



# Stand und Perspektive des Automatisierten ÖPNV

*Erfahrungen mit der Ilmenauer Buslinie CAMIL  
und Einordnung in F&E-Trends*

Carsten Schauer

Thüringer Innovationszentrum Mobilität (ThIMo)



Bahnhof/Neuhäuser Weg



Gründerzentrum



Mensa



Bibliothek



Ehrenberg / G.-Kirchhoff-Platz



Thüringer Innovationszentrum  
**MOBILITÄT**

»elmug4future«  
17. Oktober 2023  
Carsten Schauer, Matthias Hein

*th*  
TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
**ILMENAU**

# CAMIL – Land Thüringen fördert Pilotprojekt beim Automatisierten ÖPNV

## Ilm-Kreis/IOV: Projekt CAMIL (TMUEN)

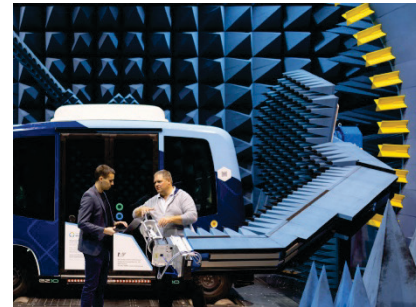
- Beschaffung der Fahrzeuge
- Logistik und Personal
- Vorbereitung der Fahrwege

### Arbeitsgruppe

Ilm-Kreis, IKPV/IOV  
Stadt Ilmenau, TU Ilmenau,  
Büro Autobus

## TU Ilmenau/ThIMo: Projekt KREATÖR (TMWWDG)

- Modellierung des EZ10 = Fahrzeugtyp „Shuttlebus“ (Antriebsauslegung, Fahrzeugtechnik, Verkehrssimulation, Umweltwirkung)
- Funk und Radartechnologien (BIRA)
- Begleitforschung (Technologiewahrnehmung und Nutzerakzeptanz)



Bahnhof/Neuhäuser Weg

Gründerzentrum

Mensa

Bibliothek

Ehrenberg / G.-Kirchhoff-Platz



Thüringer Innovationszentrum  
**MOBILITÄT**

»elmug4future«

17. Oktober 2023

Carsten Schauer, Matthias Hein

*th*  
TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
ILMENAU

# CAMIL – Vorbereitungen auf eine besondere Buslinie...



Vermeintlich einfaches Wegstück der CAMIL-Linie

Unterstützung durch TU Ilmenau + ThIMo bei

- technische Analyse für Ausschreibung
- Öffentlichkeitsarbeit
- Personalsuche
- Koordination/Einmessung
- Grünschnitt
- Haltestellen



Bahnhof/Neuhäuser Weg



Gründerzentrum



Mensa



Bibliothek



Ehrenberg / G.-Kirchhoff-Platz



Thüringer Innovationszentrum  
**MOBILITÄT**

»elmug4future«  
17. Oktober 2023  
Carsten Schauer, Matthias Hein



TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
**ILMENAU**

# CAMIL – ...nimmt Fahrt auf

- Eine der ersten automatisierten Buslinien in Deutschland im **öffentlichen Straßenverkehr**
- Seit Juni 2023 in Betrieb – bislang insgesamt zuverlässige Funktion
- Linie wird angenommen - IOV sieht gute Auslastung und überwiegend positive Resonanz
- kleine technische Probleme (Sensorik, Empfindlichkeit gegenüber Witterung und Bewuchs entlang der Straße) sind typisch für Fahrzeugkleinserie und begrenzte Anwendungserfahrung d. Herstellers
- Limitierungen von Fahrgeschwindigkeit und Performance der automatisierten Fahrfunktion sowie die permanente Überwachung durch Operator sind typisch für eine „Übergangstechnologie“
  - **CAMIL sammelt erste Erfahrungen mit automatisiertem Linienbussen im Realverkehr. Pilotprojekte für skalierte Anwendung in folgenden Technologiestufen sinnvoll!**
- IKPV, IOV und Stadt sind offen für weiterführende Projekte (L4, teleoperierter Betrieb), wenn leistungsfähigere Lösungen verfügbar sind.





