



Automatisiertes Fahren im ÖPNV – das Technologieprojekt ABSOLUT Leipzig

Thüringer Forum Mobilität,
Session „Vernetztes und automatisiertes Fahren“

Dr.-Ing. Steffen Kutter

15. September 2022

ABSOLUT – Inhalte und Konsortium

Schwerpunkte des Vortrags

iauv TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN
VIRTENCE SEDENIUS ENGINEERING

Fahrzeug

VDV Die Verkehrsunternehmen
Sächsischer Städte- und Gemeindetag

Begleitung

Stad Leipzig Verkehrs- und Tiefbauamt
INAVET Institut für angewandte Verkehrswirtschaft
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Infrastruktur



LEIPZIGER MESSE BMW GROUP Werk Leipzig
DB SCHENKER

Nutzung

BitCtrl gits cotech
Leipziger Verkehrsbetriebe

Betrieb

Leipziger Verkehrsbetriebe FSD Zentrale Stelle

Zulassung

Leipziger Verkehrsbetriebe
APIOMAT

Kundenkontakt

ABSOLUT – Randbedingungen für Fahrzeuge

- Lokal **emissionsfreie Fahrzeuge** (Clean Vehicle Directive, Leipziger Ratsbeschluss „Klimanotstand“, neu 2021: Synth. Kraftstoffe CVD-konform)
- **Kleine Gefäßgröße** (Sitz- / Stehplatzanzahl) da Automatisierung (insbesondere On-Demand-Verkehre) näher am individuellen Bedarf („Sogpotential“ zum MIV)
- **Ergänzung in Schwachlastregionen / -zeiten**, keine Konkurrenz zum Hochleistungs-ÖV
- Automatisierungsgrad **„L4 ÖV“ als Zielvorgabe bis 2030** in Leipzig in Betrieb, frühzeitige Auseinandersetzung notwendig, **ABSOLUT** als erster Schritt (**Technologiedemonstration** mit Sicherheitsfahrer), **„ortsübliche Geschwindigkeit“** zwecks Konkurrenz zum MIV durch kurze Reisezeiten (große Haltestellenabstände)
- Geeignete automatisierte **Fahrzeuge** auch aktuell am **Markt nicht verfügbar**

ABSOLUT

F&E und Aufbau der automatisierten Fahrzeuge



Duales Fahrzeugkonzept

EasyMile EZ10 G2



Automatisierungs-
framework für
unterschiedliche
Fahrzeuge



VW e-Crafter



Reines X-by-Wire-Fahrzeug

- Modifikation (Fahrwerk, Bremse, Lenkung, Antrieb) eines Peplemovers für Fahrdynamik bis 70 km/h
- 48V-Spannungsebene (kein HV), 50 kW
- „Stehsitz“ für Sicherheitsfahrpersonal (SF), perspektivisch Entfall möglich
- Manueller Betrieb X-by-Wire mit Joystick und Miniwheel

Höheres techn. / Zulassungsrisiko, barrierefrei

Serienfahrzeug mit konv. Systemen als Rückfallebene

- Add-On-X-by-Wire-System
- Umbau Transporter zu Bus
- 400V, 100kW Antrieb, 7,2kW (AC)/40 kW (CD) Laden, 32 kWh
- v_{max} 90km/h
- Klassischer Fahrerarbeitsplatz für manuellen Betrieb
- X-by-Wire nur im automatisierten Betrieb

Geringeres techn. / Zulassungsrisiko v.a. für höhere Geschwindigkeiten, nicht barrierefrei

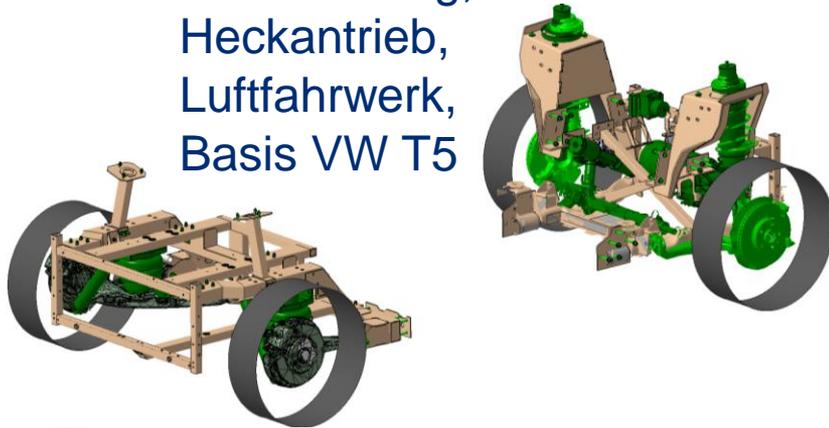
EasyMile EZ10 – Impressionen Konstruktion, Umbau

