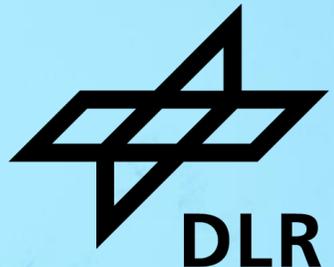


# INFRASTRUKTURUNTERSTÜTZTE AUTOMATION FÜR EINEN LEISTUNGSFÄHIGEN ÖPNV

Mobility Days 2023

Dr. Tobias Hesse

**URBAN  
DRIVE**



## Ganzheitliche Automation für den ÖVNV durch kooperative Systeme aus Menschen, Fahrzeugen und Infrastruktur

- Motivation und Status Quo
- Infrastrukturunterstützte und Dynamisch Allokierte Automation
- Virtuelle Infrastruktur
- Zusammenfassung

Ganzheitliche Automation für den ÖVNV durch kooperative Systeme aus Menschen, Fahrzeugen und Infrastruktur

- Motivation und Status Quo
- Infrastrukturunterstützte und Dynamisch Allokierte Automation
- Virtuelle Infrastruktur
- Zusammenfassung

# Motivation und Status Quo

Automatisierung kommt, wenn auch mit einigen Iterationen mehr als gedacht

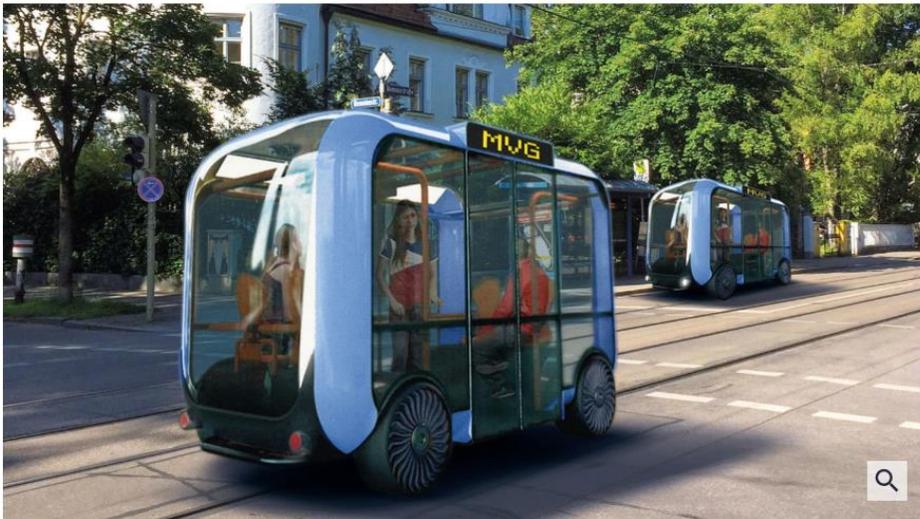


## Süddeutsche Zeitung

Projekt Minga

### Sieht so die Zukunft des Münchner Nahverkehrs aus?

24. Mai 2023, 18:42 Uhr | Lesezeit: 2 min



Sind in der Stadt bald autonome Fahrzeuge unterwegs? (Foto: MVG)

## Handelsblatt

NAHVERKEHR

### Mobileye beantragt keine Zulassung für autonomes Fahren

In Darmstadt und Offenbach wollte Verkehrsminister Wissing Autos fördern, die ohne Fahrer Menschen transportieren. Nun winken die Unternehmen ab.



Fahrzeug mit Technik von Mobileye

Der Bund hat im vergangenen Jahr insgesamt 55 Millionen Euro bereitgestellt, um „autonomes und vernetztes Fahren in öffentlichen Verkehrsmitteln“ zu fördern.

(Foto: Deutsche Bahn)