# CAMIL – noch sind nicht alle Hürden genommen



- Winterbetrieb ist in Ilmenau relevante Anwendungsfrage und Erfolgskriterium
- EASYMILE kennt die Herausforderung für Lokalisation und Hinderniserkennung und wird eine „Winterkarte“ einmessen
- Ähnlich wie beim Grünschnitt im Frühjahr gibt es intensive Überlegungen und Absprachen zum Räumdienst  
→ kurzfristige Reaktionen auf Wetterlage nötig



Bahnhof/Neuhäuser Weg



Gründerzentrum



Mensa



Bibliothek



Ehrenberg / G.-Kirchhoff-Platz



Thüringer Innovationszentrum  
**MOBILITÄT**

»elmug4future«  
17. Oktober 2023  
Carsten Schauer, Matthias Hein

*th*  
TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
**ILMENAU**

# Automatisierungsgrade nach SAE (bedürfen Interpretation im ÖPNV)

Level	Name	Dynamic Driving Task (DDT)		DDT Fallback	Operational Design Domain (ODD)
		Sustained lateral and longitudinal vehicle motion control	Object and Event Detection and Response (OEDR)		
Driver performs part or all of the DDT					
0	No Driving Automation				N/A
1	Driver Assistance				Limited
2	Partial Driving Automation				Limited
Automated Driving System (ADS "System") performs the entire DDT (while engaged)					
3	Conditional Driving Automation				Limited
4	High Driving Automation				Limited
5	Full Driving Automation				Unlimited

Ziel

[www.researchgate.net/profile/Burak\\_Karakas4/publication/326863165](https://www.researchgate.net/profile/Burak_Karakas4/publication/326863165)

Teilfunktionen und Einsatzfälle beachten!

- Level-Konzept entstand historisch aus der technischen Entwicklung der Fahrassistenzsysteme
  - Konzept zielt auf den Individualverkehr (1 Fahrzeug = 1 Fahrer der „überall“ fahren kann)
  - Anders im ÖPNV: Fahrer **soll** durch Operator ersetzt werden, der **zukünftig** mehrere Fahrzeuge überwacht. Diese fahren nur auf definiertem Straßennetz (**proprietär eingemessen!**)
- impliziert projektbezogene Fragestellungen zu ODD, Zulassungsprozess und Betriebskonzept.



Bahnhof/Neuhäuser Weg

Gründerzentrum

Mensa

Bibliothek

Ehrenberg / G.-Kirchhoff-Platz



Thüringer Innovationszentrum  
**MOBILITÄT**

»elmug4future«  
17. Oktober 2023  
Carsten Schauer, Matthias Hein

TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
ILMENAU

# CAMIL – Umfelderkennung und Leistung der automatisierten Fahrfunktion



- Kartengrundlage:
  - mit der Fahrzeugsensorik erstellte Karte (SLAM-Algorithmus zur Landmarkenbestimmung)
  - innerhalb der „Flotte“ austauschbar
- rein LIDAR-basierte Lokalisation + einfache Hindernisdetektion
- Zusätzlich permanenter GPS-Empfang nötig
- Digitale Schiene:
  - kein automatisiertes Ausweichen vorgesehen
  - Zieleingabe durch Operator (hier Abfahren der Linie – Straßennetz mit Haltestellen wäre ebenso möglich)



Bahnhof/Neuhäuser Weg



Gründerzentrum



Mensa



Bibliothek



Ehrenberg / G.-Kirchhoff-Platz



Thüringer Innovationszentrum  
**MOBILITÄT**

»elmug4future«



















17. Oktober 2023

Carsten Schauer, Matthias Hein

th

TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
ILMENAU

# Welchen Automatisierungsgrad hat CAMIL?

Level	Name	Dynamic Driving Task (DDT)		DDT Fallback	Operational Design Domain (ODD)
		Sustained lateral and longitudinal vehicle motion control	Object and Event Detection and Response (OEDR)		
Driver performs part or all of the DDT					
0	No Driving Automation				N/A
1	Driver Assistance				Limited
2	Partial Driving Automation				Limited
Automated Driving System (ADS "System") performs the entire DDT (while engaged)					
3	Conditional Driving Automation				Limited
4	High Driving Automation				Limited
5	Full Driving Automation				Unlimited

[www.researchgate.net/profile/Burak\\_Karakas4/publication/326863165](http://www.researchgate.net/profile/Burak_Karakas4/publication/326863165)

- Erkennt statische und dynamische Hindernisse und einfache Verkehrssituationen (ausschließlich LIDAR!)
- Permanente Überwachung und Freigabe von Kreuzungsbefahrungen
- ODD: einfache Straßenführung, keine Ampeln oder Bahnübergänge, 30er Zone, keine Ausweichmanöver

L4-Ziel:  
Fernüberwachung, hohe Geschwindigkeiten und „flüssigere“ Fahrweise mit diesem Ansatz noch nicht realisierbar.



