3. Länderübergreifendes ENERGIEFORUM

ABSOLUT und Walemo – Shuttleprojekte in Sachsen

Dr. Steffen Kutter
Professur für Fahrzeugmechatronik
Fachbereichsleiter Hochautomatisiertes Fahren, technischer Projektleiter ABSOLUT

Dr. Ronny Werner
Professur für Verbrennungsmotoren und Antriebssysteme

Leipzig, den 20.07.2021

Wie weit müssen wir gehen? Sonderstellung des ÖV:

Automatiserungs-Level	Stufe 0	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 4 ÖV	Stufe 5
Stufenbeschreibung	**Keine Automation**	**assistiert**	**teilautomatisiert**	**hochautomatisiert**	**vollautomatisiert**	**fahrerlos im spezifischen ÖV-Anwendungsfall**	**fahrerlos**
technische Fahreraufgaben	Fahrer führt dauerhaft längs- **und** Querführung aus	Fahrer führt dauerhaft längs- **oder** Querführung aus	Fahrer muss das System dauerhaft überwachen	Fahrer muss das System dauerhaft nicht mehr dauerhaft überwachen aber potentiell übernehmen.	Kein Fahrer erforderlich im spezifischen Anwendungsfall (bsp. Autobahn-Pilot, Staupilot, einparken)	Kein Fahrer im Fahrzeug im **ÖV-Betrieb auf spezifischer Linie oder im spezifischen Bedienungsgebiet** anwesend	Von **„Start" bis „Ziel"** ist kein Fahrer erforderlich
technische Systemaufgaben	Kein eingreifendes Fahrzeugsystem aktiv	System übernimmt die jeweils andere Funktion	System übernimmt Längs- und Querführung in einem spezifischen Anwendungsfall	System übernimmt Längs- und Querführung im spezifischen Anwendungsfall. System erkennt Grenzen und fordert mit Zeitreserve zur Übernahme auf.	System **kann im spezifischen Anwendungsfall** alle Situationen automatisch bewältigen	System **kann** im ÖV-Betrieb auf spezifischer Linie oder im spezifischen Bedienungsgebiet dynamisch Fahraufgabe automatisch bewältigen. System und wird durch Leitstelle fakultativ unterstützt	Das System übernimmt die Fahraufgabe voll-umfänglich bei allen Straßen-typen, Geschwindigkeitsbereichen und Umfeld-Bedingungen.

Derzeitiger Stand Serienfahrzeuge mit Assistenzfunktionen

Zielmarke „Hochautomatisierter ÖPNV"

Zielmarke „Autonomer MIV"

Randbedingungen und Einordnung

- 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 und keine Konkurrenz zum Hochleistungs-ÖV
- Mangel an geeigneten Fahrzeugen für VUs
- Automatisierungsgrad „L4 ÖV“ als Zielvorgabe bis 2030 in Leipzig in Betrieb, frühzeitige Auseinandersetzung notwendig, ABSOLUT als erster Schritt

Einordnung:

- Strategisches Forschungsprojekt des BMWi und kein reines Demonstrationsprojekt
- Sowohl Fahrzeugklasse M1 (bis 3,5 t, „Pkw“ – VW e-Crafter) als auch M2 (bis 5 t mod. EZ10), damit volles Anforderungsspektrum für Zulassung

Duales Fahrzeugkonzept EasyMile EZ10 & VW e-Crafter

EasyMile EZ10 G2

Reines X-by-Wire-Fahrzeug

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

Höheres techn. / Zulassungsrisiko

VW eCrafter

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

Identische Sensorik und Automatisierungssystem beider Fahrzeuge, Nachweis Plattformansatz

X-by-Wire als Enabler für Vollautomatisierung

Joystick
Throttle / Brake-by-Wire

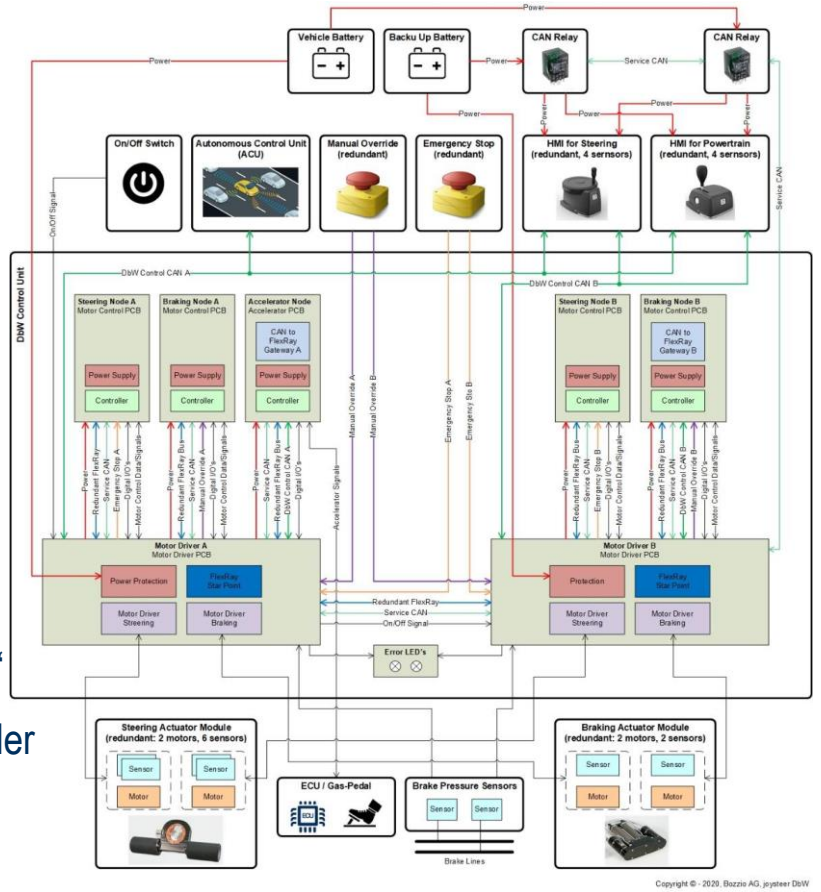
Mikro Lenkrad
Steer-by-Wire

nur EZ 10

Joysteer DbW

Bozzio Joysteer DbW:

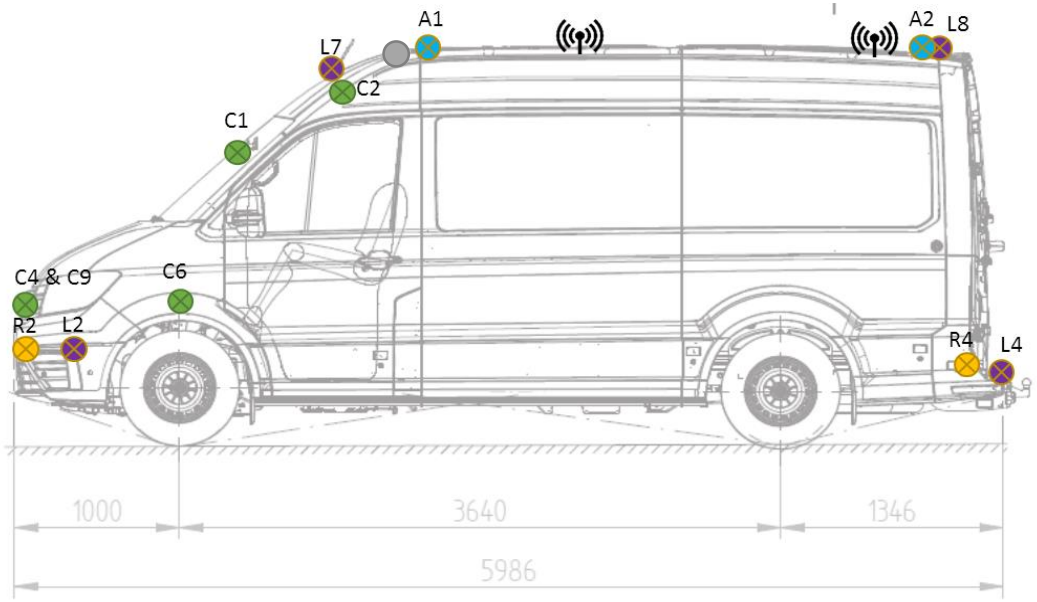
- 100 % Drive-by-Wire-Technologie
- Redundantes System zur „Lenk- und Bremsfunktion“
- Fahren mit digitalen CAN-Schnittstellen (autonom oder über Bedienelemente)
- Funktionale Sicherheit in Anlehnung an ISO 26262
- Straßenzulassung nach ECE R79 (Lenkung) und ECE R13H (Bremse)

