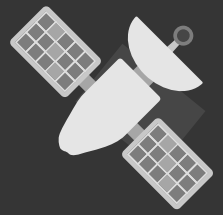
Automatisierter ÖPNV als Gamechanger der Mobilitätswende

MKK FORUM 2030: Kongress für Transformation, Digitalisierung und Mobilität

PwC
11. Juni 2025

Über folgende Themen möchte ich heute mit Ihnen sprechen



Wirtschaftliche und betriebliche Herausforderungen des klassischen ÖPNV

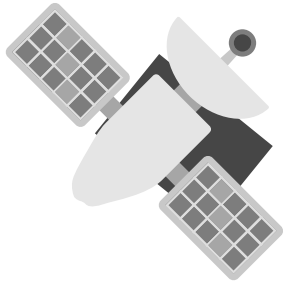
Wirtschaftliche und betriebliche Potenziale des autonomen ÖPNV

Rahmenbedingungen/ Anforderungen an Verkehrsunternehmen beim autonomen ÖPNV

kurzer Marktüberblick

Meilensteine auf dem Weg zum autonomen ÖPNV

Wirtschaftliche und betriebliche Herausforderungen des klassischen ÖPNV



Die ÖPNV-Branche steht aktuell vor großen Herausforderungen

Mobilitätswende

- Mobilitätssicherung als zentraler Bestandteil der **Daseinsvorsorge** im Sinne gleichwertiger Lebensverhältnisse
- Hessenvertrag: „Bus- und Bahnverbindungen müssen überall verlässlich, pünktlich, regelmäßig und **flächendeckend verfügbar** sein.“
- angestrebte **Klimaneutralität** bis zum Jahr 2045

Fahrermangel/-bedarf

- aktuell **fehlen** bereits rund **20.000 Busfahrer** bei den öffentlichen und privaten Busunternehmen in Deutschland
- über **3.000 Fahrer** fehlen zudem im **schienengebundenen ÖPNV**
- bis 2030 gehen **jährlich ca. 4.000 bis 6.000 Fahrer** in den Ruhestand

Verkehrssicherheit

- ÖPNV bereits relativ **sicheres** Verkehrsmittel
- **ca. 2,8 Tsd. Getötete** und **50 Tsd. Schwerverletzte** im Straßenverkehr 2024
- **„Vision Zero“** mit Ziel, die Zahl der Verkehrstoten im Straßenverkehr **bis 2030 um 40 %** zu **senken** und der Schwerverletzten erheblich zu reduzieren

Kosten/Finanzierung

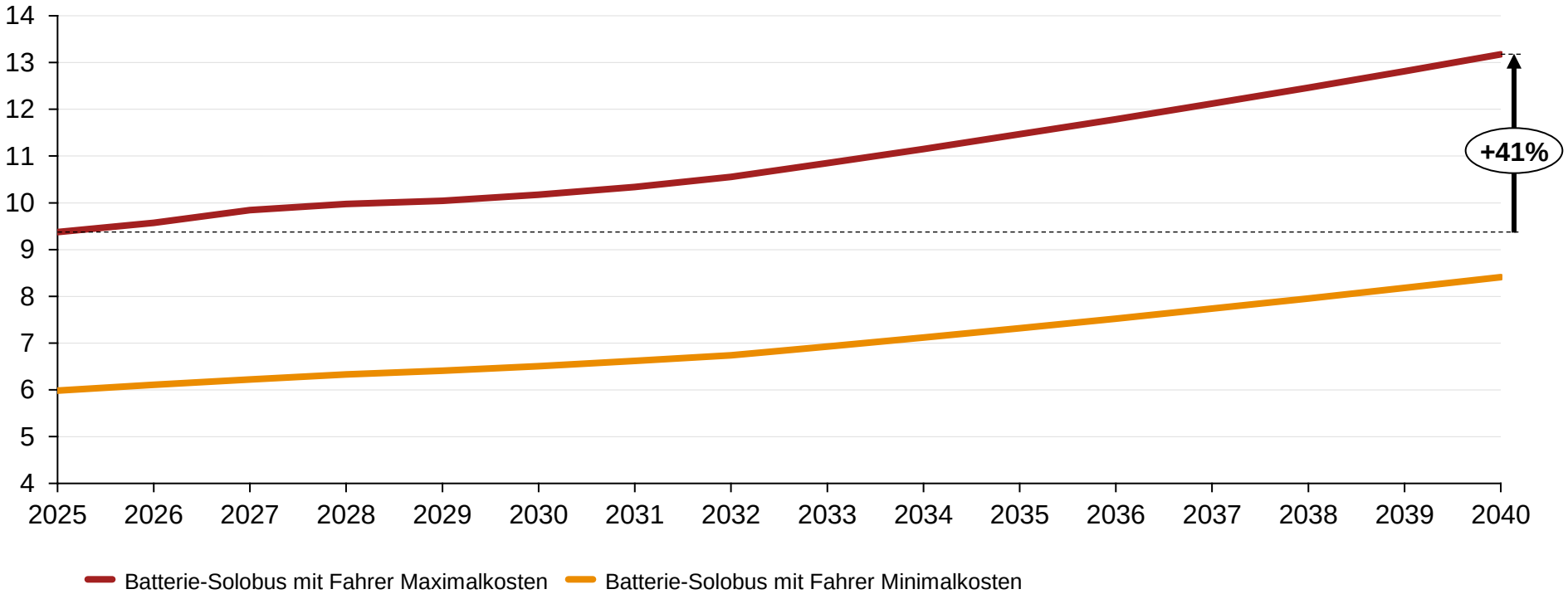
- deutliche **Kostensteigerungen** in den letzten Jahren, insbesondere auch für Personal
- Möglichkeiten zur Erhöhung der Einnahmen durch **Deutschland-Ticket** begrenzt
- umfangreicher **Investitionsbedarf**, z.B. für die Antriebswende

→ Wie ist die Situation bei Ihnen?