Bahnhof/Neuhäuser Weg



Gründerzentrum



Mensa



Bibliothek



Ehrenberg / G.-Kirchhoff-Platz



Thüringer Innovationszentrum  
**MOBILITÄT**

»elmug4future«  
17. Oktober 2023  
Carsten Schauer, Matthias Hein

*th*  
TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
ILMENAU



# Welcher Automatisierungsgrad ist heute möglich? ...ausgewählte Projekte:

## USA (Waymo, Cruise)

- Schwerpunkt Robotertaxis (LKW in Diskussion)
- liberale L4-Zulassung

## Deutschland: Hamburger HEAT-Folgeprojekt

- L4, teleoperierte Flotte geplant
- Konsortium: Benteler-Holon/Continental/Mobileye

## UK: Pendlerbusse in Edinburgh

- gemischter Verkehr, 50 km/h, Sicherheitsfahrer

## Asien: (China, Japan, ?):

- Fokus auf Infrastruktur (z.B. Busspuren)
- L3-PKW: *Navigation-on-Autopilot* in einzelnen Städten



### Robotaxis: ...Sieg für Waymo und Cruise in San Francisco

„Die zuständige kalifornische Behörde hat die Beschränkungen für autonome Taxis aufgehoben. Die Stadt selbst war dagegen, die Öffentlichkeit gespalten.“

(heise.de 11.08.2023)

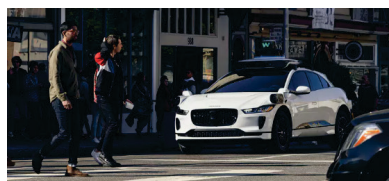
### ...Cruise muss Flotte nach Unfall in San Francisco halbieren

„Nach dem Unfall mit einem Rettungswagen fordert San Franciscos Behörde eine Reduzierung der Robotaxis von Cruise. Die Zahl der Fahrzeuge soll halbiert werden.“

(heise.de 19.08.2023)



Automatisierte Busse in Edinburgh (Foto: cavforth.com)



„Robotertaxi“ San Francisco (Foto: waymo)



Bahnhof/Neuhäuser Weg



Gründerzentrum



Mensa



Bibliothek



Ehrenberg / G.-Kirchhoff-Platz



Thüringer Innovationszentrum  
**MOBILITÄT**

»elmug4future«

17. Oktober 2023

Carsten Schauer, Matthias Hein



TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
**ILMENAU**

# Welcher Automatisierungsgrad ist heute möglich?

## Cruise über das Data-Processing Konzept:

*“At a high level, we take all sensor data as input — from camera, lidar, audio to radar. From there, **Cloud Storage and Dataflow** help us create highly scalable ETL pipelines\*... and data lakes to create and extract petabytes of on-the-road data quickly and efficiently.”*

### Vorteile

- Rechenleistung + Flottenskalierbarkeit
- C2X und vernetzte Sensorik besser nutzbar
- Dataflow für KI-Verfahren

### Nachteile

- Online-Abhängigkeit
- Latenz ist flotten- und verkehrsabhängig  
→ Flottenhalbierung nach Unfall infolge verzögerter Reaktion!

→ Onboard- oder cloudbasierte Strategien und deren Evaluierung sind bedeutendes Forschungsfeld - z.B. auch Gegenstand der umfangreichen PEGASUS-Projektfamilie (BMWK)

\* ETL = Extract, Transform, Load (Daten aus mehreren, gegebenenfalls unterschiedlich strukturierten Quellen zusammenführen)