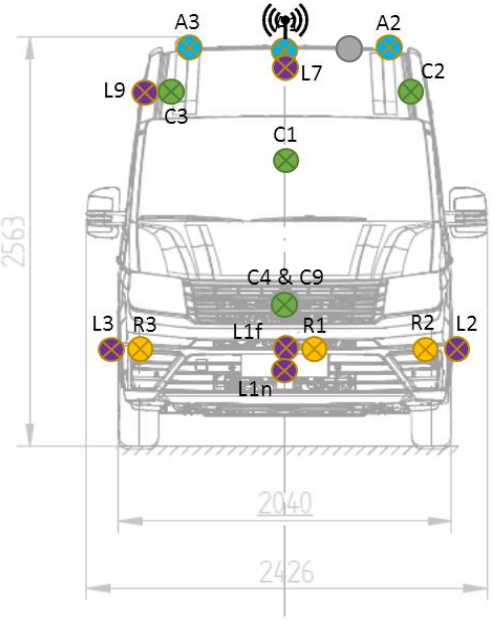


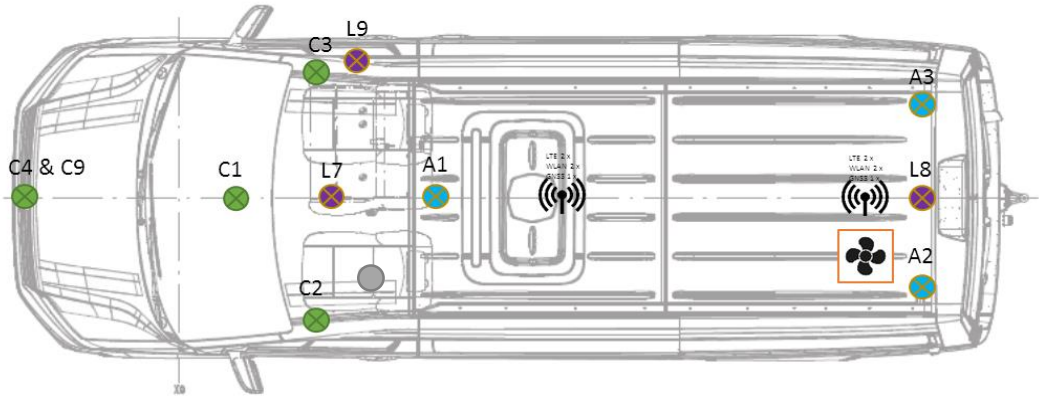
Impressionen e-Crafter

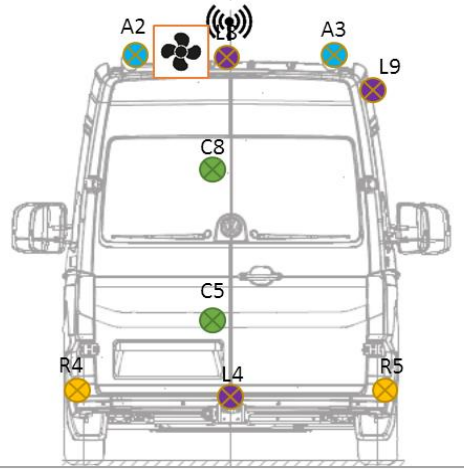
e-Crafter IT-Rack – Rechenleistung benötigt Bauraum

e-Crafter Sensoranordnung (EM EZ10 äquivalent)









Sensorik

8x Kamera (Sekonix)
1x IR-Kamera (Flir)

5x Sektor Lidare (Ibeo)
2x 360° Lidare (Ouster)
1x 360° Lidar (Velodyne)

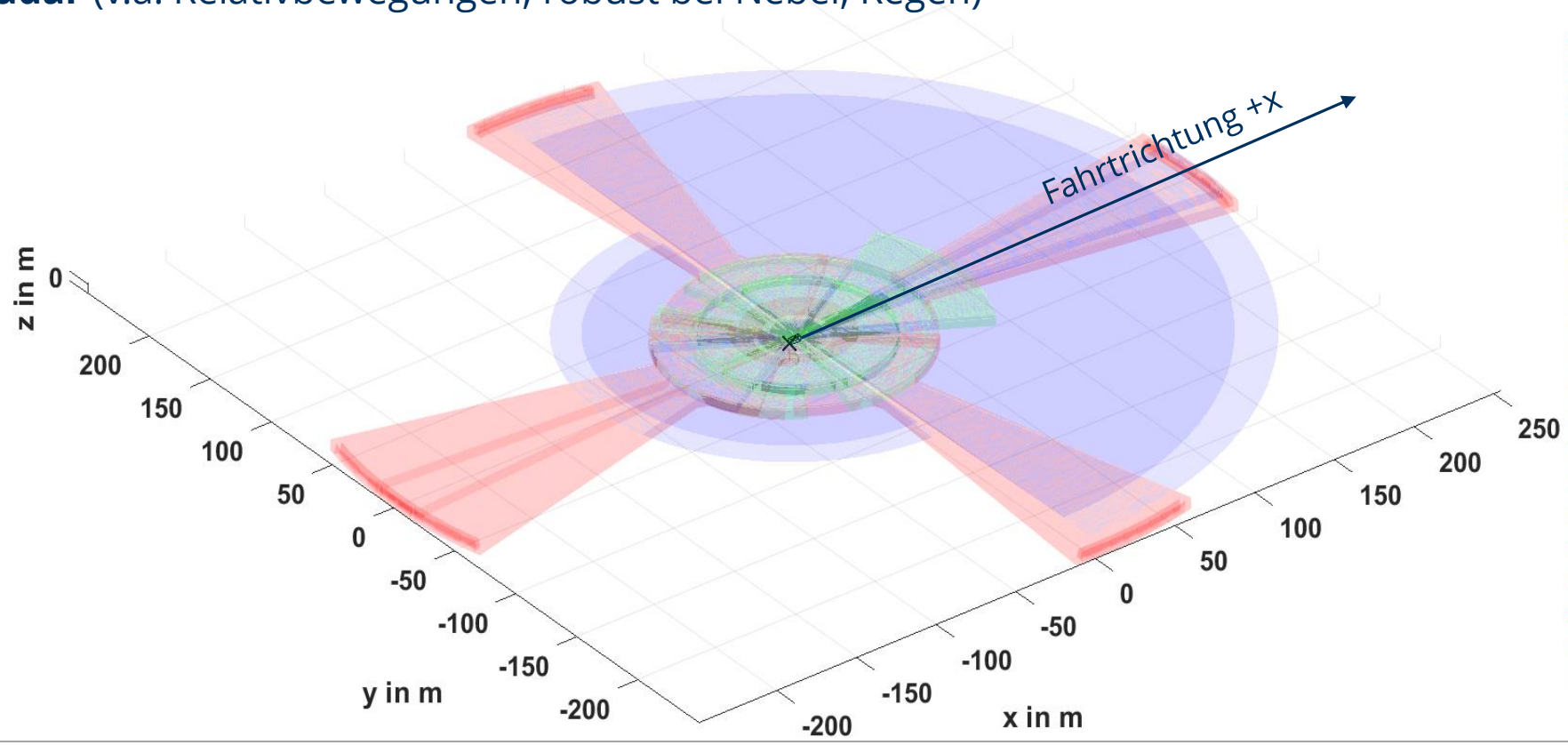
5 Radare (Conti ARS)