Kosten im ÖPNV werden weiter deutlich steigen

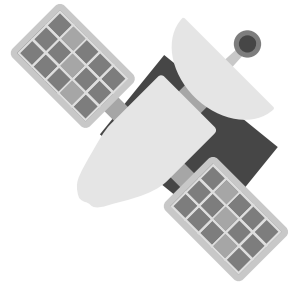
Minimal- und Maximalkosten eines batteriebetriebenen Solobusses mit Fahrer von 2025 bis 2040

Kosten pro Kilometer mit batteriebetriebenen Solobussen mit Fahrer im ÖPNV 2025-2040 in €/km



- Die Kosten pro Kilometer werden bis zum Jahr 2040 **um mehr als 40% steigen**
- **Bandbreite bei den Vollkosten**, u.a. durch betriebliche Rahmenbedingungen, Angebots- und Qualitätsstandards sowie unternehmerische Effizienz
- **Etwa die Hälfte** der Kosten entfällt auf die **Fahrpersonalkosten**

Wirtschaftliche und betriebliche Potenziale des autonomen ÖPNV

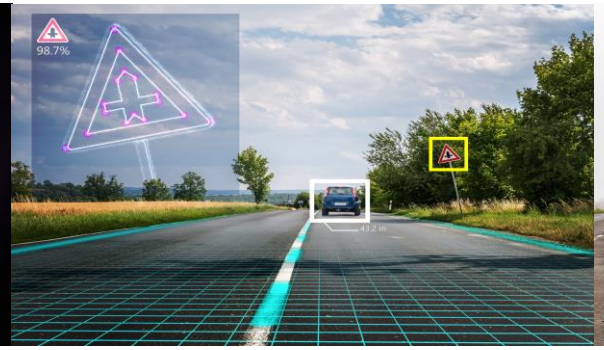


Automatisiertes Fahren wird ein Gamechanger im ÖPNV sein, v.a. in ländlichen Räumen – erfordert aber eine frühzeitige strategische Planung

Automatisierter ÖPNV als …

… Instrument zur Einführung von neuen Angebotskonzepten (insb. Flächenverkehre) zur **Erhöhung des Service-Levels**

… eine Antwort auf den bereits existenziellen und weiter zunehmenden **Fahrpersonalmangel**



… Möglichkeit zur Erhöhung der **Verkehrssicherheit** sowie der **betrieblichen Effizienz**

… Chance zur **Reduzierung der Kosten** bzw. des weiteren Kostenanstiegs bei gleichzeitiger **Skalierbarkeit** bzw. „mehr ÖPNV fürs gleiche Geld“

Wir empfehlen die Untersuchung der wirtschaftlichen Potenziale in Form von detaillierten Business-Case-Analysen

PwC-Kalkulations- und Analysetool:

Wir erfassen das Mengengerüst für den Einsatz der Robofahrzeuge (Shuttle/Bus):

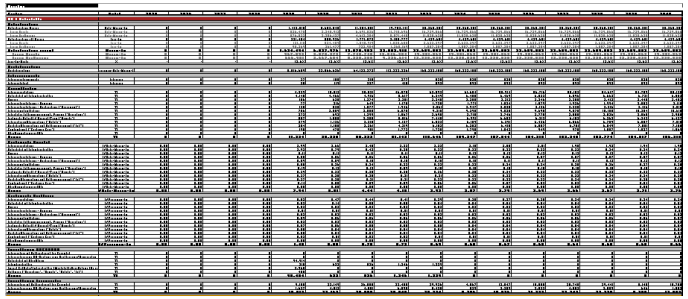
- Anzahl Fahrzeuge im Spitzeneinsatz sowie inkl. Reservefahrzeuge
- Fahrplan-km sowie Wagen-km
- Beförderungszeit und Personaleinsatzstunden bzw. Personalbedarf.

und verknüpfen dieses mit dem Wertgerüst auf Ebene der unternehmerischen Funktionsbereiche:

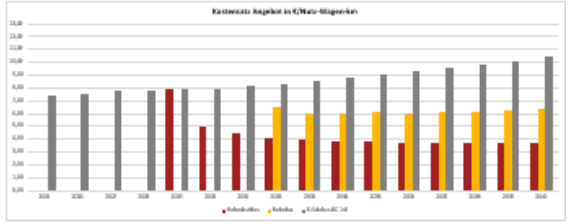
- Fahrzeugvorhaltung
- Energie
- Fahrzeugbereitstellung
- Fahrzeuginstandhaltung
- Technische Aufsicht
- Verkehrsüberwachung
- etc.

