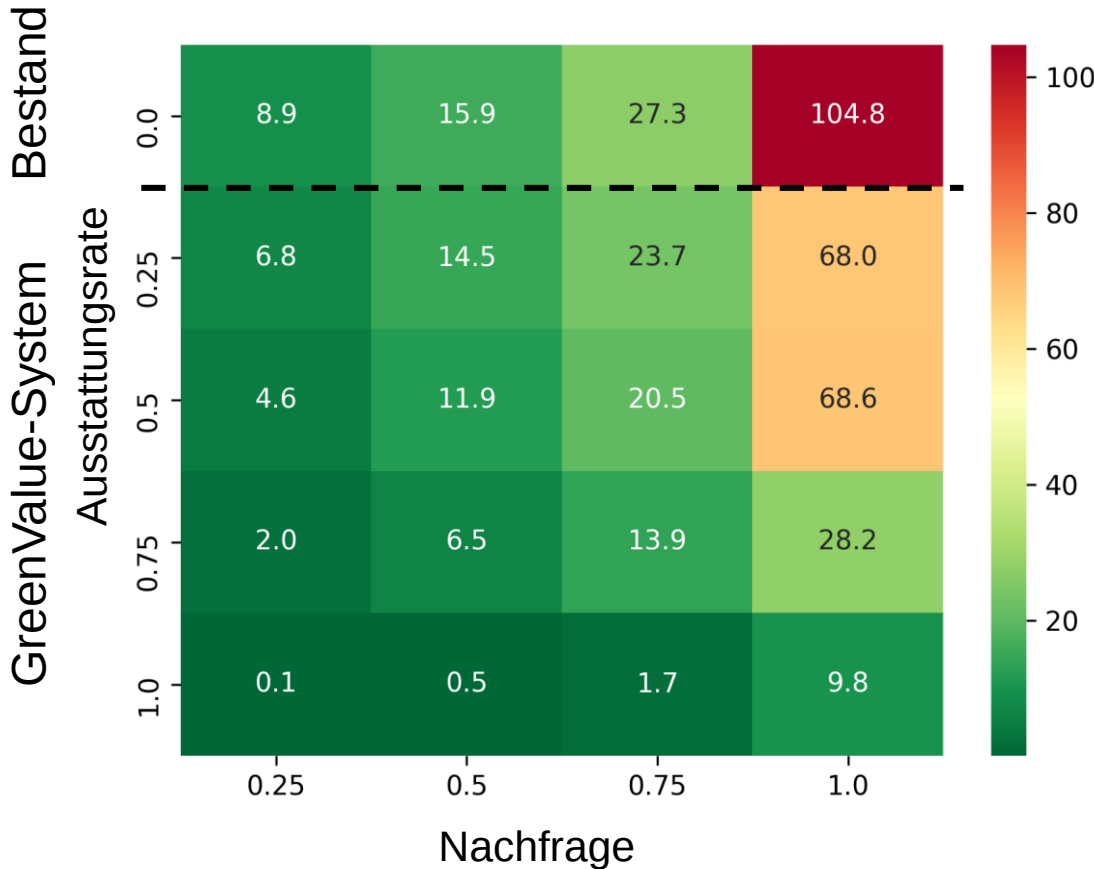
Makroskopische Simulation – CO₂-Emissionen