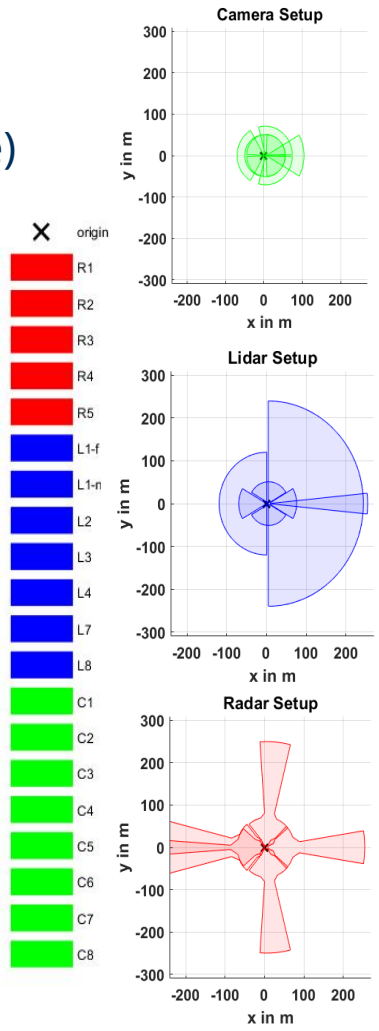
3x GNSS MSRTK inkl. Odometrie, IMU, zzgl. Erdmagnetfeldkompass

C2X-OBU

Sensorik zur 360°-Umfelderfassung

3 **unabhängige** Sensorsysteme mit im Kern überlappenden Erfassungsbereichen zur gegenseitigen Plausibilisierung und Fusion von Informationen
Lidar (v.a. SLAM, hochgenaue Objektpositionen, Freespace)
Kamera (v.a. Objektklassifikation, Spuren); **IR-Kamera:** Lebewesen als vulnerable Objekte)
Radar (v.a. Relativbewegungen, robust bei Nebel, Regen)





Computer Vision
Nutzung „Virtuelle Trainingsdaten“

Problem

- Bisher: „diffuse“ Objekte (z.B. Müll) auf Fahrbahn zwingen Fahrzeug zum anhalten
- Modelle zur robusten Klassifikation solcher Objekte bisher nicht vorhanden
- KI-basierte Klassifikationsmodelle benötigen große Mengen an spezifischen Trainingsdaten → „corner-cases“

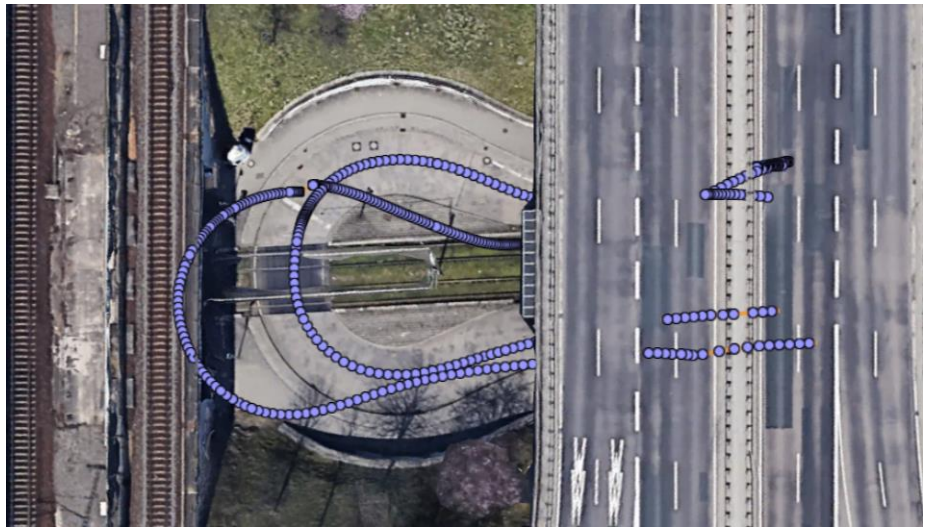
Lösungsansatz

- Generierung synthetischer Trainingsdaten für „corner-cases“ aus Simulation
- Erstellung von Modellen (Textur, Dynamik etc.) z.B. einer Plastiktüte (siehe Abb. rechts)
- Training von Klassifikationsmodellen in zufallsbasierter Simulation

Blender-basierte Simulation von Plastiktüten zur Generierung synthetischer Trainingsdaten für Klassifikationsmodelle

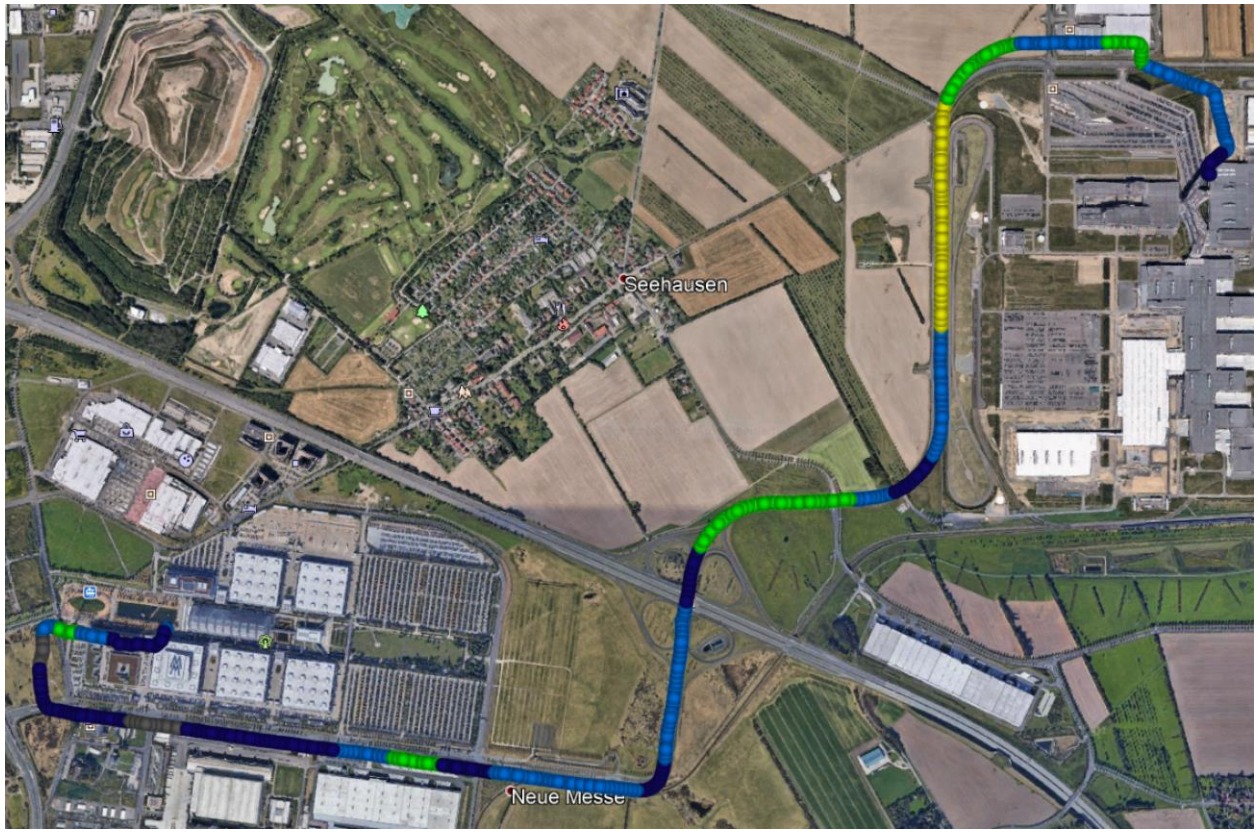
Lokalisierung mittels GNSS
auf der Strecke Leipzig