**Ziel: EZ10 auf Linie
86A zulassungsfähig,
Zielgeschwindigkeit
50 km/h**

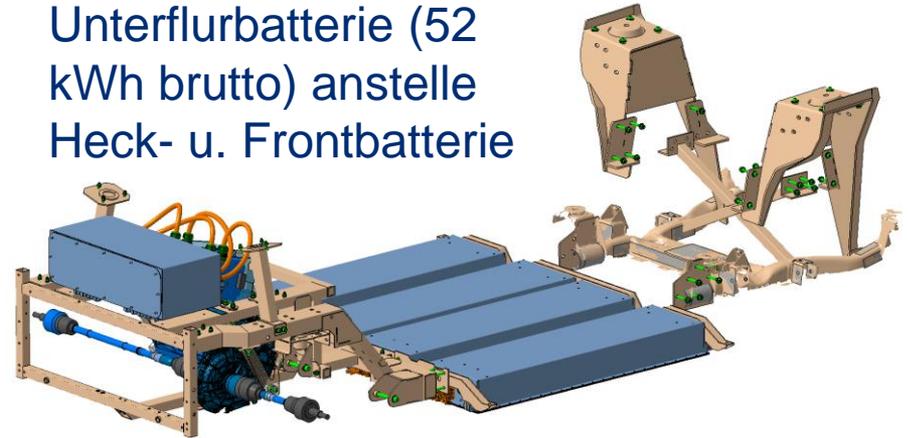
50 kW Dual-
EM bei 48 V



Frontlenkung,
Heckantrieb,
Luftfahrwerk,
Basis VW T5



Unterflurbatterie (52
kWh brutto) anstelle
Heck- u. Frontbatterie



EasyMile EZ10 – Impression X-by-Wire-Betrieb

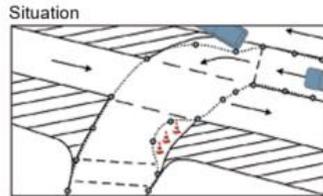


Funktionen des AD-Systems

Automated Driving (AD) System

Perception

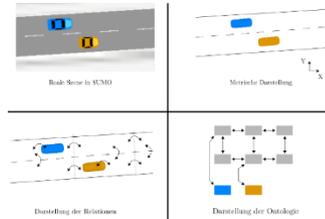
Acquisition, association, fusion, enrichment of environmental data



Lanes, Objects, Host Vehicle Data ...

Situation Interpretation

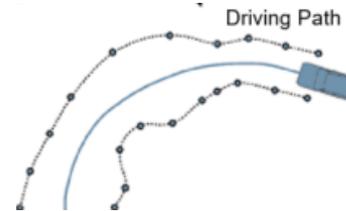
Situation classification and representation, prediction, intention detection



Situation Model

Maneuver and Motion Planning

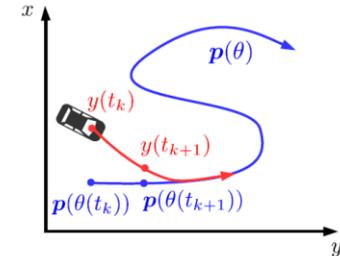
Derivation of current vehicle mission and planning of its realization