Ansatzpunkte der Analyse

- **ganzheitliche Abbildung** eines Verkehrsunternehmens beim Einsatz von Robo-Fahrzeugen unter Berücksichtigung des konkreten Leistungsbildes
- **Gegenüberstellung** des (fortgeschriebenen) **Status quo** ohne Einsatz von Robo-Fahrzeugen
- Betrachtung über frei wählbaren Zeitraum in **Jahresscheiben**
- Identifikation von **Optimierungspotenzialen**
- **Transparente Darstellung:** Dokumentation der zugrundeliegenden Mengen und Prämissen sowie Nachvollziehbarkeit der einzelnen Berechnungen
- **Simulationsmöglichkeiten:** Betrachtung von Szenarien (z.B. bzgl. Fördermittel) sowie Sensitivitätsanalysen (z.B. bzgl. Fahrzeugpreise)



beispielhafte tabellarische Darstellung



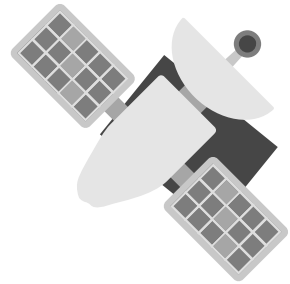
beispielhafte grafische Darstellung

Durch den Einsatz von hochautomatisierten Fahrzeugen können sich weitere (wirtschaftliche) Potenziale ergeben

Weitere Potenziale:

- **Kombinierter Einsatz von Robo-Shuttles und Robo-Bussen sowie fahrerbedienten Bussen:**
  in Abhängigkeit der Nachfrage bzw. der Einsatzzeit → Robofahrzeuge für Grundauslastung und konventionelle Busse für Spitzeneinsatz
- **Leistungsabhängige dynamische BC-Analyse / Optimierung:**
  erweiterte Business-Case-Untersuchung unter Berücksichtigung dynamisch veränderbarer Mengengerüste (als Angebotsvarianten)
- **Optimierte Umlaufplanung:**
  effiziente Neuverknüpfung von bestehenden Linien bzw. effiziente Verknüpfung von angepassten oder neuen Linien
- **Business-Case-Betrachtung unter Einbeziehung von Flächenverkehren:**
  Kostenvergleich zum klassischen Bedarfsverkehr oder als qualitative Angebotsverbesserung zu Kosten des klassischen Bus-Linienbetriebs
- **Optimierte Betriebshofsplanung:**
  flächeneffiziente Planung der Betriebshöfe unter Berücksichtigung des geplanten Fahrzeugeinsatzes (möglichst geringe Standzeiten)
- **Optimierung unter Einbeziehung des schienengebundenen ÖPNV:**
  temporärer Ersatz von schienengebundenen Verkehren durch Robo-Fahrzeuge
- **Erlöseffekte:**
  erweiterte Business-Case-Analyse unter Einbeziehung der Erlöseffekte im Zuge der Qualitätsverbesserungen

Rahmenbedingungen/ Anforderungen an Verkehrsunternehmen beim autonomen ÖPNV



Die AFGBV ist die zentrale Grundlage für den Betrieb von autonomen Fahrzeugen in Deutschland

1. **Genehmigungsverfahren:** Anforderungen an technische Ausstattung, Sicherheitsprüfungen und Zertifizierung durch Behörden
2. **Betriebsbereiche:** Darstellung des Streckennetzes mit Beschreibung des Betriebszwecks und der Betriebsbedingungen
3. **Technische Anforderungen:** Funktionale Anforderungen an Fahrzeuge (insb. Anlage 1) bzgl. dynamische Fahraufgabe etc.
4. **Sicherheitsvorkehrungen:** Vorgaben zum Sicherheitskonzept inkl. Notfallstrategien, um Risiken im Betrieb zu minimieren
5. **Datenmanagement:** Vorgaben zur Erfassung, Speicherung und Nutzung von Daten zur Nachverfolgung und Systemverbesserung
6. **Überwachung und Eingriffsmöglichkeiten:** Vorgaben zur technischen Aufsicht, die bei Bedarf im Betrieb eingreifen kann
7. **Berichterstattung und Dokumentation:** Pflicht zur Einreichung regelmäßiger Berichte über den Betrieb und etwaige Zwischenfälle

Das automatisierte Fahren im ÖPNV ist mit verschiedenen Herausforderungen verbunden

Einsatzpotenzial der neuen Technologie

Wann und in welcher Form können autonome Fahrzeuge im ÖPNV-Regelbetrieb eingesetzt werden?
→ **Hochlaufanalyse**

Kosten der neuen Technologie

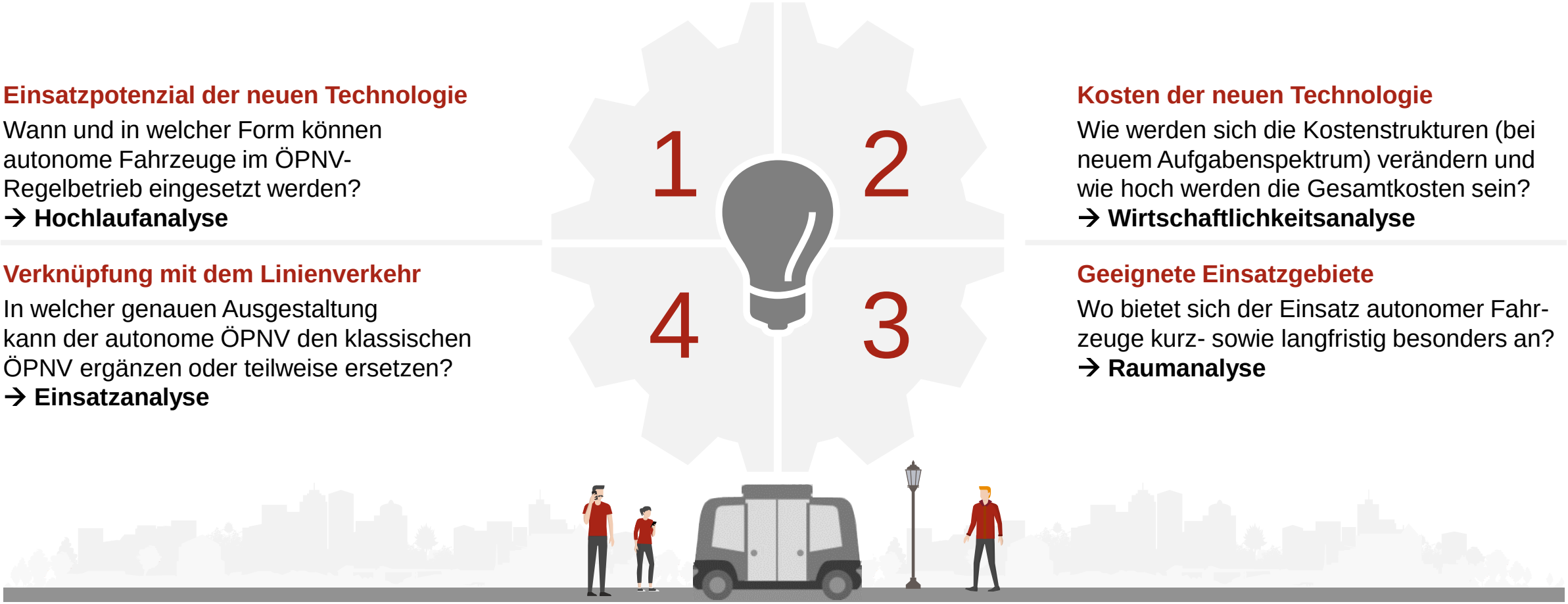
Wie werden sich die Kostenstrukturen (bei neuem Aufgabenspektrum) verändern und wie hoch werden die Gesamtkosten sein?
→ **Wirtschaftlichkeitsanalyse**