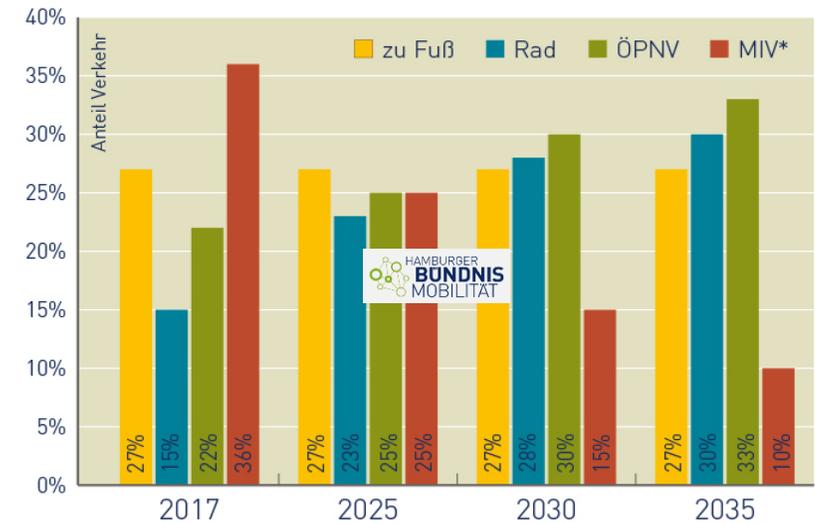
# Motivation und Status Quo

Automatisierung bietet Potential für Flexibilität und bei Fahrermangel



## Potentiale

- Vervielfachung der Leistungsfähigkeit des ÖPNV notwendig u.a. für Erfüllung von Zielen von EU, Bund, Ländern,...
- Fahrermangel und Arbeitsplatzattraktivität schränkt Leistungsfähigkeit ein
- Potential Automatisierung:  
**Flexibilität erhöhen, Fahrermangel beheben und Arbeitsplatzattraktivität erhöhen**



\*motorisierter Individualverkehr

[Ziele – Hamburger Bündnis Mobilität \(buendnis-mobilitaet.org\)](https://www.buendnis-mobilitaet.org/)

## ... heben sich nicht von alleine

- Automatisierte Fahrzeuge sind nicht automatisch günstiger
- Erfolgreiche Einführung erfordert **aktives Engagement und Vorbereitung durch Kommunen** und viel Kooperation zwischen allen Beteiligten Partnern

# Motivation und Status Quo

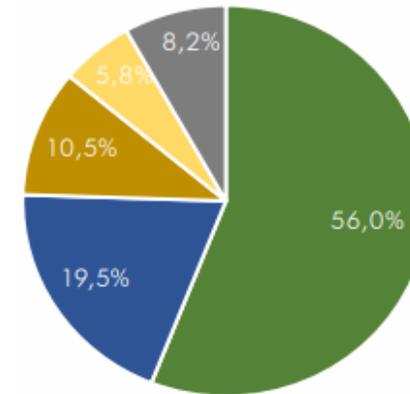
Automatisierte Fahrzeuge sind nicht automatisch günstiger

## Günstiger

- Reduzierte Personalkosten durch weniger Fahrer

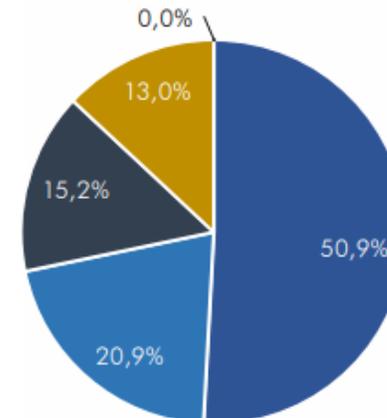
## Teurer

- Deutlich höhere Anschaffungskosten Fahrzeuge
- Wartung, z.B. technische Prüfungen vor jeder Fahrt
- Aufbau und Betrieb Leitstelle und technische Aufsicht
- Programmierer und/ oder Serviceverträge für Software
- Ggf. Reinigungskosten Fahrzeug Innenraum
- Ggf. Telekommunikationskosten
- **Noch hohe Unsicherheiten**
- **Hohe Abhängigkeit von Skalierung und Systemgestaltung inkl. Infrastruktur**



Kostenaufteilung für *Minibus* – eigene Berechnung auf Grundlage Marc Sinner, Prof Dr. Ulrich Weidmann (2018)

- Fahrpersonal
- Fahrzeug
- Verwaltung
- Distribution
- Betrieb und Sonstiges



Kostenaufteilung für *autonom fahrendes Fahrzeug für sechs Personen* – eigene Berechnung auf Grundlage Prof. Dr.-Ing. Markus Friedrich und Maximilian Hartl (2016)

- Fahrzeugkapital
- Energie
- Wartung, Service, Infrastruktur
- Verwaltung, Distribution