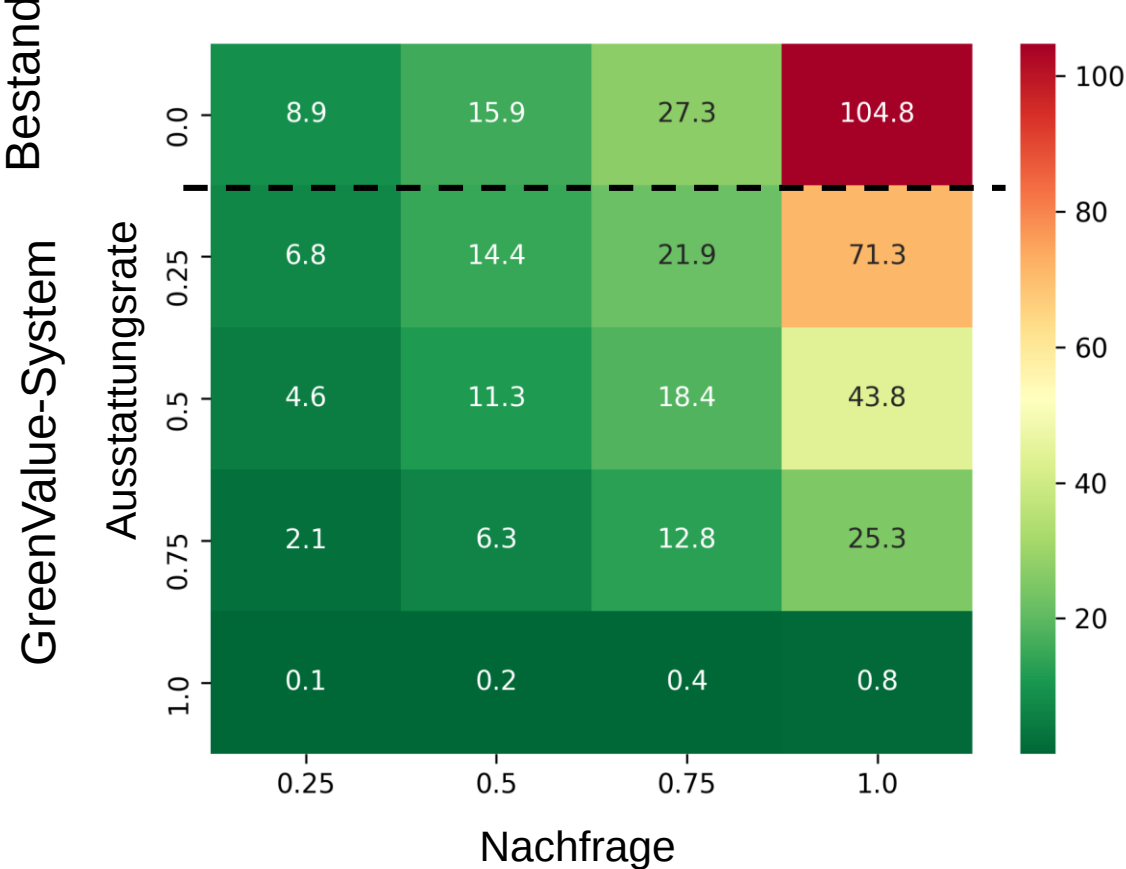
Projektergebnisse

Mikroskopische Simulation

Methode 1: Einfädeln in
existierende Lücken



Methode 2: Öffnen von
Lücken



Projektergebnisse

Zusammenfassung



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



- Deutliche Reduktion von Reisezeiten und Verlustzeiten bei GreenValue
- Moderate CO2-Einsparungen durch dynamisches Verkehrsmanagement
- Keine Veränderung der durchschnittlichen Fahrstrecken
- Deutliche Reduktion der Verlustzeiten durch Fahrmanöver im Zuge der Verwendung von Slots

Kann dynamische Bepreisung als Werkzeug im operativen Verkehrsmanagement in einer Welt vernetzter und automatisierter Fahrzeuge eingesetzt werden?



Bietet dynamische Bepreisung eine bessere Lösung für Verkehrsproblemen wie Staus oder Emissionen als eine herkömmliche City Maut?



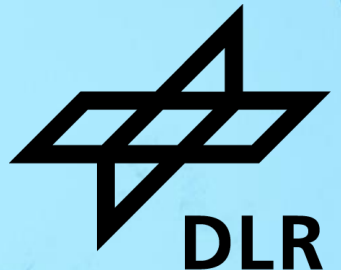
Welche Bedarfe zum Informationsaustausch existieren bei einem auf dynamischen Preisen basierenden Verkehrsmanagement?