Bahnhof/Neuhäuser Weg



Gründerzentrum



Mensa



Bibliothek



Ehrenberg / G.-Kirchhoff-Platz

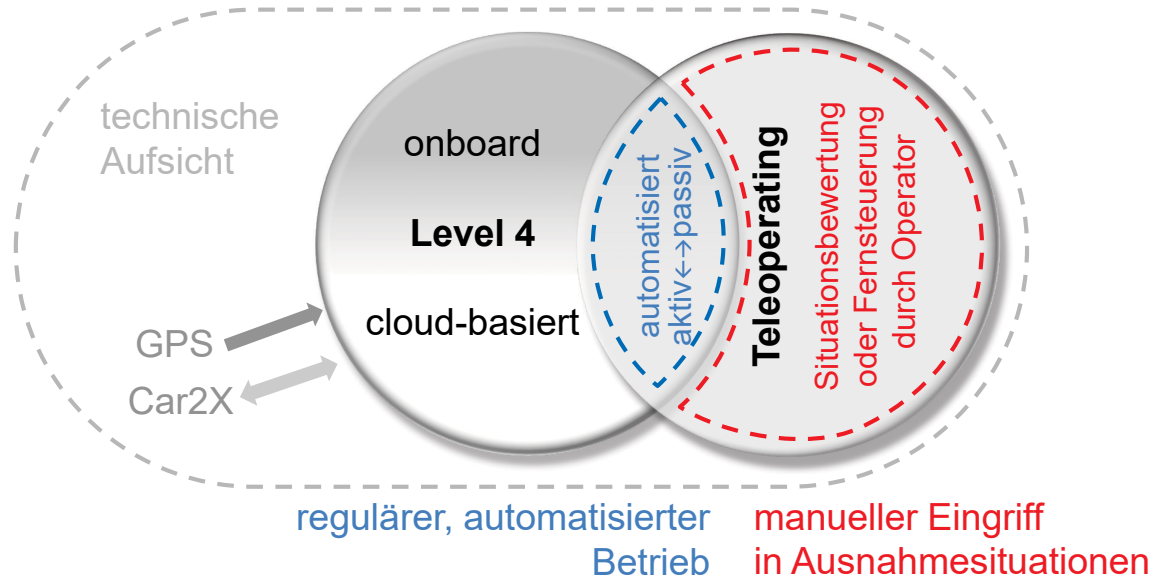


Thüringer Innovationszentrum  
**MOBILITÄT**

»elmug4future«  
17. Oktober 2023  
Carsten Schauer, Matthias Hein

  
TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
ILMENAU

# Level-4-Automatisierung und teleoperierter Betrieb in den Anwendungsfällen ÖPNV und Robotertaxi



Bei L4 wird die permanente Überwachung durch den Fahrer ersetzt durch die technische Aufsicht des Betreibers.

Neben technischer Aufsicht muss es im ÖPNV Operator zur Überwachung / Betreuung der Fahrgastbeförderung geben. Teleoperierte Zugriffe auf die Fahrfunktion bedürfen weiterer rechtlicher Beurteilung und Regelung.