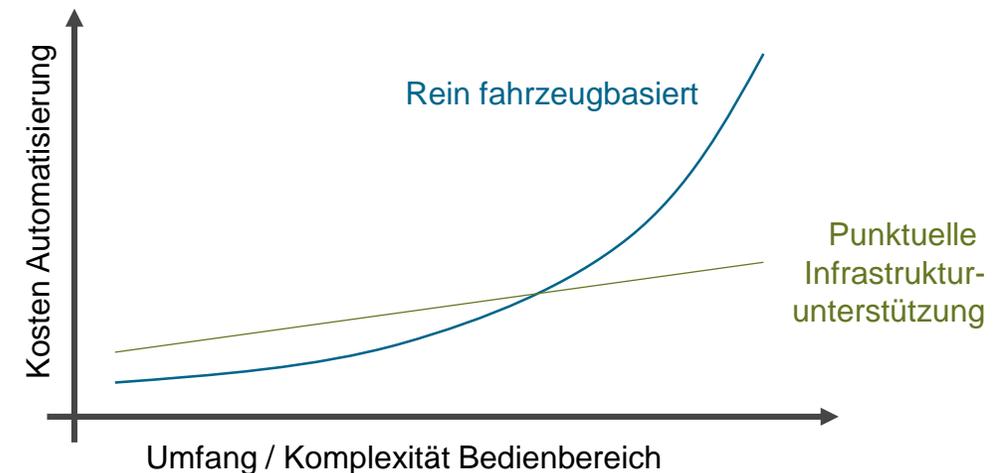
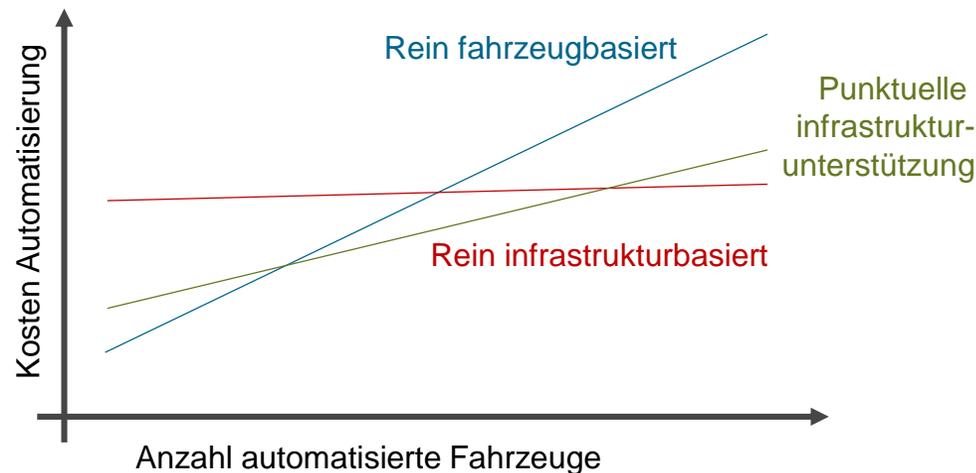
# Motivation und Status Quo

Kosten hängen stark von Skalierung und Systemdesign ab



## Hypothese: Infrastrukturgestützte Automation wird kommen.

- Treiber: automatisierte Nutzfahrzeuge, kommerzieller Betrieb
- Beispiele für systemische Ansätze: Schienenverkehr, Luftfahrt
- Beispiel-Studie für Stuttgart-Vaihingen: Break-Even bei 100 Fahrzeugen für rein Fzg. vs. rein Infrastr.
- **Erfordert: Kommunen als zentraler Teil der Lösung, Kooperation aller Beteiligten**



# Motivation und Status Quo

Infrastrukturunterstützung ist was die Kommune möchte



## Infrastruktur – Wozu?

- Genehmigung gewünschter Betriebsbereich mit hoher Verfügbarkeit für L4 Fahrzeuge mit einschränkender ODD (Operational Design Domain) aus Betriebserlaubnis
- Beispiele:
  - Fahrzeug ist nur für vernetzte, signalisierte Kreuzungen zugelassen (z.B. LSA-Status per SPATEM)
  - Fahrzeug darf nur vorher bekannte Baustellen passieren (z.B. aktuelle Karte, Info per DENM, ...)
  - Fahrzeug darf feindliche Verkehrsströme nur bei externer Validierung passieren (z.B. per CPM, MCM)

## Infrastruktur – Was genau?

- Entscheidend ist die Gestaltung eines Angebotes auch der Kommunen für verfügbaren Betrieb in gewünschten Bereichen und auf gewünschten Routen
- Basis z.B.
  - Kooperationsstufen (z.B. nach SAE J3216: Class A-D)
  - Infrastructure Support Levels for Automated Driving (Levels A-E)
  - Projektergebnisse (z.B. EU-TransAID: Services, Transitionen, BMWK-KoMoDnext: ODDS-Nachricht)