- Vorstellung DLR, Institut für Verkehrssystemtechnik
- Ausgangslage, Motivation und Projektziele
- Projektergebnisse
 - Stand der Technik
 - Systemarchitektur
 - Aufbau des Simulationsmodells
 - Szenariendefinition
- Simulationsergebnisse
- Ergebnisverwertung

ABSCHLUSSVERANSTALTUNG GREENVALUE

Ergebnisverwertung



Ergebnisverwertung

Wissensmanagement und Dissemination



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



▪ Berichtswesen

- Projektsteckbrief wurde erstellt
- Mitteilung zum Projektstart
- Abschlussbericht befindet sich in der Finalisierung

▪ Veröffentlichungen

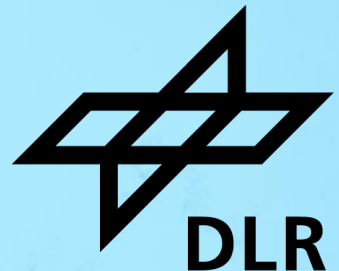
- Verfassen von zwei Journal-Papers zu Slot-basierter Verkehrssteuerung und zur Abschätzung von Channel Loads für dynamisches Verkehrsmanagement auf V2X-Basis
- Bereitstellung der Simulationsinputs auf der mCloud

▪ mFund-Begleitforschung

- mFund-Konferenz (13. & 14.9.2022)
- Zukunftsfähige Mobilität in Kommunen (7.3.2023), digitale Teilnahme