Verknüpfung mit dem Linienverkehr

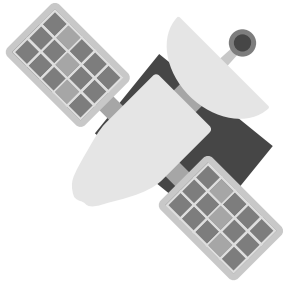
In welcher genauen Ausgestaltung kann der autonome ÖPNV den klassischen ÖPNV ergänzen oder teilweise ersetzen?
→ **Einsatzanalyse**

Geeignete Einsatzgebiete

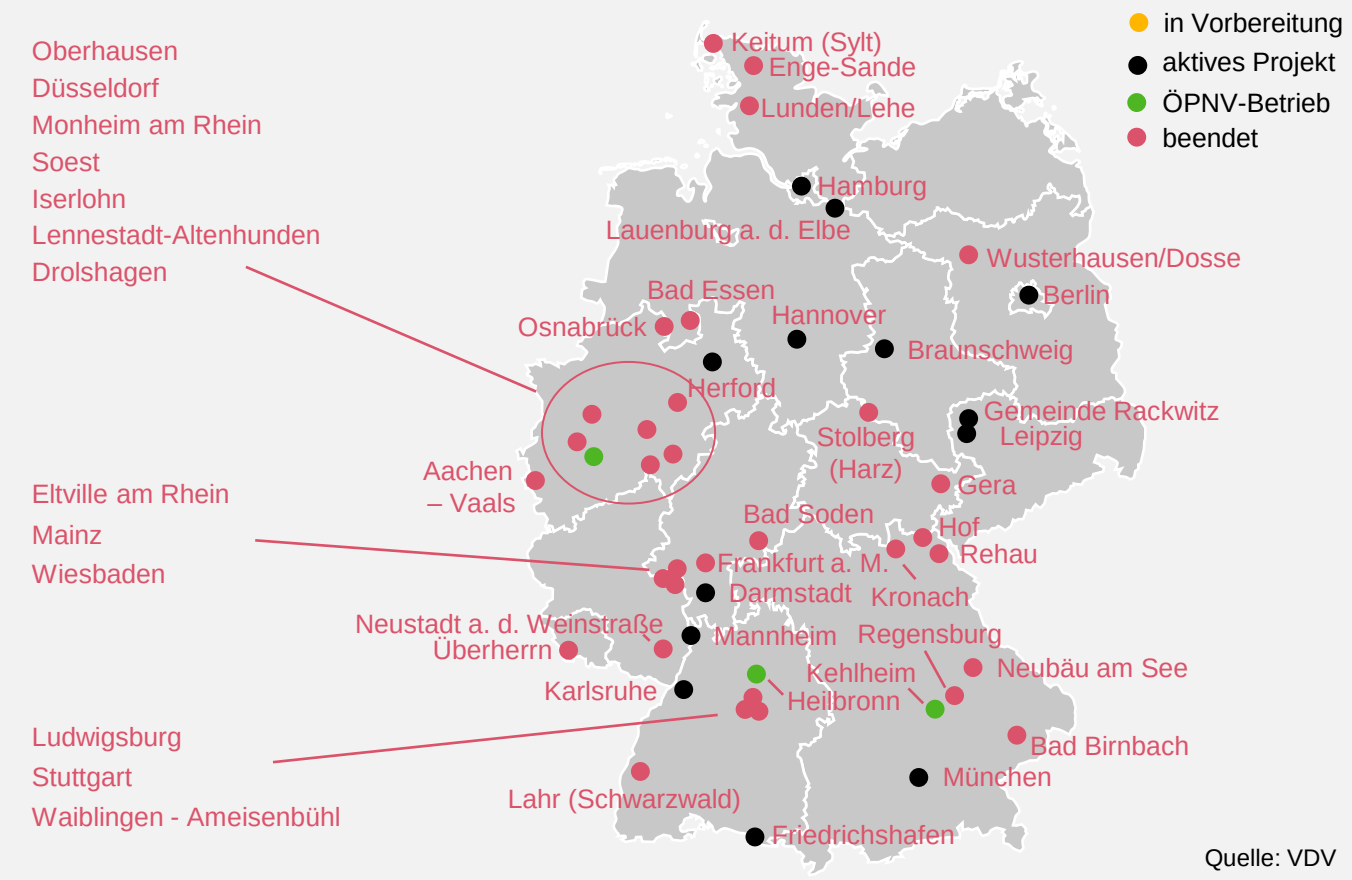
Wo bietet sich der Einsatz autonomer Fahrzeuge kurz- sowie langfristig besonders an?
→ **Raumanalyse**