## Ganzheitliche Automation für den ÖVNV durch kooperative Systeme aus Menschen, Fahrzeugen und Infrastruktur

- Motivation und Status Quo
- Infrastrukturunterstützte und Dynamisch Allokierte Automation
- Virtuelle Infrastruktur
- Zusammenfassung

# Infrastrukturunterstützte Automation

Anwendungsbeispiele aus dem Projekt TransAID

Kooperativer Systemverbund für

- Infrastrukturunterstütztes Automatisiertes Fahren
- Management von Automationsgraden



- Nutzung der Daten in Hintergrunddiensten insb. der Technischen Aufsicht

→ **Konzepte, Technologien, Serviceprototypen**



[TransAID - Infrastructure supports automated vehicles in critical situations](#)  
[TransAID - Demonstration on the Testbed Lower Saxony](#)

# Infrastrukturunterstützte Automation

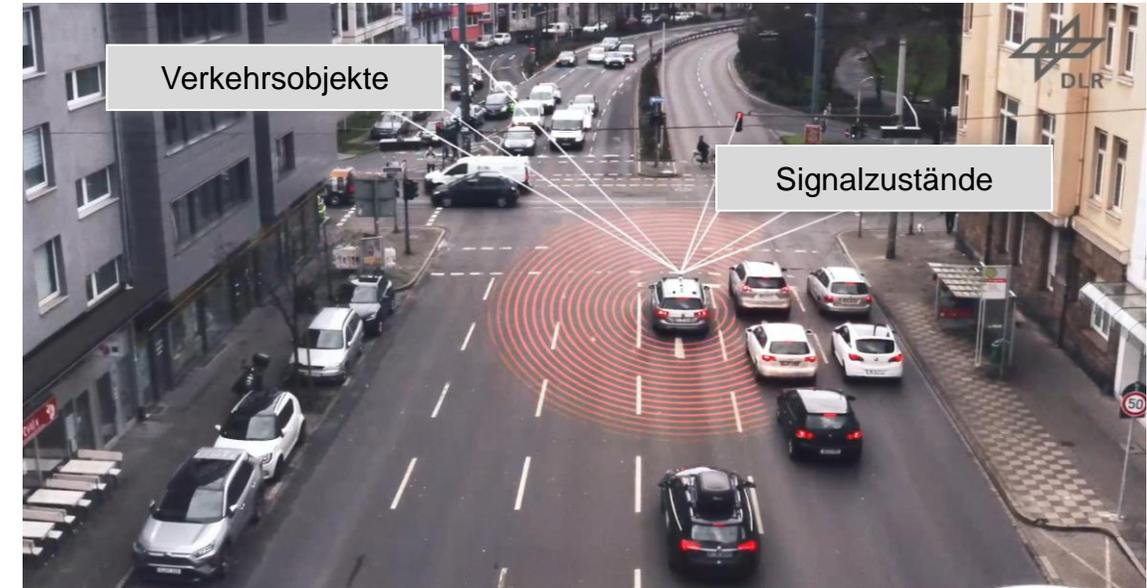
Anwendungsbeispiele aus dem Projekt KoMoDnext



URBAN  
DRIVE



- Kooperativer Systemverbund für
  - Infrastrukturunterstütztes Automatisiertes Fahren
  - Kollektive Perzeption zur Erkennung von Gegenverkehr & querenden Personen
  - Hybride Vernetzung mit CPM via LTE, ITS G5, C-V2X
  - Simulationsbasierte Auslegung, Entwicklung und Bewertung mit  ADORe und  SUMO
  - Demonstriert im Realverkehr in Düsseldorf in 2022



[KoMoDnext - Automatisiertes Fahren im Testfeld Düsseldorf](#)