NACHFOLGEPROJEKT

GreenValue2Lab
Ronald Nippold

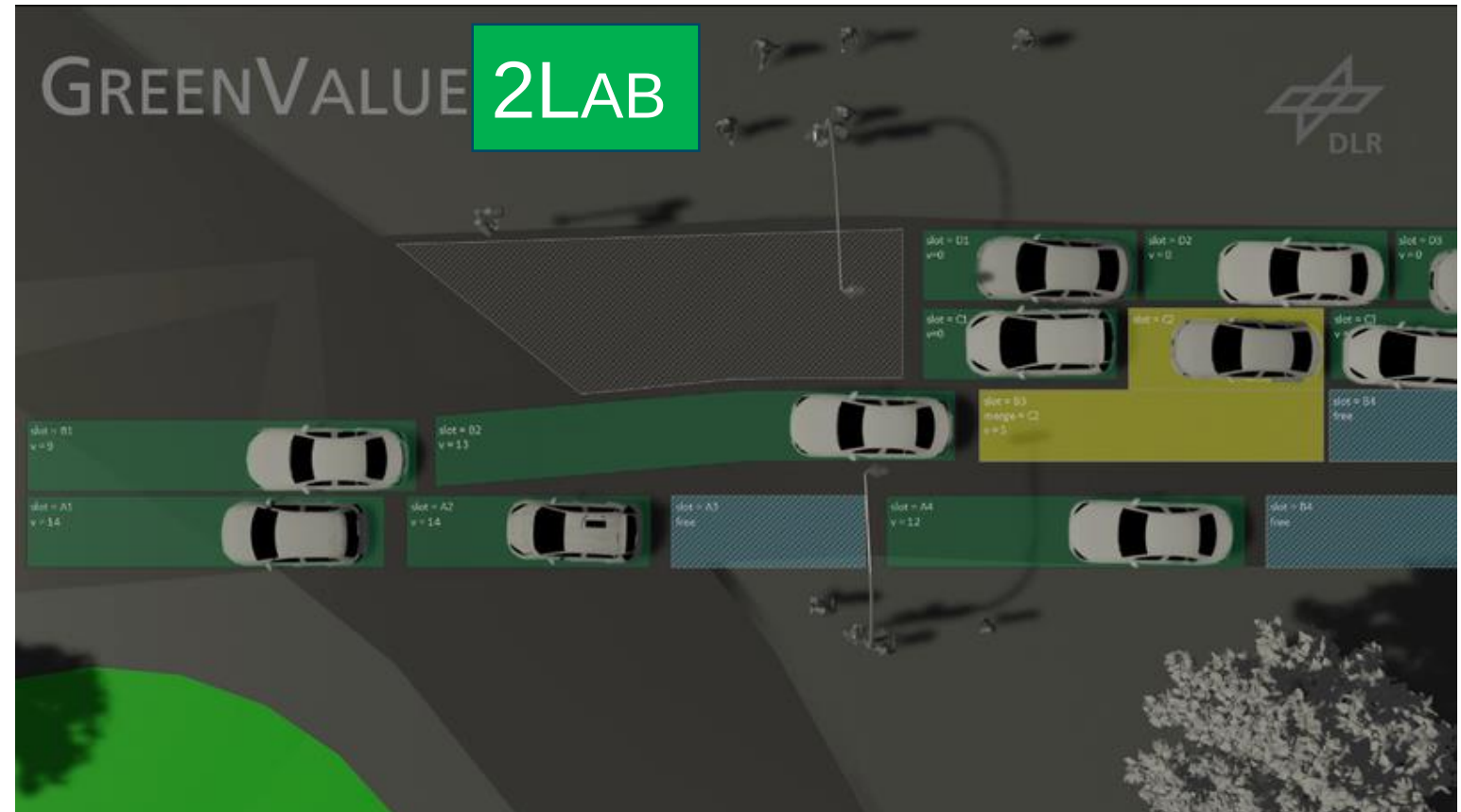


Laufzeit

- 01.07.2024 – 30.06.2027

Beteiligte Partner

- Kapsch
- DLR
- KMU und weitere Partner in Anfrage



- *Motivation 1:* Zunehmender Raumbedarf des fließenden und ruhenden motorisierten Verkehrs und Konflikte in der innerstädtischen Raumnutzung
- *Motivation 2:* Dynamisch steuernd einzuwirken ist aktuell aufgrund des hohen Bedarfs an Daten nur mit großem Aufwand möglich
- *Motivation 3:* Die Vernetzung und Automatisierung des Verkehrs bieten neue Möglichkeiten für dynamische Beeinflussungsverfahren



Quelle: <https://www.pinterest.de>, 11.08.2023

- *mFUND-Studie GreenValue:*
„Die dynamische slotbasierte Steuerung des Straßenverkehrs bietet Potentiale zur Einsparung von Emissionen und Reisezeiten.“

- Dynamische Verkehrssteuerung bisher an feste Infrastruktur gebunden
- Verkehrssteuerungsmethoden für automatisierte und vernetzte Fahrzeuge auf Basis von Slots existieren nicht in der Realität
- Hochdynamische Bepreisungsmethoden für die Verkehrssteuerung finden aktuell noch keine Anwendung

Erste Untersuchungen zu dynamischer Verkehrssteuerung automatisierter, vernetzter Fahrzeuge zeigen vielversprechende Ergebnisse.