Driving Path with Velocity Profile

Control

Realization of planned vehicle mission

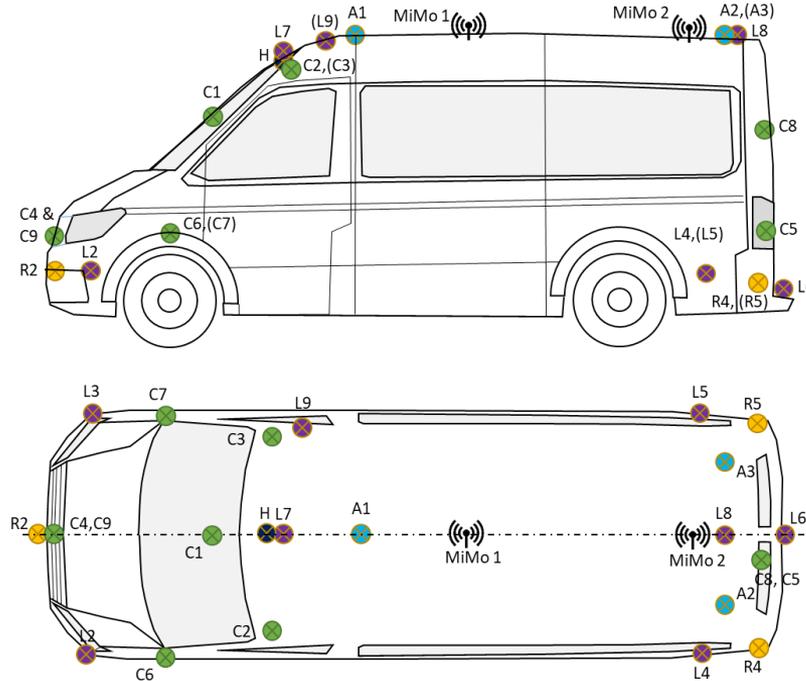


Steering Wheel Angle, Desired Velocity, ...

Sensorkonzept für e-Crafter und EZ10

Ansatz:

- 360° Umfelderfassung mittels **drei unabhängiger Sensorsysteme** (Radar, Lidar, Kamera)
- Hohe **Erfassungsreichweite in Bewegungsrichtung** des Ego-Fahrzeugs und des Querverkehrs (ODD-Einfluss)
- **Lokalisierung** mittels Multi-GNSS, ODO, IMU, SLAM



Sensorik

8x Kamera (C1...C8)

1x Infrarot-Kamera (C9)

6x Sektor-Lidare (L1...L6)

3x 360° Lidare (L7...L9)

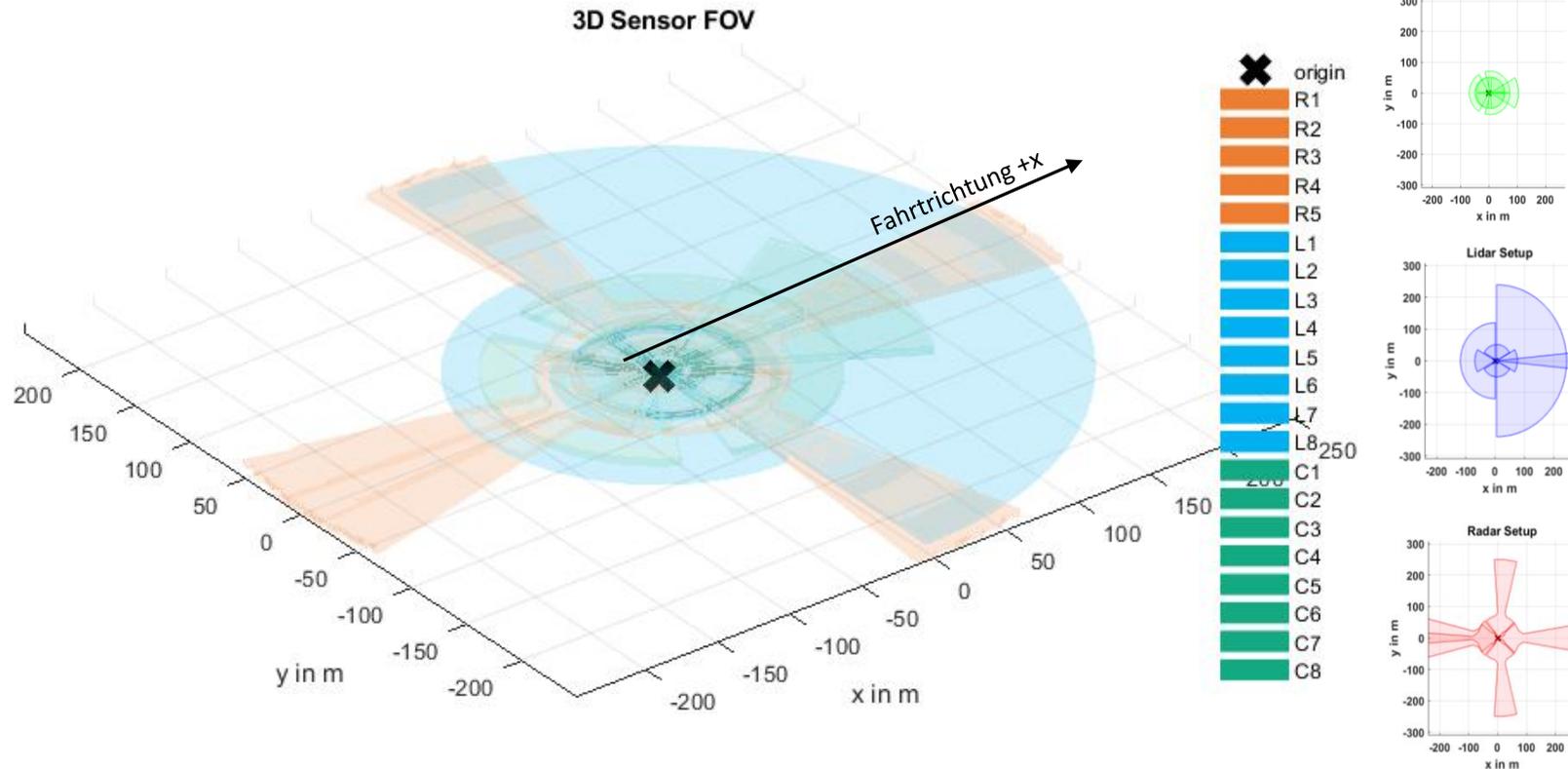
5 Radare (nah u. fern)