→ Technologien, Leitfaden für Auslegung

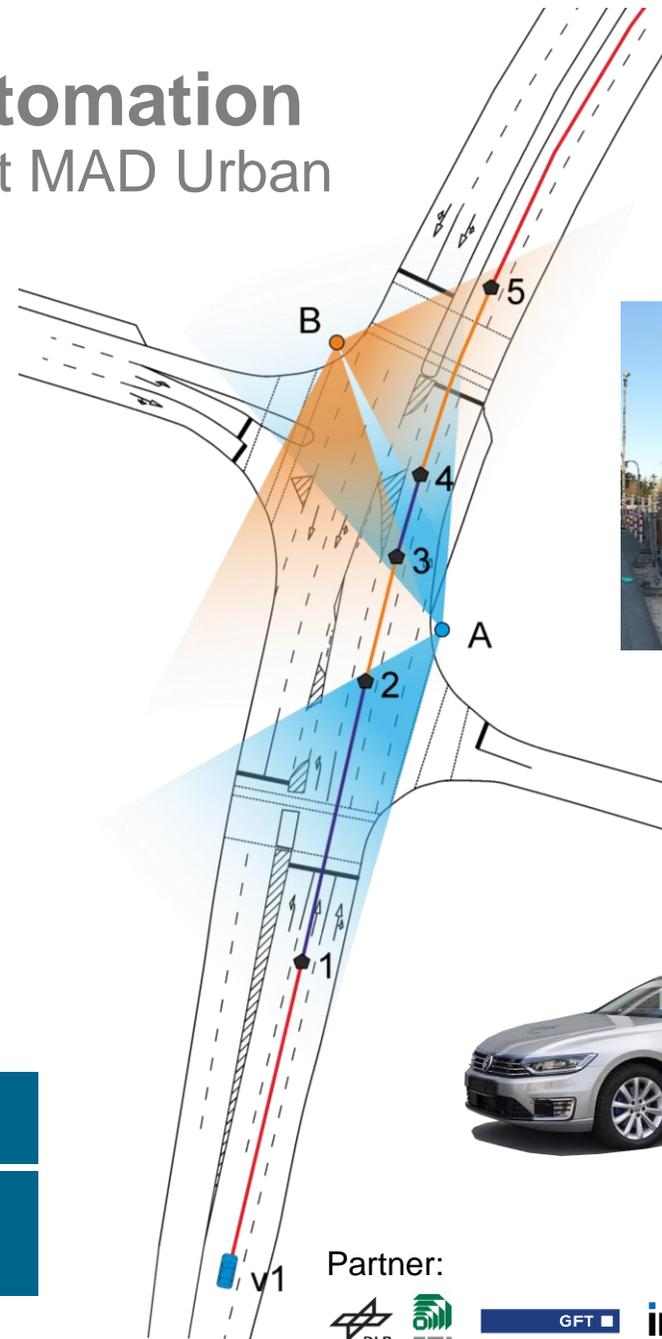
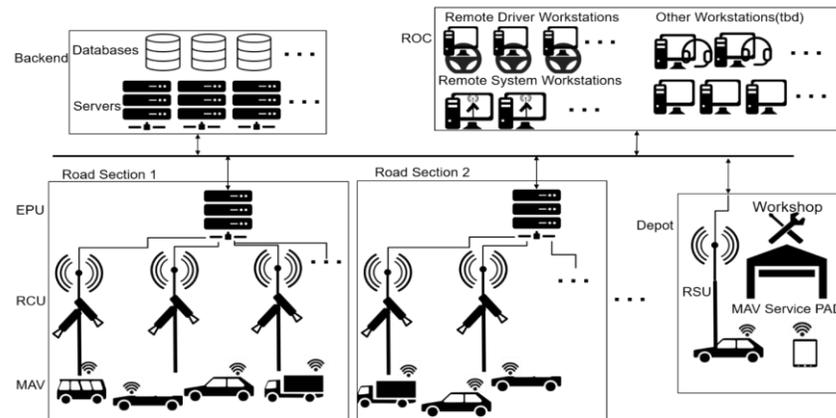
CPM: Collective Perception Message  
C-V2X: Cellular Vehicle-to-X Kommunikation

# Infrastrukturunterstützte Automation

## Anwendungsbeispiele aus dem Projekt MAD Urban



- Fahrzeug- und infrastrukturseitige Automation inkl. Transitionen und Remote Operation
- Umsetzung auf Testgeländen und im Realverkehr (u.a. Braunschweig)
- Einsatz neuer Fahrzeugkonzepte