Kurzer Marktüberblick



Viele Projekte, langsame Fortschritte – bisher hauptsächlich nur SAE-Level 3 im deutschen ÖPNV implementiert



Aktuelle Situation

- **Über 60 Projekte zur Automatisierung** von (Shuttle-)Bussen im ÖPNV in Deutschland
- **Mehrheit** der Projekte im **Testbetrieb** oder **abgeschlossen**, wenige im Regelbetrieb (häufig in kleinen Städten oder abgegrenzten Bereichen)
- **meist** Fahrzeuge mit **SAE-Level 3**
- erste **reguläre Linieneinsätze** mit autonomen Fahrzeugen in Deutschland in **Monheim**
- **Rechtliche** und **infrastrukturelle Heraus-forderungen** bremsen die flächendeckende Einführung
- in **Europa** nur einzelne **Level-4-Fahrzeuge** im **regulären ÖPNV** im Einsatz

Deutschlandweit sind weitere Projekte und Angebote geplant mit zum Teil ambitionierten Zielsetzungen

LIKE

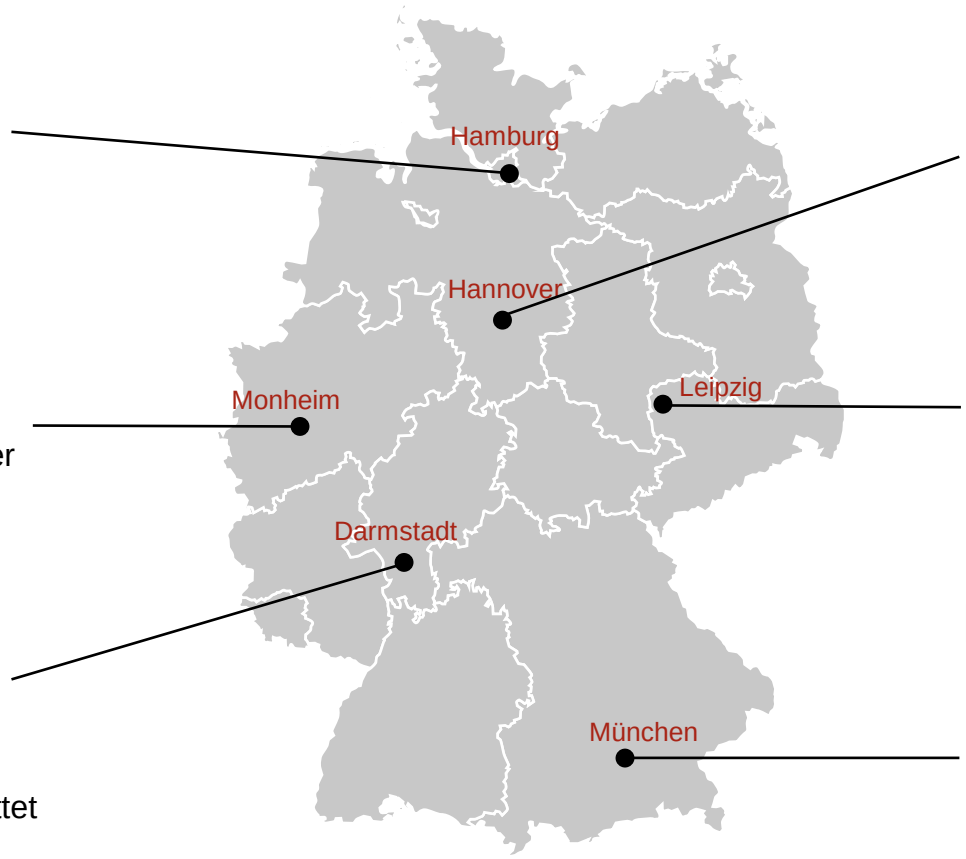
Ab **Mitte 2025 bis 2028** werden in einem Testbetrieb autonom fahrende Shuttles (**Holon Mover und VW ID. Buzz**) in Hamburg erprobt.

SAFESTREAM

Von **August 2022 bis Juli 2025** wird ein fahrerloses **Level-4-System** für den Betrieb elektrischer **Shuttle-Fahrzeuge** mit autonomer Fahrfunktion in festgelegten Bereichen entwickelt und erprobt.

KIRA

Von **Februar 2022 bis Ende 2025** werden in Darmstadt sowie im Kreis Offenbach **Nio ES8 Fahrzeuge**, die mit **Mobileye Drive** ausgestattet sind, im Straßenverkehr getestet.



ALBUS

In Burgdorf wird seit **Mai 2025** ein voll-automatisierter Linienbus im Mischverkehr getestet. Es ist der **erste Bus dieser Größe** in Deutschland **mit KBA-Zulassung für autonomes Fahren mit Level 4**.