Bahnhof/Neuhäuser Weg



Gründerzentrum



Mensa



Bibliothek



Ehrenberg / G.-Kirchhoff-Platz



Thüringer Innovationszentrum  
**MOBILITÄT**

»elmug4future«  
17. Oktober 2023  
Carsten Schauer, Matthias Hein

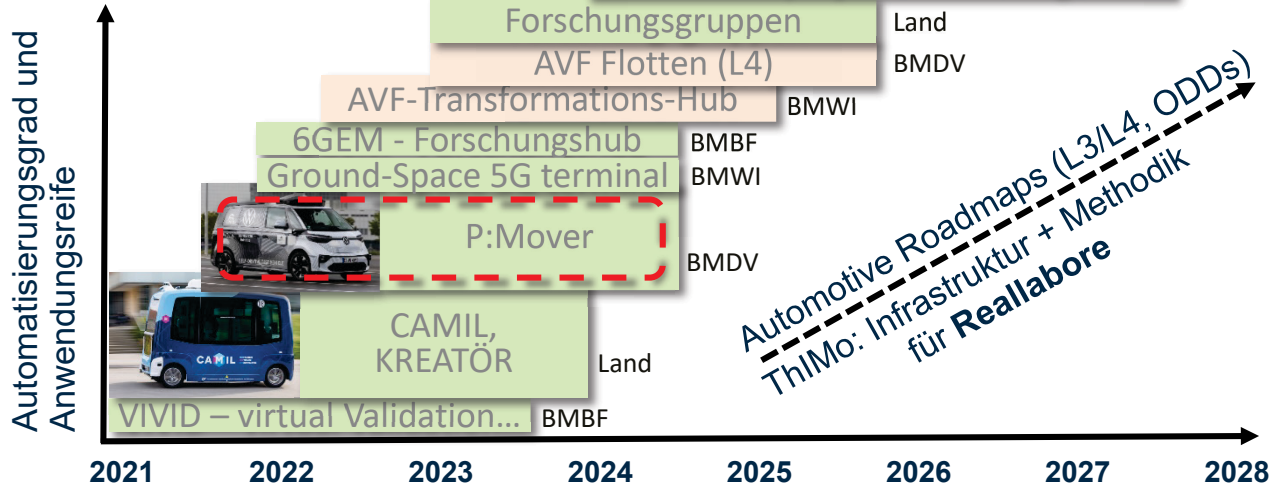


*th*  
TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
ILMENAU

# Forschungsthemen im ThIMo

Projektfamilie AVF im ÖPNV: CAMIL/KREATÖR, P:Mover

Im Fokus:  
ODDs und Betriebskonzepte  
im **ländlichen Raum**



P:Mover

Pionierregion: „Mobilitätslösungen im  
suburbanen Raum vernetzen“



AVF Kompetenz  
für ÖPNV (L3 → L4)



Intelligente  
Verkehrssteuerung



Straßenzustands-  
erfassung



Fahrgastinformation



Bahnhof/Neuhäuser Weg



Gründerzentrum



Mensa



Bibliothek



Ehrenberg / G.-Kirchhoff-Platz



Thüringer Innovationszentrum  
**MOBILITÄT**

»elmug4future«

17. Oktober 2023

Carsten Schauer, Matthias Hein



TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
**ILMENAU**



# Forschungsthemen im ThIMo

*These: zwischen L3/L4 und L5 liegen noch „viele“ Jahre Forschung und Entwicklung*

- Methodik und Infrastruktur für Reallabore, konkret:
    - Testfahrzeuge und Straßennetz für L3-L4
    - Digitale Zwillinge für Komponenten, Fahrzeuge und Verkehr
    - Digitales Testfeld (u.a. „Kauflandkreuzung“ Ilmenau)
  - Funktechnologien für vernetztes Fahren
  - Radartechnologien für die Umfelderkennung (bistatische RCS)
  - XIL-Methodik zur Evaluierung teleoperierter Fahrfunktionen
  - Umweltwirkungen des vernetzten und automatisierten Fahrens
  - Sozialwissenschaftliche Begleitforschung
  - Beiträge zu Verkehrs- und Mobilitätsmanagement
  - HMI für teleoperierten Flottenbetrieb /  
Software und Usability der Leitstandsysteme ?
- ✓ laufende Projekte, Anträge, Publikationen
  - ✓ Methodische Domänen entwickeln: Simulation/ Labor/Straße
  - ✓ Kooperationen mit Landkreisen, Städten, Verkehrsunternehmen und Unternehmen als Bedarfsträger



Bahnhof/Neuhäuser Weg



Gründerzentrum



Mensa



Bibliothek



Ehrenberg / G.-Kirchhoff-Platz



Thüringer Innovationszentrum  
**MOBILITÄT**

»elmug4future«  
17. Oktober 2023  
Carsten Schauer, Matthias Hein

*th*  
TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
ILMENAU

# Resümee (aus Perspektive des ThIMo)

- Multisensorische Ansätze sind in anspruchsvollen ODDs und unter schwierigen Bedingungen unumgänglich – Radar ist hier lohnenswertes Forschungsfeld.
- Frage der onboard- oder Cloud-basierten Funktionalitäten (und damit der Teleoperating-Konzepte) ist noch offen und abhängig von technischen und rechtlichen Aspekten. Funk- in Kommunikationstechnologien sind hier in jedem Fall von essentieller Bedeutung.
- Methodik für AVF-Evaluierung und Erprobung in Reallaboren ist wichtiges Aktionsfeld: für ThIMo sowohl bezüglich Forschung als auch mit dem Ziel Kompetenzaufbau im ÖPNV
- AVF im ländlichen Raum als Thüringer Thema: Forschungsschwerpunkt + Anwendungsbedarf



Bahnhof/Neuhäuser Weg

Gründerzentrum

Mensa

Bibliothek

Ehrenberg / G.-Kirchhoff-Platz



Thüringer Innovationszentrum  
**MOBILITÄT**

»elmug4future«  
17. Oktober 2023  
Carsten Schauer, Matthias Hein

*th*  
TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
ILMENAU