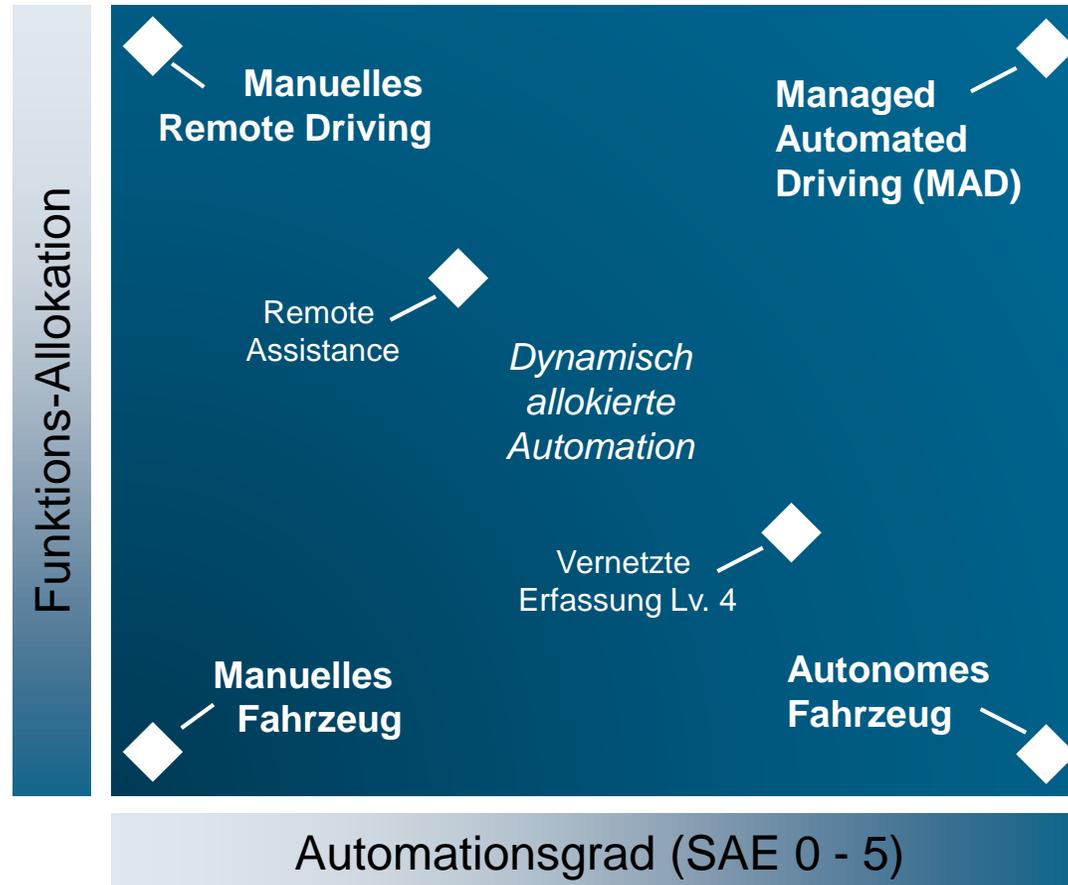
- ➔ Konzepte, Technologien, Architektur
- ➔ Verfügbare Forschungsinfrastruktur in Braunschweig (Remote Operation Leitstand, Infrastruktur, Fahrzeuge)

Partner:

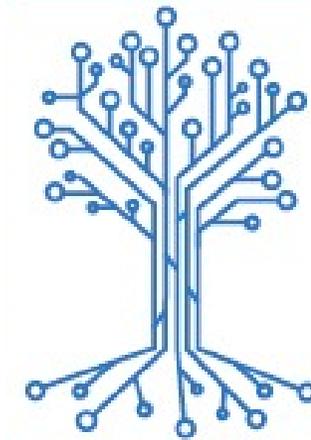


# Dynamisch Allokierte Automation

Das neue ganzheitliche Paradigma für eine verfügbare Automation



GAIA-X



## Ganzheitliche Automation für den ÖVNV durch kooperative Systeme aus Menschen, Fahrzeugen und Infrastruktur

- Motivation und Status Quo
- Infrastrukturunterstützte und Dynamisch Allokierte Automation
- Virtuelle Infrastruktur
- Zusammenfassung