Positionsgenauigkeit GNSS



Kritisch: Positionierung im Wendehammer und vor BMW-Zentralgebäude (Abschattung GNSS, kaum LTE für Korrekturdaten, damit „Verschiebung“), „normale“ GNSS-MSRTK-Genauigkeit von 5 cm wird nicht erreicht
→Kombination mit Lidar-SLAM und Referenzmarken zwingend notwendig

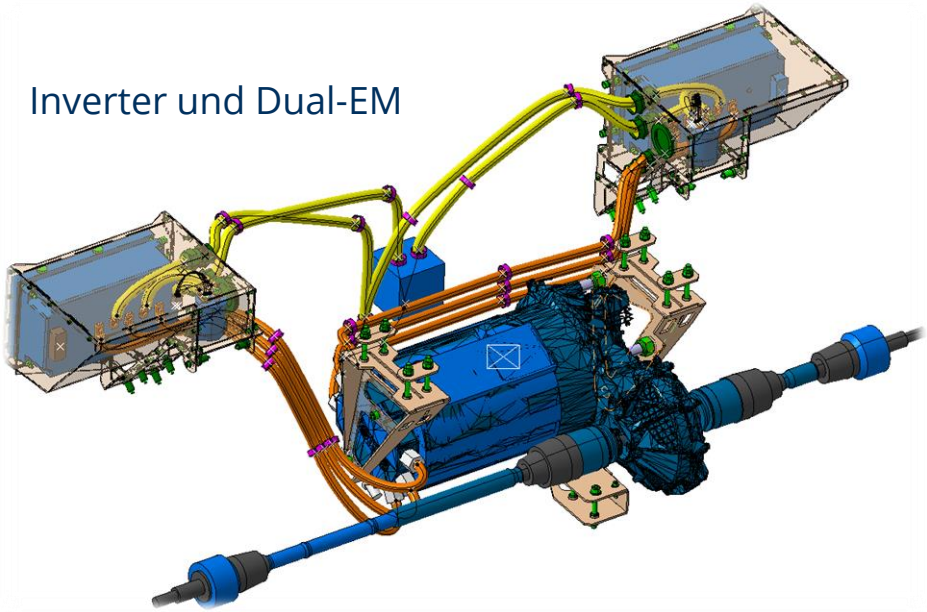
Empfangsstärke LTE-Signal



Impressionen EasyMile - neuer elektrischer Antriebsstrang, neues Fahrwerk und X-by-Wire

Neuer Heckrahmen mit Luftfahrwerk und Dual-EM

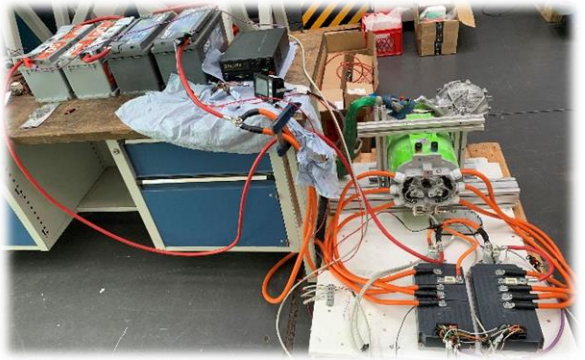
Inverter und Dual-EM



- Umbau der je 8 kW Achsantriebe auf 1 x 50 kW an der Hinterachse
- Getriebeintegration BMW i3
- Elektrische Integration für I>1.000 A mit zwei Umrichtern
- Anpassung der Antriebswellen (Reibschweißen)

Angepasste Antriebswellen

Motor-Inbetriebnahme



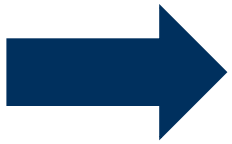
Automatisierter ÖPNV in der Stadt und auf dem Land

(Sub)urbaner Raum

- Automatisierte Verkehre **als Ergänzung** zum bisherigen ÖPNV, Erhöhung zeitlicher und räumlicher Verfügbarkeit (Komfort)
- gute ITK-Infrastruktur (4G…5G Abdeckung, ITS-G5, zentrales Verkehrsmanagement)
- gute, zentralisierte Lade- / Tankinfrastruktur (Betriebshöfe)
- Regional begrenzte Linien / Umläufe
- Meist signalisierte Kreuzungen, klare Verkehrsführung, …

Ländlicher Raum

- Automatisierte Verkehre **als Enabler** des ÖPNVs zur **Mobilitätssicherung**
- Limitierte ITK, Lade- / Tankinfrastruktur, räumliche Verteilung als Herausforderung
- hohe techn. Herausforderungen (Netzverfügbarkeit für Korrekturdaten, Leitstellenanbindung, Teleoperation, unsignalisierte Kreuzungen, Wechselverkehr, Bahnübergänge, variable Umwelt d. Vegetation, …)
- Emissionsneutralität trotz großer Streckenlängen, Dezentrale Flotte, Minimierung Infrastrukturkosten



Vorantreiben F&E zum fahrerlosen Betrieb (Funktionssicherheit, Verfügbarkeit, Teleoperation) – **ABSOLUT** ff. und zur Beherrschung der Herausforderungen im ländlichen Raum - **WALEMO**

Projektcluster WALEMO

WALEMO – Wasserstoffbasierte Automatisierte LEichtbauMObilität

Projekte im Cluster:

WALEMObase (eingereicht)

- Generierung Referenzdatensätze / -szenarien / -funktionen f. ländlichen Raum
- Umrüstung Peoplemover auf konkurrierende wasserstoffbasierte Antriebe
- Leichtbaukomponenten mit nachhaltiger lokaler Wertschöpfung

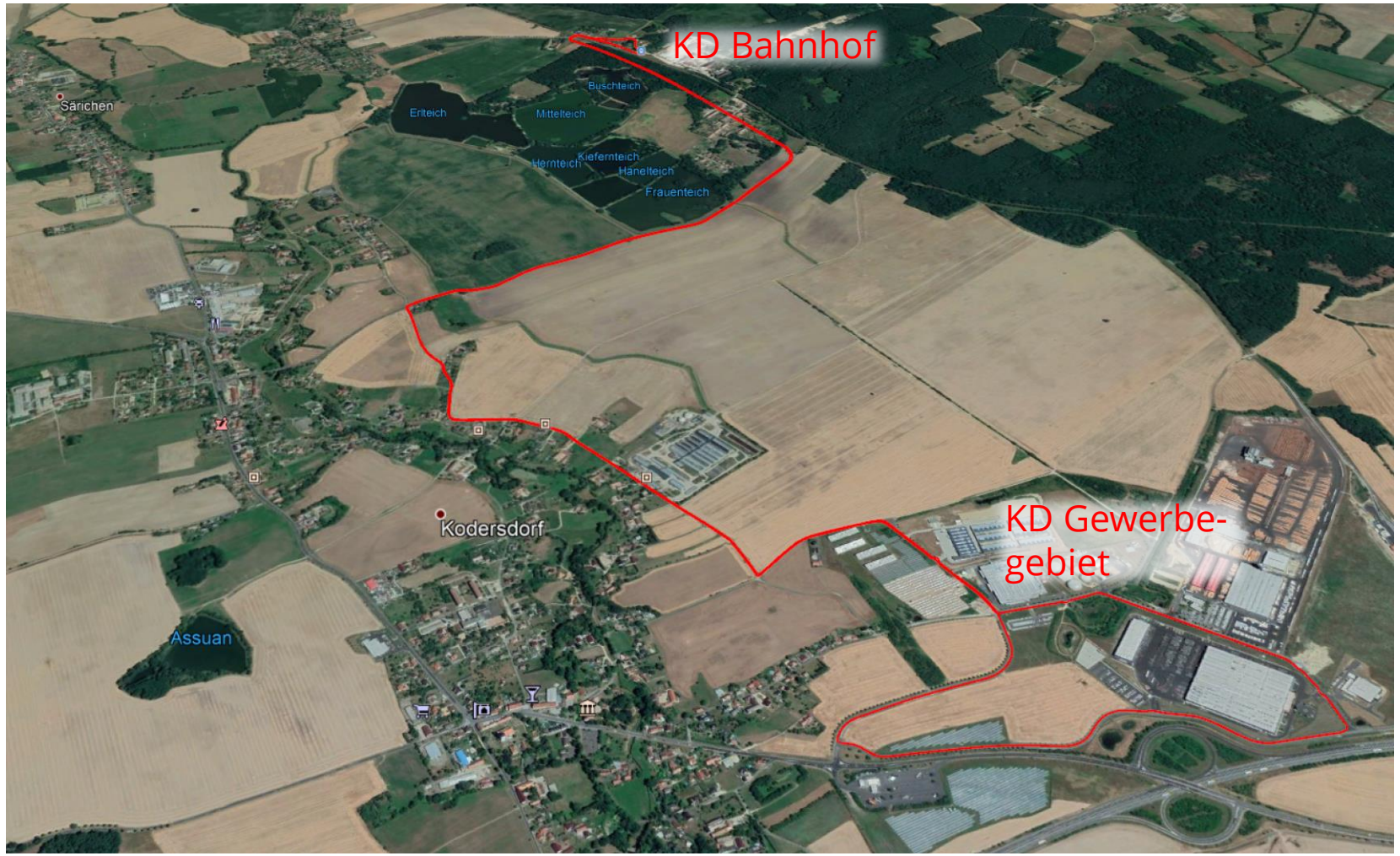
KOMBIdata (eingereicht)