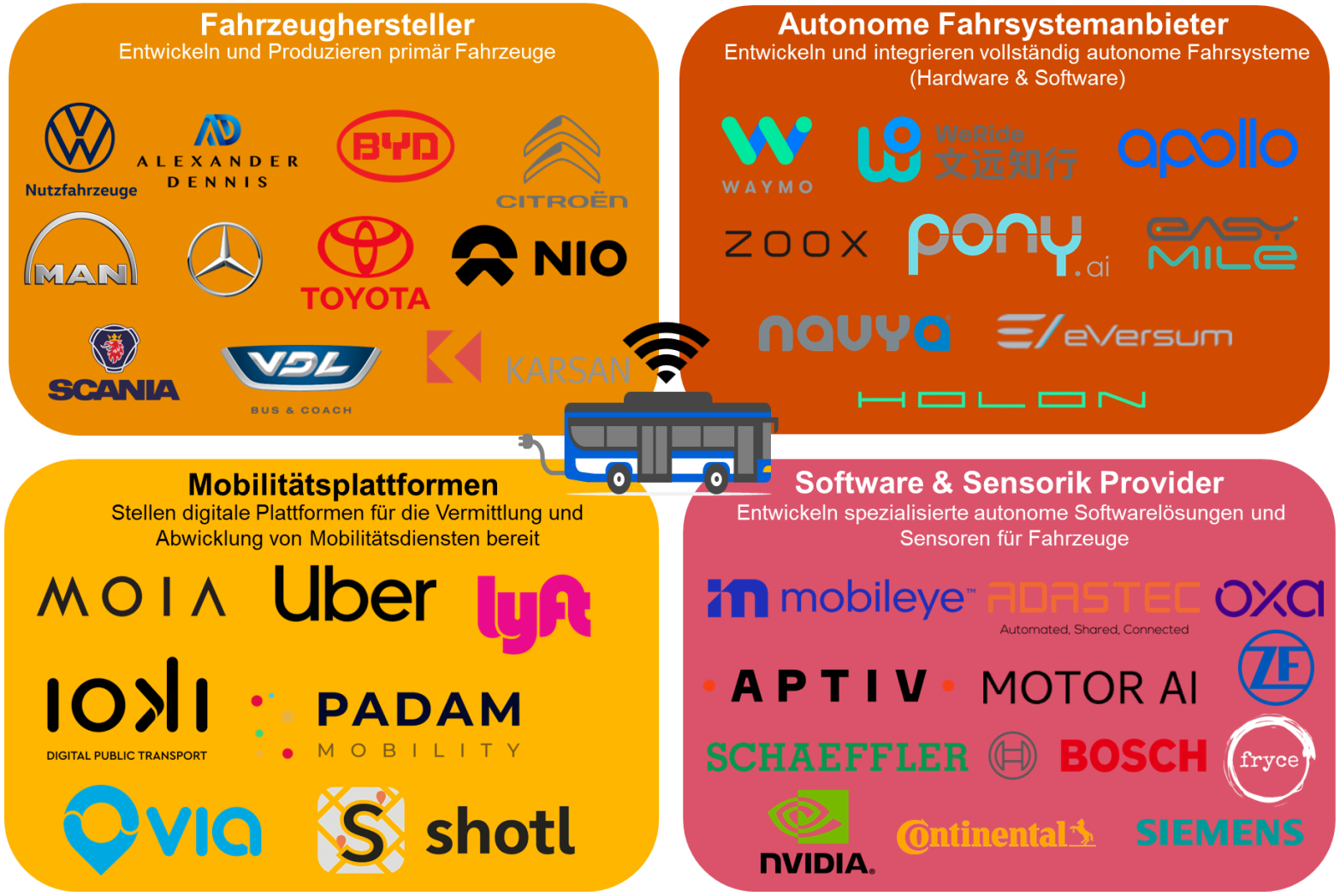
ABSOLUT II

Das Projekt in Leipzig vom Oktober **2023 bis Oktober 2026** zielt auf die Implementierung einer **technischen Leitstelle** beim Einsatz von autonomen Shuttles ab, um **Sicherheitsfahrer zu ersetzen**.

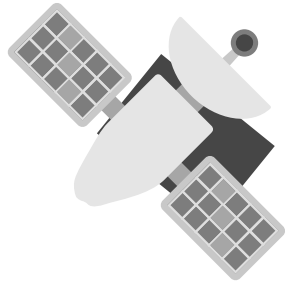
MINGA

Das Forschungsprojekt in München vom **April 2023** bis **Juni 2027** untersucht die Automatisierung von **On-Demand-Fahrzeugen** und **Bussen** durch Tests mit Shuttles und einem Elektrobus mit Self-Driving-System von Man Trucks & Bus.

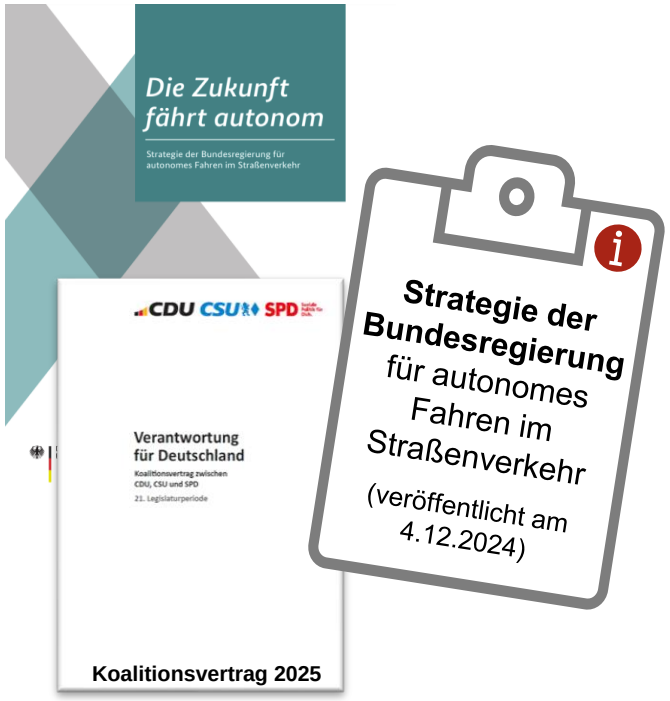
Der Markt für autonomen ÖPNV setzt sich aus einem Mix aus etablierten sowie neuen Unternehmen zusammen