3x GNSS MSRTK (A1...A3) inkl.
Odometrie und IMU

Erdmagnetfeldkompass (H)

C2X-OBUs, Telemetrie (MiMo)

Erfassungsbereich 360° - Umfeldsensoren



Von Sensordaten zu Objekten (nur Frontsensorik)

view 0

Lokale dynamische Karte,
Objekte (gesamt)
Lidar-Punktwolke

Control Panel

Point Clouds Basic Settings Object Visualizations

/sensor/radar/front_center/VaVi

Select Topic: 1 Delete

Object Source GenericSource

Bus	Car
Event	Other
Overdrivable	Pedestrian
Traffic Light	Truck
Two wheel	Underdrivable
Unknown	Unknown Big
Unknown Small	

Advanced Setting

front_center Control Panel

lanes objects freespace

Fahrs Spuren

Objekte

Freiraum

Hochleistungsrechentechnik im Heck



E-Crafter Aktorik des X-by-Wire Systems



Typ: Joysteer DbW der Firma Bozzio (Schweiz); Ursprung: Behindertenfahrzeuge

E-Crafter EMV-Prüfung



E-Crafter Begutachtung, Zulassung

Seit 13.8.21 Vorliegen aller **Gutachten** (u.a. Materialprüfung 3D-Druckteile, EMV-Prüfung, Abnahme ÖV-Umbau)

Seit 24.08.21

Erprobungsgenehmigung nach §19 StVZO

DEKRA-Abnahme der Releases „Spurfolgen“, „Objektfolgen“, aktuell Entwicklung und Test „Haltestellen- und Kreuzungs-Management“