- Infrastruktur f. automatisiertes Fahren im ländlichen Raum
- Vernetzter Referenzbahnübergang

KOMBIshuttle (in Vorbereitung)

- Hochverfügbarer autom. Fahrzeugbetrieb (Witterungstoleranz, Robustheit)

KOMBIdata / KOMBIshuttle - Hauptstrecke



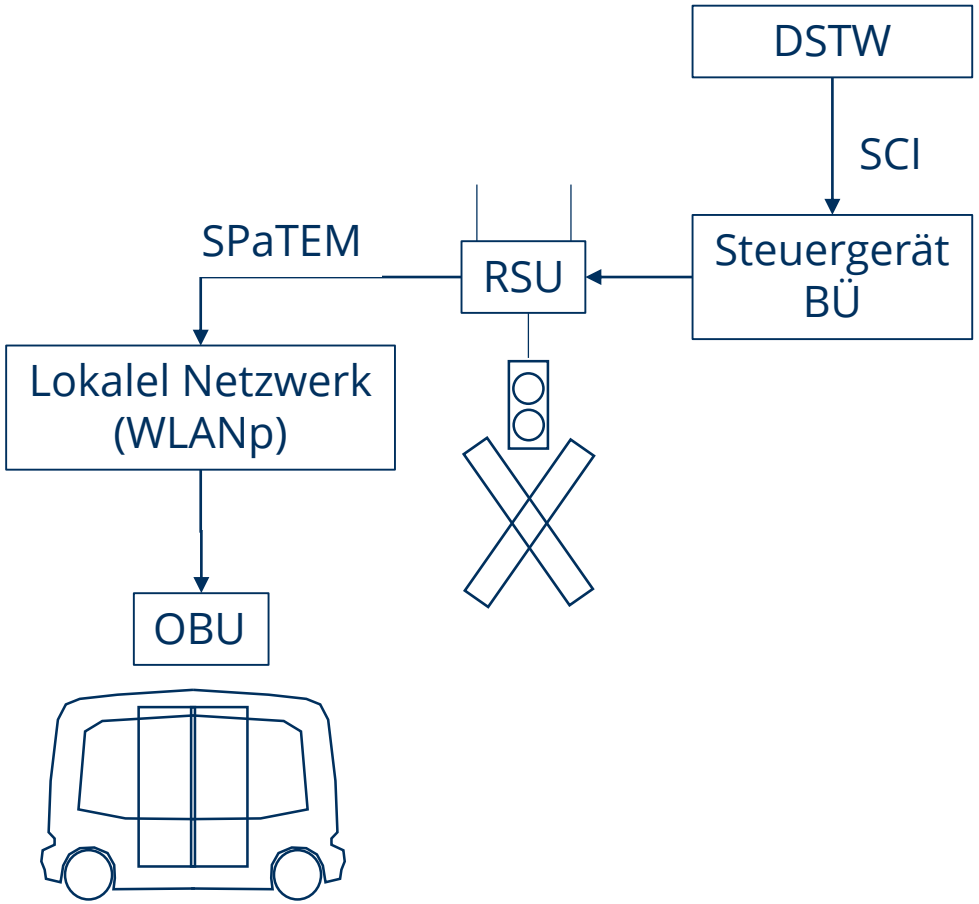
Hauptstrecke:

- Verbindung Gewerbepark KD und KD Bahnhof
- Ländlicher Raum
- Nebenstraßen ohne Fahrstreifenmarkierungen
- unsignalisierte Kreuzungen
- Vollbahn-BÜ
- wenige bauliche Referenzpunkte

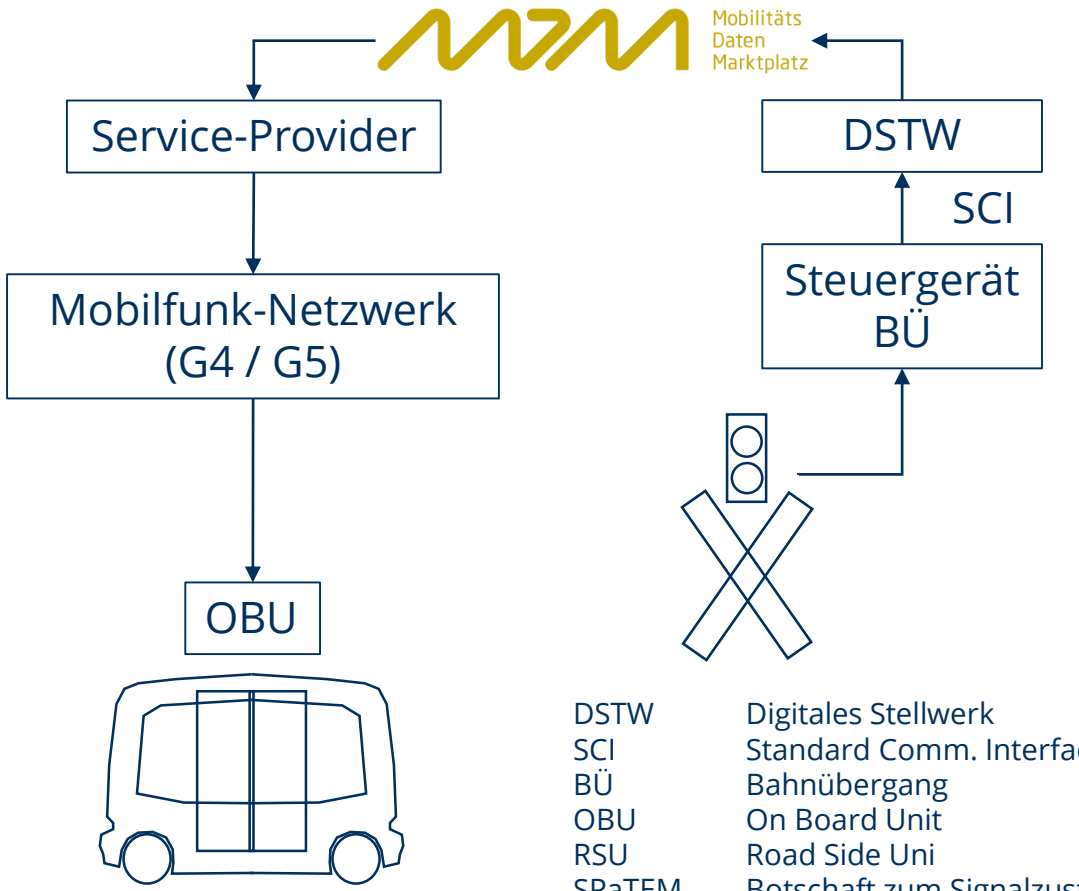
Ertüchtigung des Bahnübergangs
Variantenvergleich