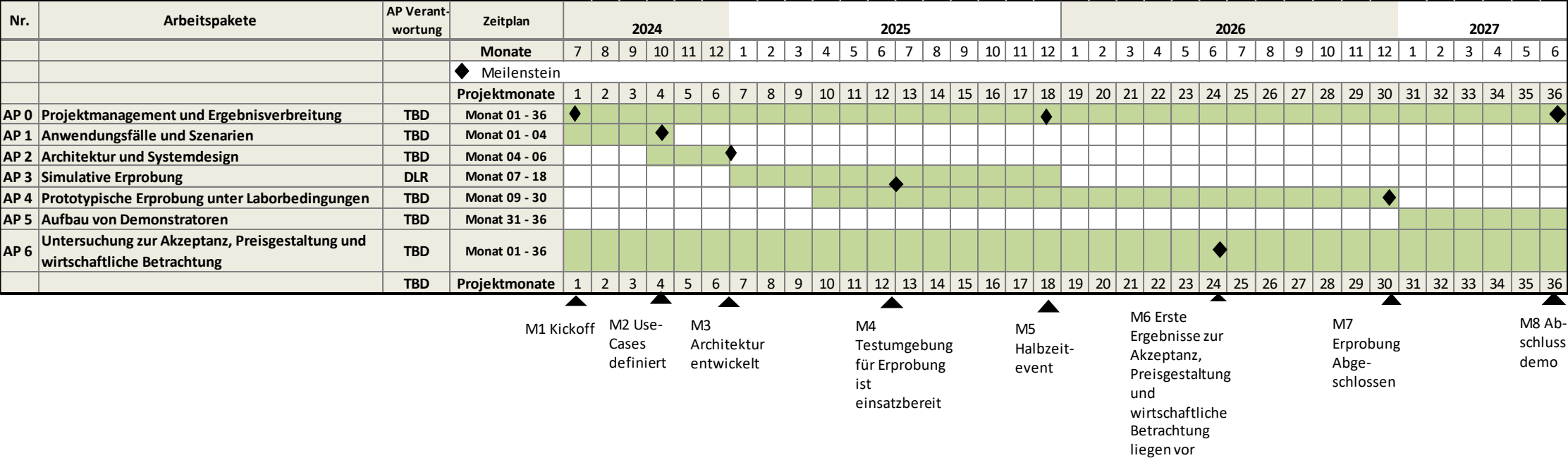
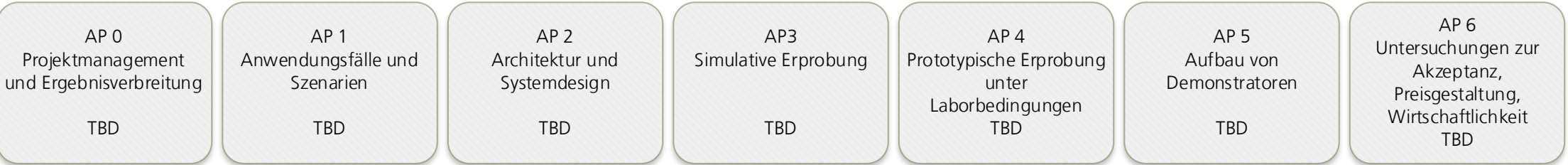
Zielsetzung

- *Ziel 1:* Erweiterung der Studie hinsichtlich Akzeptanz, Preisgestaltung und wirtschaftliche Gesamtbetrachtung des Systems
- *Ziel 2:* Aufbau essentieller funktionaler Komponenten und experimentelle Erprobung in der Simulation und unter Laborbedingungen
- *Ziel 3:* Aufbau von Demonstratoren und Vorbereitung für Tests im Feld



- *Leitfaden und Voraussetzungen für die Erprobung im Feld*

Projektstruktur



Hauptmeilensteine



Hauptmeilensteine	Name	Inhalt	Deadline
MS 2	Anwendungsfälle	Anwendungsfälle sind ausdefiniert	10.2024
MS 3	Architektur	Architektur ist entwickelt	12.2024
MS 4	Erprobung	Testumgebung für Erprobung ist einsatzbereit	06.2025
MS 6	Untersuchungen	Erste Ergebnisse zur Akzeptanz, Preisgestaltung und wirtschaftliche Betrachtung liegen vor	06.2026
MS 7	Erprobung	Erprobung abgeschlossen	12.2026
MS 8	Abschlussdemonstration	Abschlussdemonstration durchgeführt	06.2027