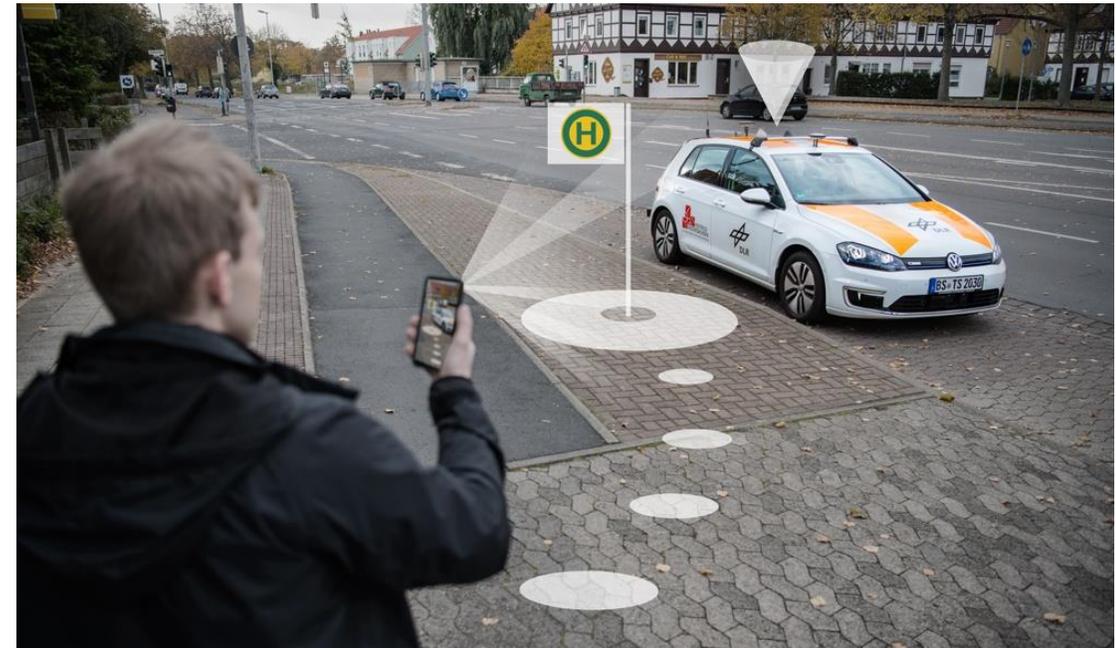
# Virtuelle Infrastruktur

## Fahrgastführung an vStop

- Berücksichtigung verschiedener **Akteure** und digitalen **Steuerungsebenen** im **lokalen Verkehrsraum** für ganzheitlichen Ansatz, damit die Haltestelle zum Menschen kommen kann
  - Verkehrliche Wirkung, u.a. durch Kopplung mit LSAs
  - Fahrfunktionen und Verkehrssicherheit
  - Nutzerfreundlichkeit
- Mensch-Maschine-Interaktionsschnittstelle (**HMI**), zum **Auffinden der virtuellen Haltestelle**, sowie **Identifikation des korrekten Fahrzeuges**

→ Konzepte, Technologien, Architektur

→ Verfügbare Forschungsinfrastruktur in Braunschweig (u.a. koop. Kreuzungssteuerung)