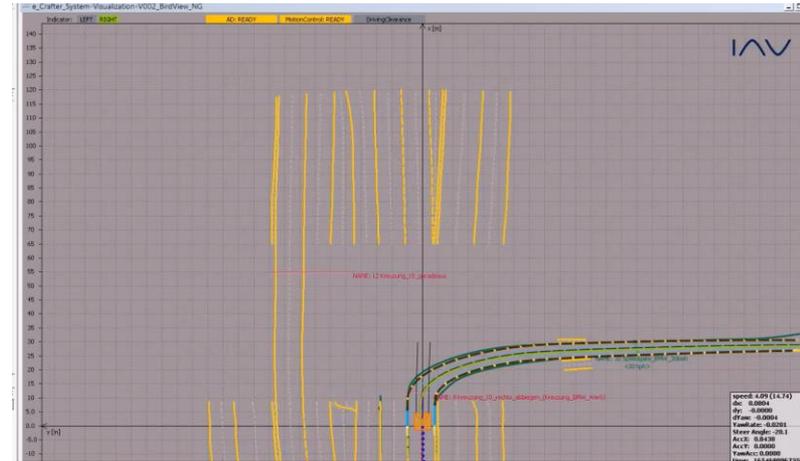


Abbiegen, Reaktion auf Verkehrsteilnehmer

Fahrsicht



Fahrplanung



ABSOLUT

Infrastruktur für automatisiertes Fahren im ÖV



Ertüchtigung der Infrastruktur

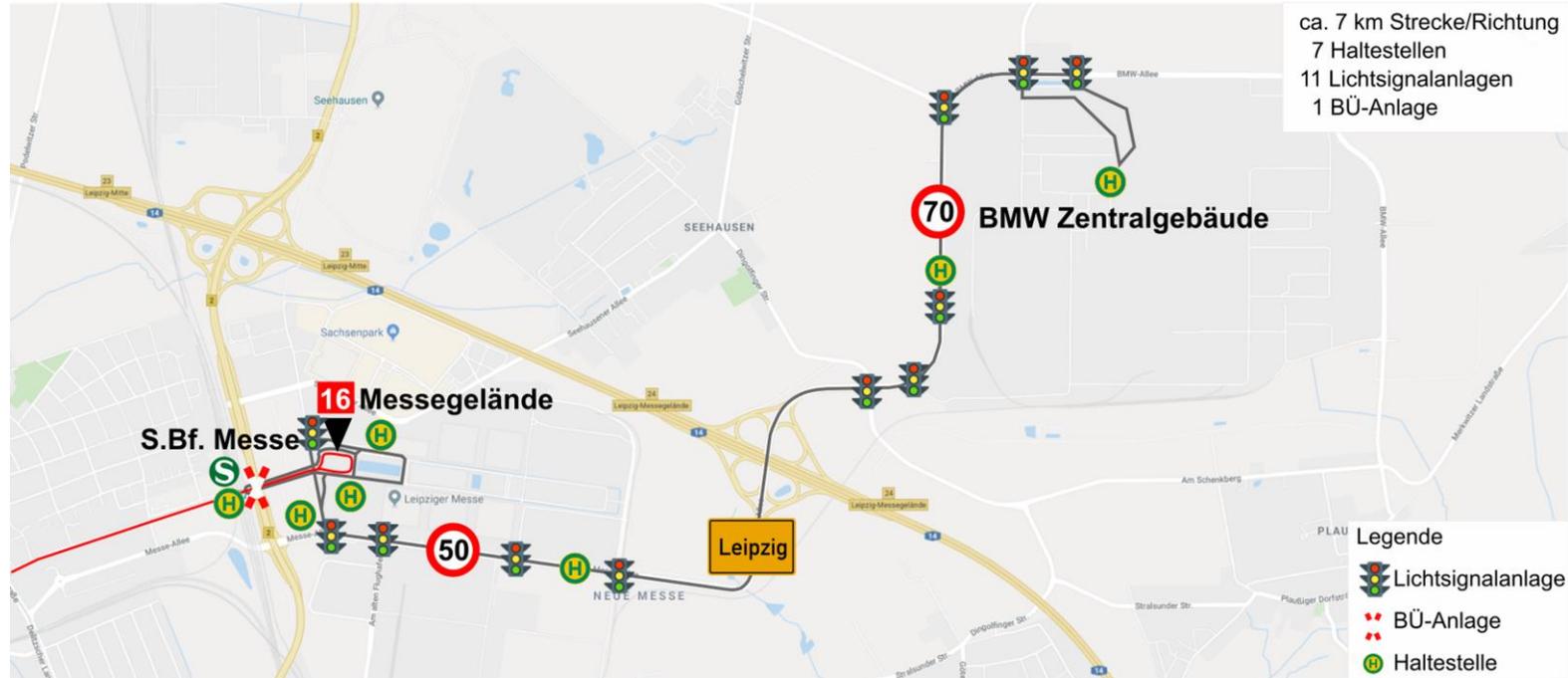
Ertüchtigung der Lichtsignalanlagen mittels C2X

Lidar-Referenzmarken am Wendehammer Leipziger Messe und der
Autobahnunterführung BAB 14