Meilensteine auf dem Weg zum autonomen ÖPNV



Mit der Strategie für autonomes Fahren im Straßenverkehr will die Bundesregierung diese Technologie weiter vorantreiben



Zentrale Maßnahmen der Strategie

- Intensivierung des **Dialogs** u. Sammlung und Untersuchung von **Daten zu kritischen Verkehrssituationen** und Unfällen
- Ausbau der Zusammenarbeit bei **Cybersicherheit** u. **Datenschutz**
- Einführung von **einheitlichen Regulierungen und Standards**

Koalitionsvertrag: „Verantwortung für Deutschland“

- Schaffung der Voraussetzungen, dass autonomes Fahren (SAE-Level 4) in den **Regelbetrieb** kommt
- Deutschland zum **Leitmarkt für autonomes Fahren** machen, durch Entwicklung und Finanzierung von **Modellregionen**

Handbuch des BMDV

➢ soll **Kommunen**, **Mobilitätsanbieter** und **Verkehrsverbünde** dabei unterstützen, autonome und vernetzte Fahrzeuge strategisch und betrieblich in den ÖPNV zu integrieren

Meilensteine der Strategie

- bis 2025 Möglichkeiten zur **Förderung und Finanzierung von autonomen Mobilitätsangeboten** identifizieren
- bis 2026 das autonome Fahren **vom Erprobungs- in den Regelbetrieb** überführen
- bis 2027 Unternehmen in Deutschland unterstützen, um **wettbewerbsfähige Lösungen und Mobilitätsangebote** zu entwickeln und einzuführen
- bis 2028 den **weltweit größten zusammenhängenden Betriebsbereich für autonome Fahrzeuge** entstehen lassen
- bis 2030 das autonome Fahren **als festen Bestandteil in den ÖPNV integrieren**

Wichtige Schritte auf dem Weg zum autonomen ÖPNV

Ökosystem definieren:
- Analyse der **Rollen- und Aufgabenverteilung**
- **Make-or-Buy-**Entscheidungen bzgl. Fahrzeugvorhaltung, -instandhaltung, Flottenmanagement, Überwachung etc.

Business-Case-Analysen durchführen:
- Abschätzung der Auswirkungen auf **Kosten** und **Erlöse**
- Analyse des **Investitionsbedarfs** in verschiedenen Szenarien (ohne/mit Fördermitteln)
- Berücksichtigung von **Sensitivitäten** (z.B. Worst-Case-Betrachtung)

Strategie/Grobkonzept erarbeiten:
- Klärung der rechtlichen **Rahmenbedingungen**
- Durchführung einer ersten **Markt-/Anbieteranalyse**
- Erstellung einer groben **Hochlaufplanung**
- Festlegung des (ersten) **Einsatzgebiets**
- Definition der **Zielsetzung**

Partnernetzwerk bilden:
Austausch und Zusammenarbeit in der **Branche** und in der **Region** mit weiteren
- Verkehrsunternehmen
- Fahrzeughersteller
- Technologieunternehmen
- Forschungseinrichtungen
- Behörden
- Verbänden
- Bürgerorganisationen

Betriebshöfe optimieren:
- Anpassung und Erweiterung der **Betriebshöfe** planen
- Effiziente Gestaltung **betrieblicher Prozesse**
- Optimierung des **Fahrzeugeinsatzes**

Detaillierte Umsetzungsstrategie erstellen:
- **Feinplanung** des Übergangs zum autonomen ÖPNV
- Erstellung **optimierter Fahr- und Umlaufpläne** zur Integration in den klassischen Linienverkehr

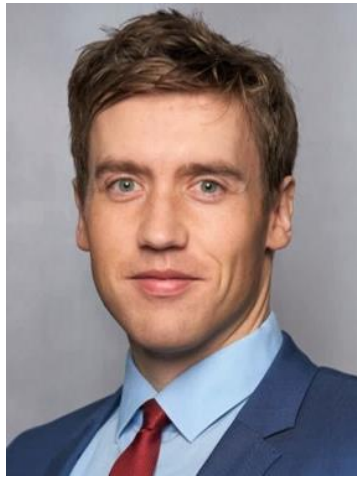
Vergabestrategie erarbeiten:
- Definition der konkreten **Anforderungen** und kritischen Faktoren bzw. **Risiken**
- Festlegung des **Vergabeverfahrens**
- Definition des **Zeitplans**
- Festlegung der **Bewertungskriterien**

Beschaffung & Errichtung der Infrastrukturen:
- **Integration** der neuen Fahrzeuge **in die Fahrzeugflotte**
- **Testbetrieb** und Sicherheits-Checks
- Installation der (Lade-)**Infrastruktur** sowie der **Software-Systeme**

Notfall-, Sicherheits- sowie Datenschutzkonzepte entwickeln:
- Identifikation und Bewertung von **Risiken** und **Notfällen**
- Erarbeitung von technischen und organisatorischen **Notfall-/Sicherheitsmaßnahmen**
- Durchführung von **Schulungen** und **Übungen**

Marketing-/ PR-Kampagne erarbeiten:
- Analyse der **Zielgruppen** mit ihren Bedürfnissen und Vorbehalten
- Entwicklung von **Kernbotschaften** (Storytelling)
- Auswahl geeigneter **Kommunikationskanäle**
- Entwicklung eines **Monitoring-/Evaluierungs**systems