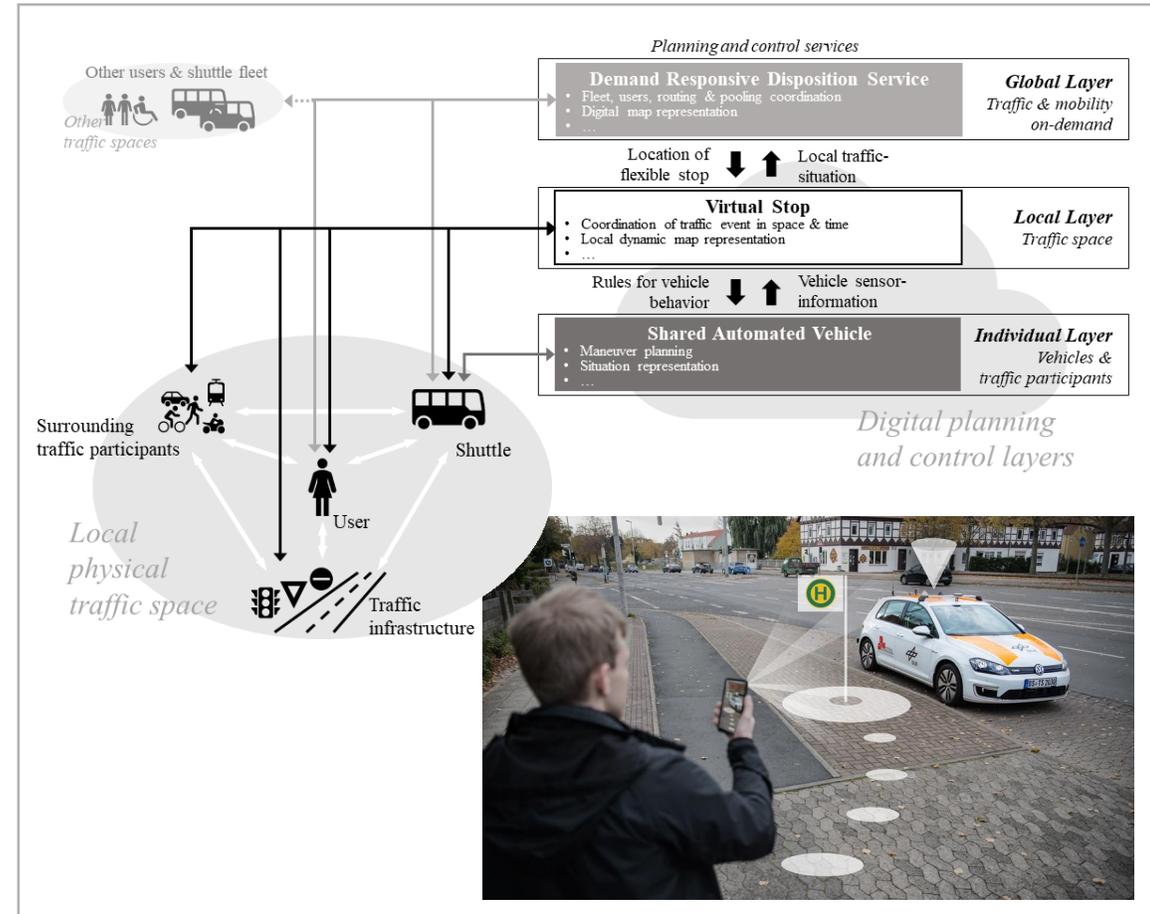


# Virtuelle Infrastruktur

## Fahrgastführung an vStop

- Berücksichtigung verschiedener **Akteure** und digitalen **Steuerungsebenen** im **lokalen Verkehrsraum** für ganzheitlichen Ansatz, damit die Haltestelle zum Menschen kommen kann
  - Verkehrliche Wirkung, u.a. durch Kopplung mit LSAs
  - Fahrfunktionen und Verkehrssicherheit
  - Nutzerfreundlichkeit
- Mensch-Maschine-Interaktionsschnittstelle (**HMI**), zum **Auffinden der virtuellen Haltestelle**, sowie **Identifikation des korrekten Fahrzeuges**

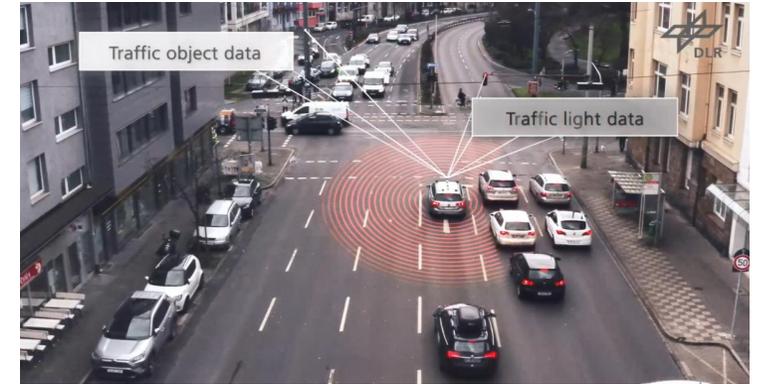
- Konzepte, Technologien, Architektur
- Verfügbare Forschungsinfrastruktur in Braunschweig (u.a. koop. Kreuzungssteuerung)



- Infrastruktur und virtuelle Infrastruktur sind essentielle Teile für eine verfügbare, wirtschaftliche Automatisierung für einen leistungsfähigen ÖPNV
- Die Grundsteine sind gelegt
  - Grundlegende Technologie und erster Blueprint existieren für Infrastr.unterstützung bzw. dynamisch allokierte Automation
  - Transitionen sind adressiert, aber weiter zu entwickeln
  - Leitfaden und Software für simulationsbasierte Auslegung und Ausbau existieren
  - Aufbau Verkehrssteuerung mit TRL 6-9 in Braunschweig verfügbar bzw. möglich
  - Testfeld in und um Braunschweig mit Infrastruktur im Feld und Hintergrundsystemen existiert
- Erfolg erfordert kommunales Engagement (z.B. für die Festlegung von Betriebsbereichen und deren Ausstattung) und die Kooperation aller Beteiligten



# Infrastrukturunterstützte Automation für einen leistungsfähigen ÖPNV



Vielen Dank

Dr.-Ing. Tobias Hesse  
[tobias.hesse@dlr.de](mailto:tobias.hesse@dlr.de)  
+49-30-67055-292