KOMBI - LINE
Kodersdorfer Mobilität

Lokales C2X mit WLANp



Zentrales C2X mit Anbindung an MDM via Mobilfunk



DSTW	Digitales Stellwerk
SCI	Standard Comm. Interface
BÜ	Bahnübergang
OBU	On Board Unit
RSU	Road Side Uni
SPaTEM	Botschaft zum Signalzustand

WALEMObase

Zentrale Thesen:

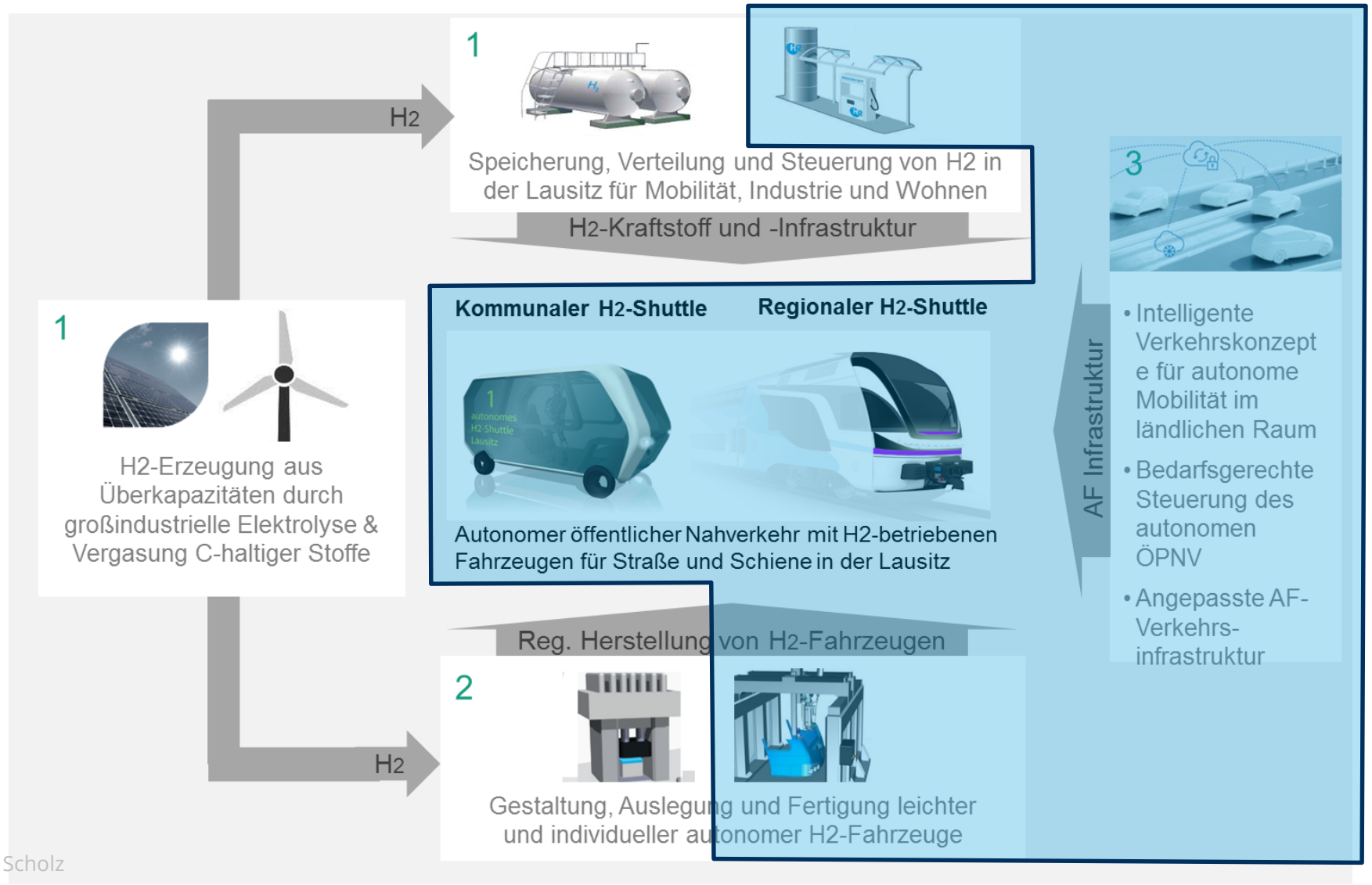
In der ländlichen Fläche funktioniert ÖV wenn ….

1. … eine hohe Anzahl kleiner **automatisierter Fahrzeuge** bedarfsgerecht eingesetzt werden und als Zubringer für den Hochleistungs-ÖV an Knotenpunkten fungieren.
   → **Mobilitätsverfügbarkeit** im Sinne einer zeitlichen und örtlichen Abdeckung
2. … trotz der hohen Umlauflängen und Einsatzzeiten **CO_2-neutrale Antriebe** eingesetzt werden.
   → **klimaschonender Einsatz von Ressourcen und hohe Effektivität**
3. … die **Infrastrukturinvestitionen** (z. B. Ladesäulen, Tankstellen und Fahrzeuge) **beherrschbar** bleiben.
   → **Wirtschaftlichkeit / Verfügbarkeit von Technik**

Nur die „passende“ Kombination aus allen Kriterien ermöglicht die nachhaltige Wandlung im ÖV

„WALEMObase“ als Technologiedemonstration außerhalb der Komfortzone „Stadt“

WALEMO



Quelle: Fraunhofer IWU, Prof. Scholz

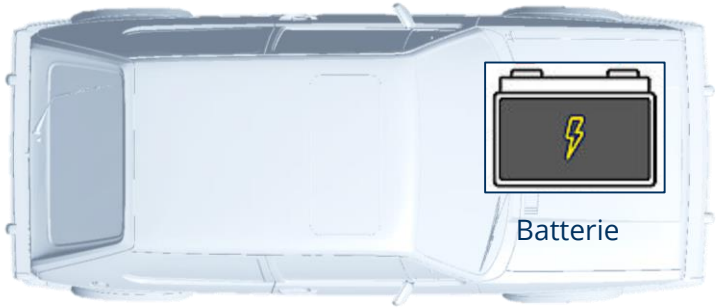
Antriebskonzepte für den ÖPNV (Fokus ländlicher Raum)

Mobilitätsanforderungen an den Antrieb

- Geschwindigkeit
- Reichweiten
- Fahrdynamik
- Tank- und Servicezeiten
- Verfügbarkeit