Arbeitsinhalte und erwartete Ergebnisse

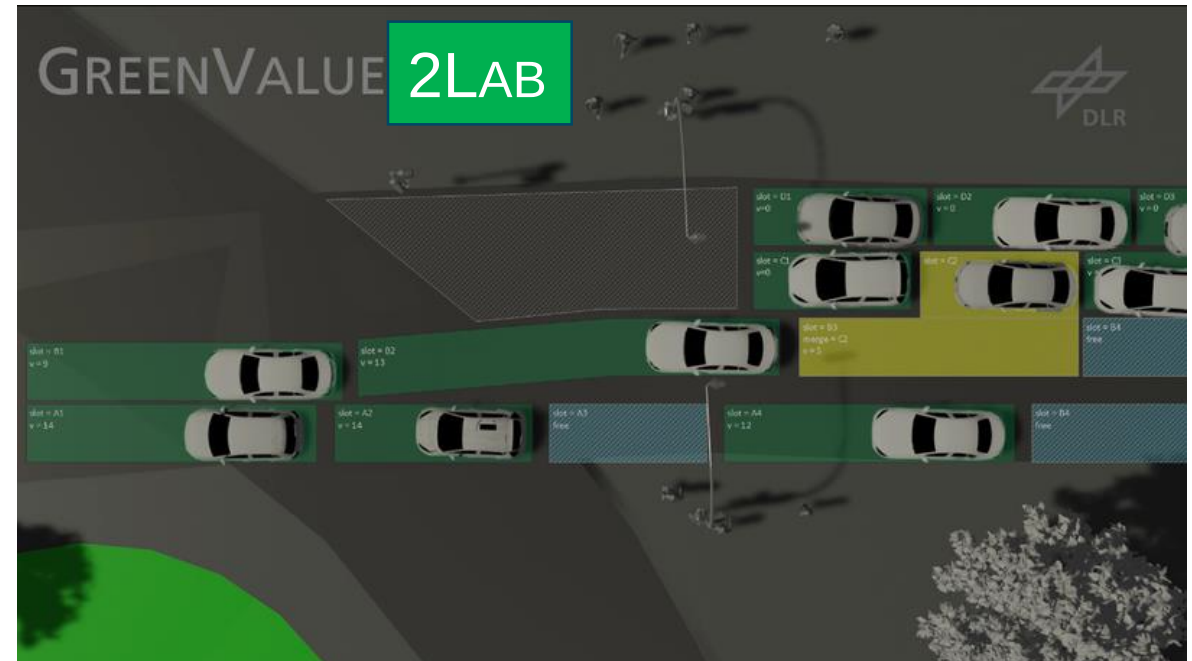
- Anwendungsfälle und Konzeptionierung des Gesamtsystems
- Untersuchungen zur Akzeptanz, Preisgestaltung und wirtschaftliche Betrachtung
- Experimentelle Erprobung
 - Z.B. Registrierung am System, Komponenten im Fahrzeug, Interaktion Komponenten Fahrzeug Infrastruktur
 - Verkehrliche Optimierungen: Pflötnung, Wegfall einer Fußgängerampel, Wegfall einer Ampel an einer Kreuzung, dynamische Einbahnstraßen, Verteilung des Verkehrs (Fahrstreifennutzung und Routenwahl)
 - Untersuchung der Eignung etablierter Nachrichtenprotokolle
- Aufbau von Demonstratoren für die spätere Verwertung, u.a. Fahrzeuginterface, Managementsystem, Infrastruktureinheiten



- *Anwendungsfälle in der Simulation und in Experimenten unter Laborbedingungen angestrebt*
- *Aufbau von Demonstratoren und Vorbereitung für eine spätere Erprobung im Feld*

Zusammenfassung

- Wir erforschen, entwickeln und erproben GreenValue für die Übertragung in Städte
- Das Folgeprojekt soll Erkenntnisse zur Akzeptanz, Wirtschaftlichkeit und Preismodelle geben
- Anstreben eines hohen ARL (Application Readiness Level)



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

**Deutsches Zentrum für Luft- und
Raumfahrt e.V.**

Institut für Verkehrssystemtechnik

Rutherfordstraße 2

12489 Berlin

Daniel.Wesemeyer@dlr.de

+49 30 67055 9627



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