Kontaktieren Sie mich gerne



Gabriel Flore
Manager

PwC Düsseldorf
+49 211 1981 2548
+49 171 3364 723

gabriel.flore@pwc.com

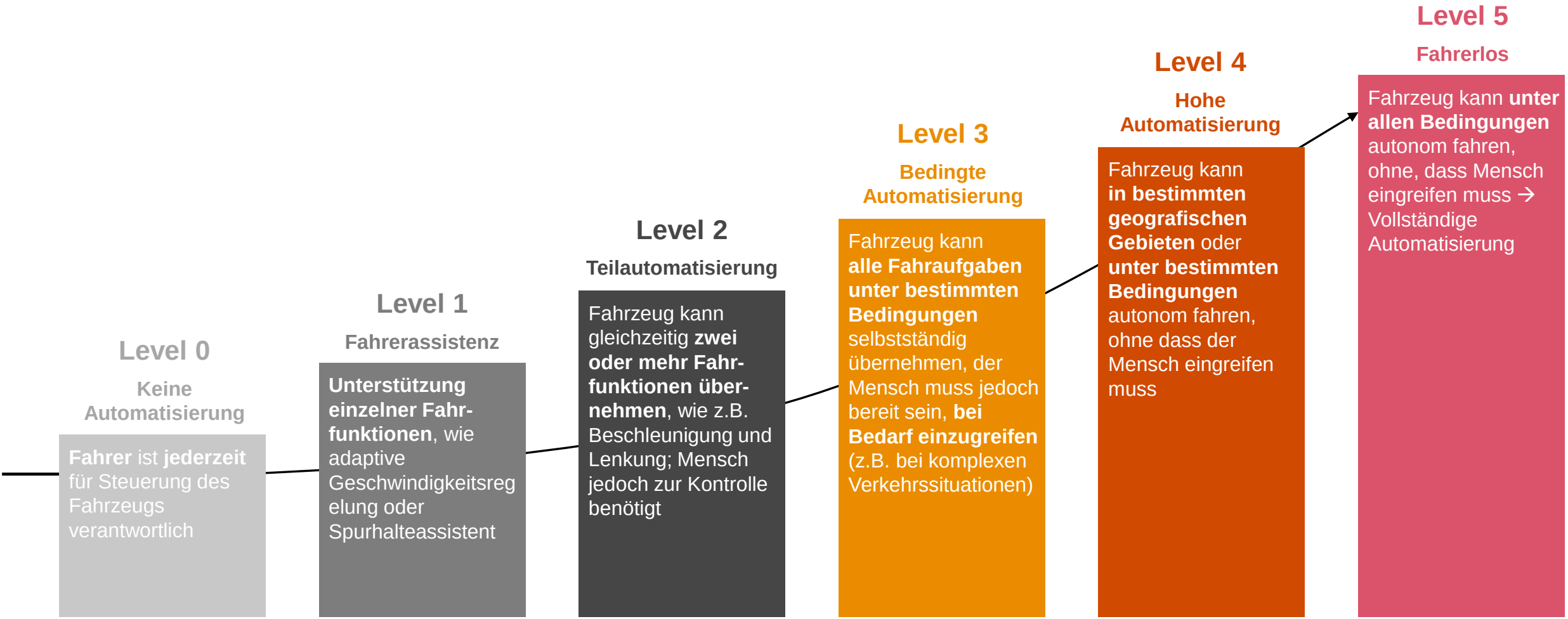
www.linkedin.com/in/gabriel-flore-317678173

pwc.de

© Juni 2025 PricewaterhouseCoopers GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft.
Alle Rechte vorbehalten. „PwC“ bezeichnet in diesem Dokument die PricewaterhouseCoopers GmbH Wirtschaftsprüfungsgesellschaft, die eine Mitgliedsgesellschaft der PricewaterhouseCoopers International Limited (PwCIL) ist. Jede der Mitgliedsgesellschaften der PwCIL ist eine rechtlich selbstständige Gesellschaft.

Back-up

Die Society of Automotive Engineers definiert fünf Stufen (SAE-Level) der Fahrzeugautomatisierung bis zum fahrerlosen Fahrzeug



Die Kombination von Kamera-, Radar- und Lasersensoren mit AD-Software ist ein zentraler Bestandteil automatisierter Fahrzeuge

Kameras:

Erfassung **visueller Informationen**, insbesondere Erkennung von Fahrbahnmarkierungen, Verkehrsschildern, Fußgängern und anderen Fahrzeugen
+ *Hohe Auflösung, Farb-/Texturerkennung* – *wetter-/lichtabhängig*

Radar:

Verwendung von **Radiowellen**, um die Entfernung, Geschwindigkeit und Richtung von Objekten zu messen
+ *Genauigkeit, wetter-/lichtunabhängig* – *geringe Auflösung, begrenztes Sichtfeld*

LiDAR (Light Detection and Ranging):

Verwendung von **Laserpulsen**, um ein detailliertes 3D-Modell der Umgebung zu erstellen; differenziert in Kurzstrecken-LiDAR und Langstrecken-LiDAR
+ *Genauigkeit, wetterunabhängig* – *hohe Kosten, lichtabhängig*

AD-Software (Autonome Fahrsoftware):

Verarbeitung der Daten von Kameras, Radar und Lidar, um die Umgebung zu analysieren, Entscheidungen zu treffen und das Fahrzeug zu steuern (Softwareökosystem mit Remote Monitoring, Diagnosesysteme etc.)