Barrierefreier Ausbau der Bushaltestelle „Messeverwaltung“

Ladestationen an der Leipziger Messe und am BMW Zentralgebäude

Streckenverlauf Linie 86A im Leipziger Nordraum



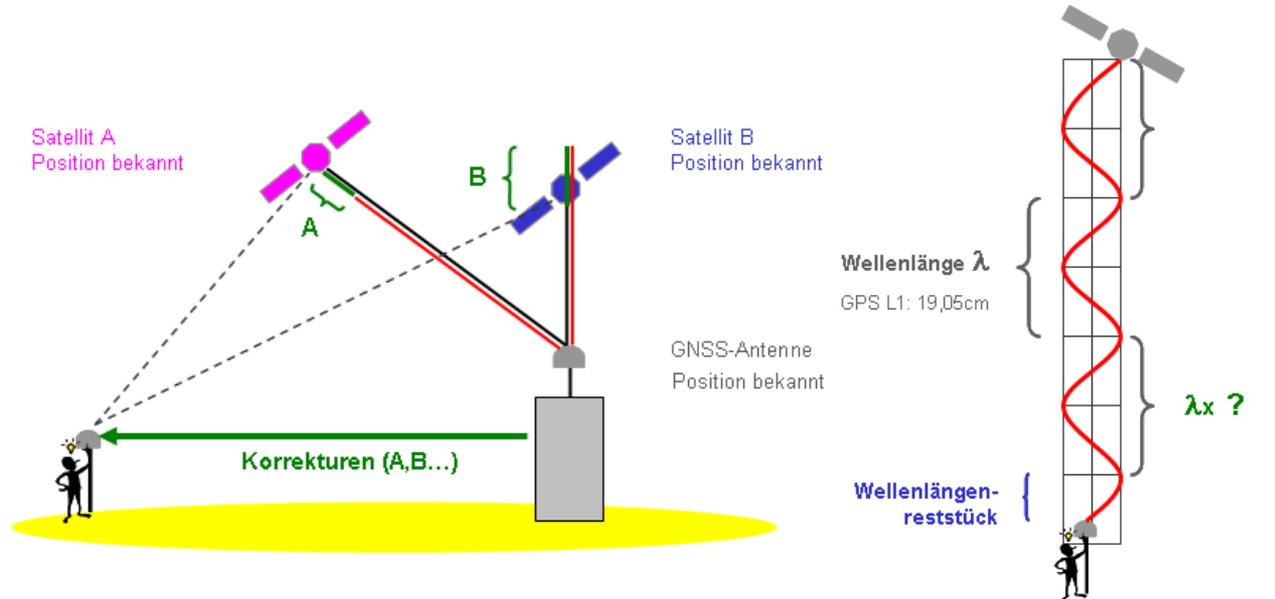
Stecke – GNSS-Referenzstation und Lokalisierung

Lokalisierung mittels GNSS in Echtzeit auf ± 5 cm

GNSS Referenzstation



Funktion D-GPS



Erweiterung $N \times \lambda$
Trägerphasenmessung („Fix“)

Herausforderungen GNSS Lokalisierung

Installation von insgesamt 17 Referenzmarken im Bereich Messe / Wendehammer



Ausblick

(Sicherheits)fahrerloser Betrieb als Voraussetzung für den **wirtschaftlichen Betrieb – ToDos:**

- **Sichere Verbindung** (Verfügbarkeit, Zugriffsschutz, Latenz, Bandbreite) von **Fahrzeug und (Tele)Operationszentrale / Leitstelle** (Disposition, Technische Aufsicht, Manöverfreigabe / Teleoperation) aktuell offen (u.a. OTA, qualifizierte IT-Infrastruktur, Pseudoredundanzen)
- **Erreichung sinnvolles Betreuungsverhältnis** für **technische Aufsicht / Fahrzeuge:** $\geq 1:5$
- **Definition u. Standardisierung des optimalen Infrastrukturbedarfs** (z.B. OTA-Schnittstelle an LSA, RSU auch SiL-qualifiziert, WLANp und/oder 5G,...) **zeitnah** notwendig
- Darstellbarkeit **Schlechtwetter-, Nacht- und Winterbetrieb** durch neue **Sensortechnologien** (Imaging Quality Radar, Multi-Spektral-IR-Kameras,...) und **Fusionsalgorithmen**
- **Sichere Funktionsarchitekturen** durch unabhängige Entwicklung, redundante Berechnung inklusive vereinfachter Plausibilisierungs- und Rückfallebenen
- **(Klein)serienfertigung** forcieren, frühzeitig gemeinsame Anforderungen auch aus suburbaner und ländlicher Perspektive definieren, Marktperspektive für Hersteller (Stückzahlen) aufzeigen, quasi-Standards etablieren

ABSOLUT

Dr.-Ing. Steffen Kutter
Professur für Fahrzeugmechatronik
steffen.kutter@tu-dresden.de

<https://tu-dresden.de/bu/verkehr/iad/fm>



<https://www.absolut-project.com/>