CO_2 – neutraler Antrieb
auf Basis Batterie

e^-

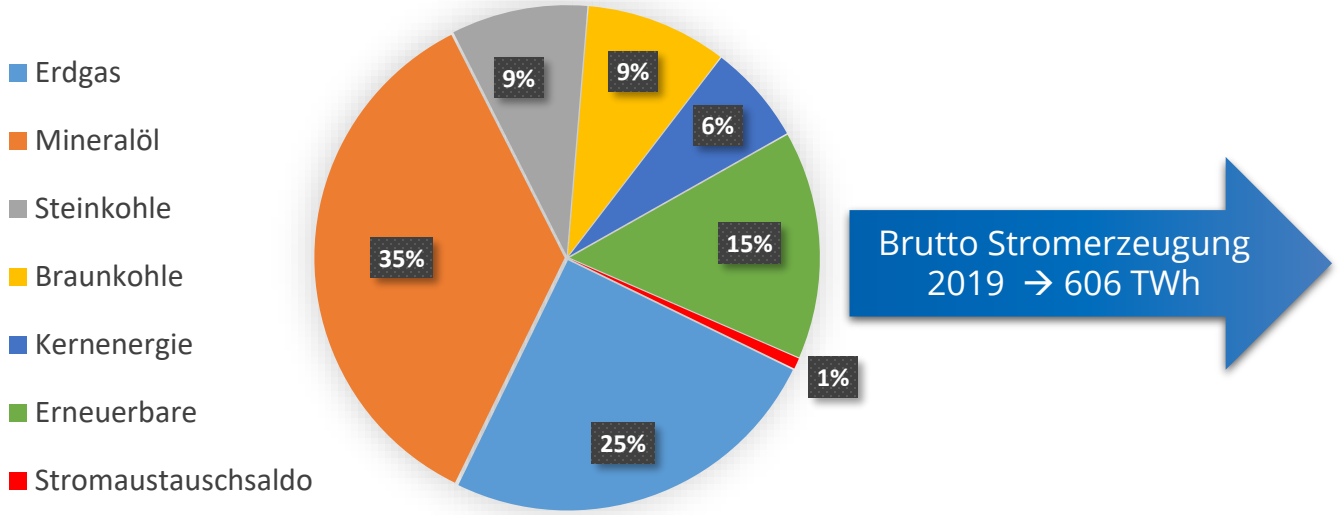


CO_2 – neutraler Antrieb
auf Basis eWasserstoff

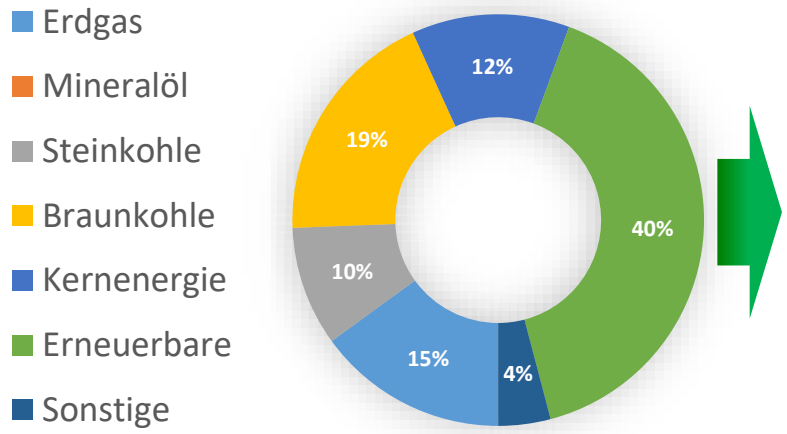
H_2

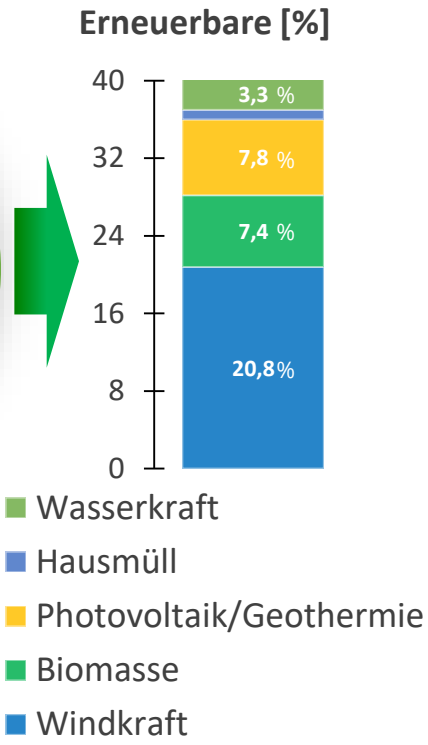
… ? ? ?

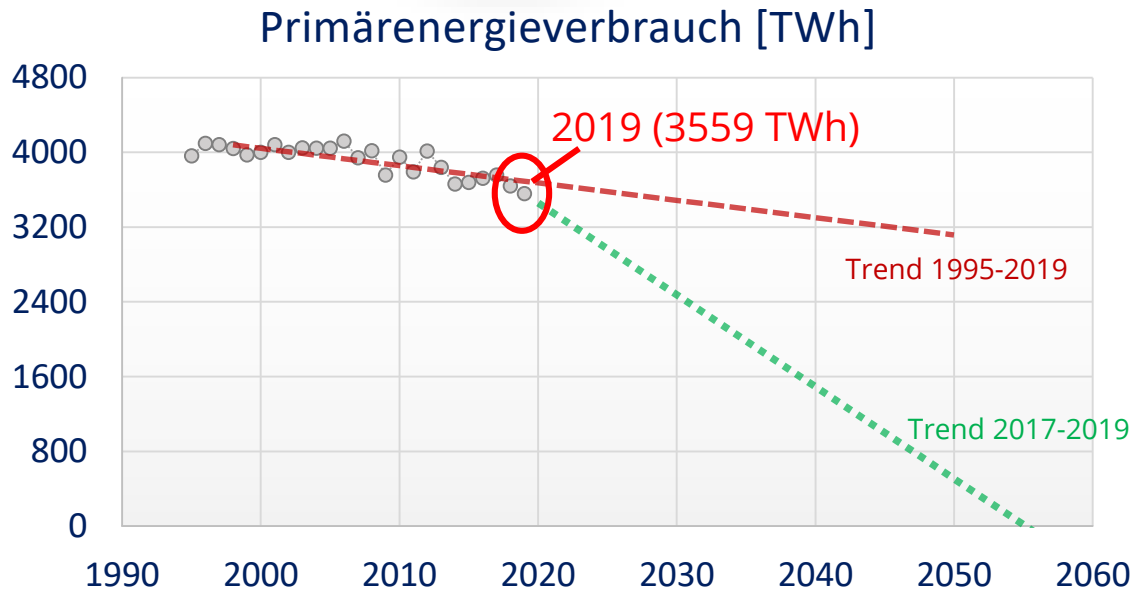
Entwicklung des Primärenergieverbrauchs in Deutschland (Stand 2019)



Brutto Stromerzeugung 2019 → 606 TWh







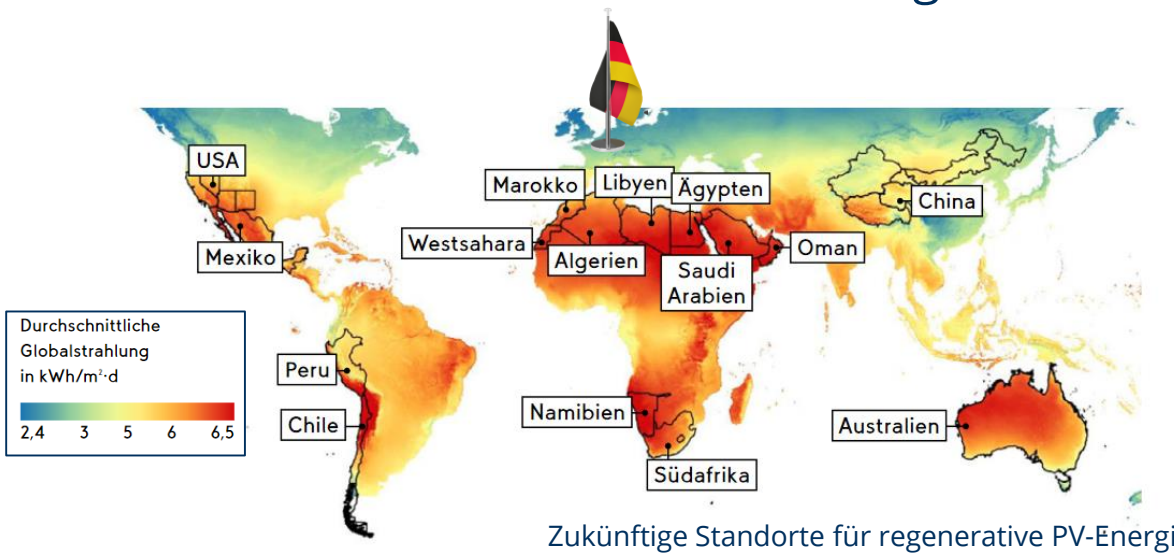
Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen

Schlussfolgerungen:

1. $^{1}/_{7}$ des Primärenergieverbrauch durch erneuerbare Energien abgedeckt
2. $^{1}/_{20}$ des Primärenergieverbrauchs durch Wind- und Photovoltaikanlagen abgedeckt
3. **Deutschland wird immer auf Energieimporte angewiesen sein**

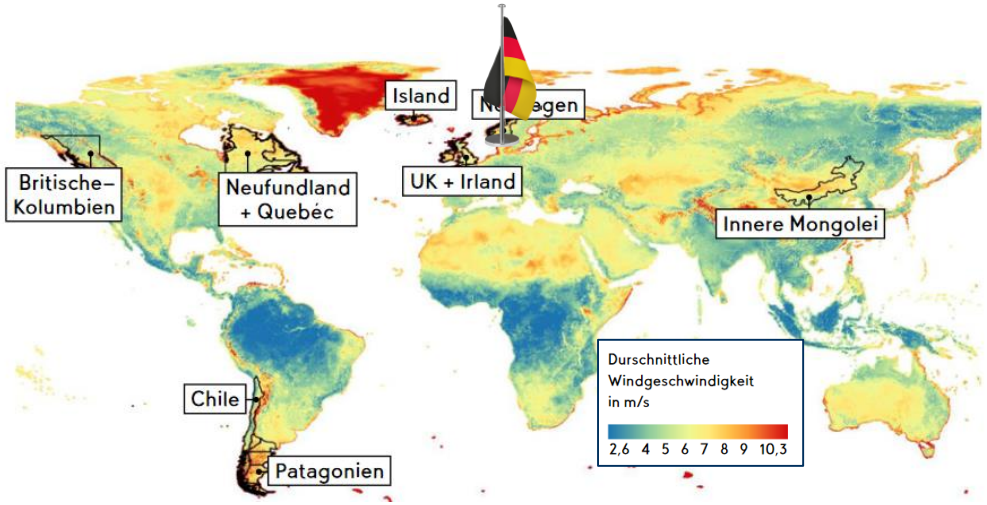
Wie und in welcher Form kommt die Energie zukünftig nach Deutschland?

Mittlere Sonneneinstrahlung



Zukünftige Standorte für regenerative PV-Energie auf Basis der Basis der Globalstrahlung [1]

Mittlere Windenergie



Zukünftige Standorte für regenerative Windenergie auf Basis der mittleren Windgeschwindigkeit auf 50 m Höhe [2]

Schlussfolgerungen:

1. Zwischen dem Ort der regenerativen Energiegewinnung und dem Verbraucher wird in Zukunft immer eine deutliche Entfernung liegen.
2. Kabelquerschnitte und -längen stellen keine praktikable Lösung dar.
3. Es werden umsetzbare Lösungen gesucht, die einen Energietransport mit möglichst hohen volumetrischen Energiedichten ermöglichen: **Wasserstoff H_2** (flüssig -250 °C: 71 kg/m³ und **2343 kWh/m³**)
   Grüner Kraftstoff* aus H_2 und C_x* (z.B. Methanol: 790 kg/m³ und **4425 kWh/m³**)
   * Kohlenstoff aus Kreislaufwirtschaft, nicht aus fossilen Quellen

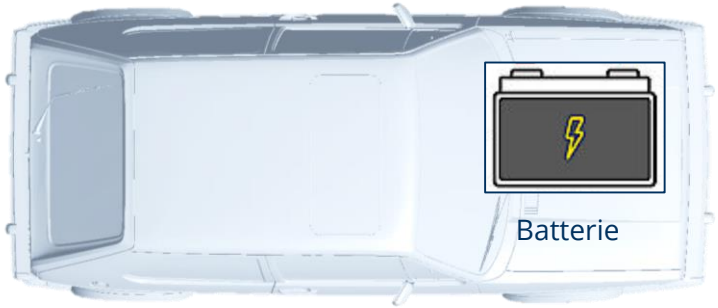
Antriebskonzepte für den ÖPNV (Fokus ländlicher Raum)

Mobilitätsanforderungen an den Antrieb

- Geschwindigkeit
- Reichweiten
- Fahrdynamik
- Tank- und Servicezeiten
- Verfügbarkeit

CO_2 – neutraler Antrieb
auf Basis Batterie

e^-



CO_2 – neutraler Antrieb
auf Basis eWasserstoff

H_2

CO_2 – neutraler Antrieb
auf Basis eMethanol*

CH_3OH

* Kohlenstoff aus Kreislaufwirtschaft, **nicht** aus fossilen Quellen

Inhalte von WALEMObase

WALEMO liefert umsetzbare Antworten:

- Potentiale
- Einsatzmöglichkeiten
- Synergieeffekte
- Verfügbarkeit
- Grenzen

Automatisierte Wasserstoffmobilität für den ländlichen Raum der Lausitz

- Antriebsquellen im direkten Vergleich in der Anwendung: Batterieelektrisch, Brennstoffzellen und die Nutzung H_2-basierte Kraftstoffe
- Referenzdaten für automatisierten, fahrerlosen Betrieb im ländlichen Raum mit automatisierten Betriebsabläufen

Kernpunkte der Entwicklung im Forschungsprojekt:

- innovative CO_2-neutrale Antriebsstrangkonzepte
  - Optimierung des Einsatzes einer Brennstoffzelle
  - neue grüne H_2-basierte Kraftstoffe für den zukünftigen Einsatz
- bedarfsgerechte Fahrstrategien / Energiemanagement / Hybridisierung
- Nachhaltige Leichtbaustrukturen für den Einsatz in Fahrzeuganwendungen

→ Technologiezugang für KMUs (H2, Auto. Fahren), Stärkung lokaler Wertschöpfungsketten, Lausitz als Energie- und Mobilitätsregion

Interessierte Partner für Zusammenarbeit in WALEMO

SIEMENS
Hochschule Zittau/Görlitz
LEAG
DRS
MoviaTec

Vernetzung: H_2-Kraftwerk Spremberg, Fraunhofer HLG, Innovationscampus GR

H_2-ERZEUGUNG UND -VERTEILUNG

ZVON
Mein Zuhause Landkreis Görlitz
budyšin bautzen DER LANDKREIS
VCi
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

Vernetzung: 5G-Modellregion, CASUS (GR), KI-Kompetenzzentrum, AF-Testfeld Lausitzring

AUTONOMER ÖPNV

Hochschule Zittau/Görlitz
TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN
IAD
TECHNISCHE UNIVERSITÄT CHEMNITZ
Fraunhofer IWU
TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
digades transmission as a vision
tracetronic
miunske AUF DEN PUNKT
iav
Lakowa
LSE
CAPRON Die Reisemobil-Fabrik.
havlat PRÄZISIONSTECHNIK SEIT 1980

Vernetzung: Zweigcampus TU Dresden in GR „Automatisierte Wasserstoffmobilität“, Leichtbauallianz Sachsen, Innovationscluster HZwo, Exzellenzcluster MERGE

HERSTELLUNG VON AUTONOMEN H_2-NAHVERKEHRSFAHRZEUGEN

Kontaktdaten:

Dr. Steffen Kutter

steffen.kutter@tu-dresden.de

Dr. Ronny Werner

ronny.werner@tu-dresden.de

Links:

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

https://tu-dresden.de/bu/verkehr/iad/fm/forschung/forschungsprojekte/projekt-absolut

https://www.youtube.com/watch?v=msu8ZG1CR4o