

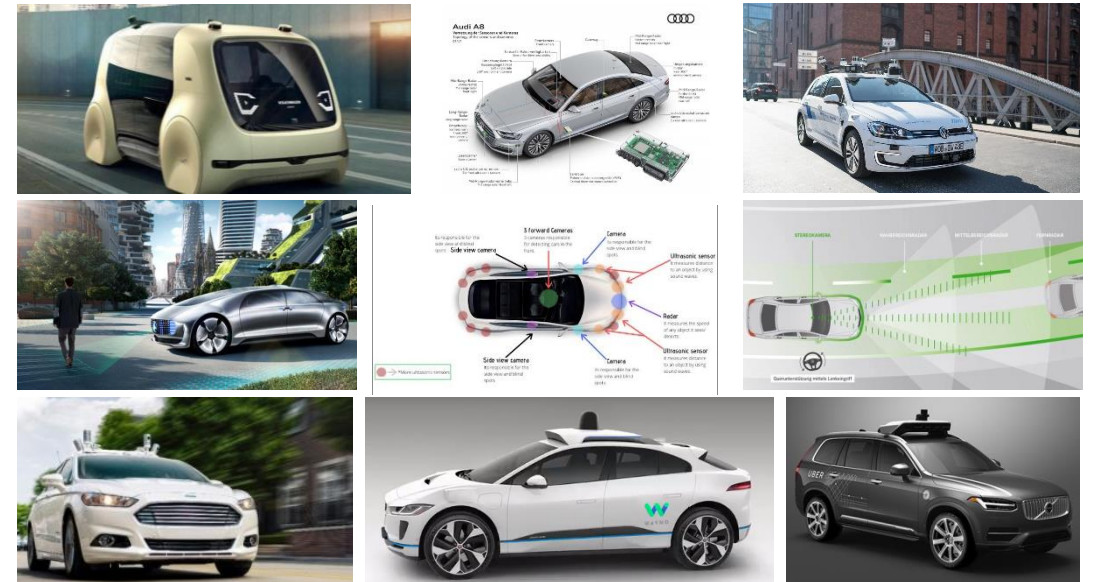
# AUTO TANKT INTERNET

Auswirkungen des automatisierten und vernetzten Fahrens auf den Energieverbrauch von Fahrzeugen, Datenübertragung und Infrastruktur

Webinar, 10. Februar 2021

Dr. Michael Krail,

Fraunhofer Institut für System-  
und Innovationsforschung ISI

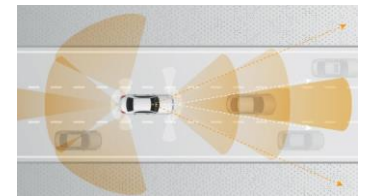


Quellen: Volkswagen AG, Audi AG, Volkswagen AG, Daimler AG, Tesla, BMW AG, Ford, Waymo, Volvo

# Agenda

---

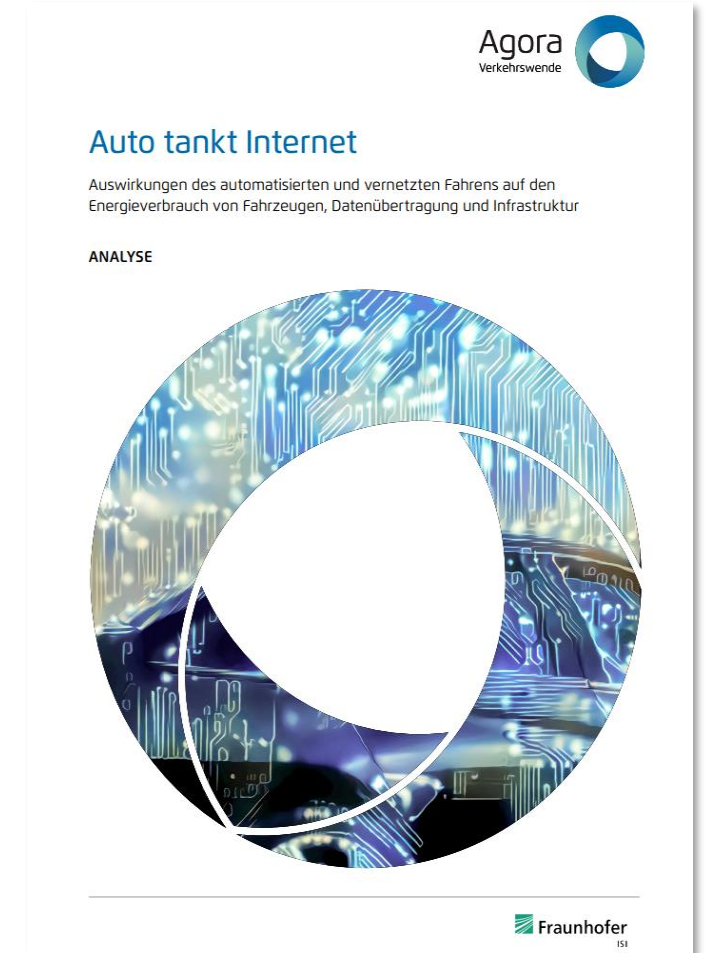
- Einführung
  - Ziele, Rahmenbedingungen und Betrachtungsraum der Studie
  - Szenarien
- Wirkungen der Automatisierung und Vernetzung
  - Energieeffizienz beim Fahren
  - On-board Energieverbrauch durch AF-Systeme
  - Energieverbrauch durch Vernetzung im Mobilfunk
  - Energieverbrauch durch Vernetzung im Backend
- Einordnung der Ergebnisse
- Handlungsempfehlungen



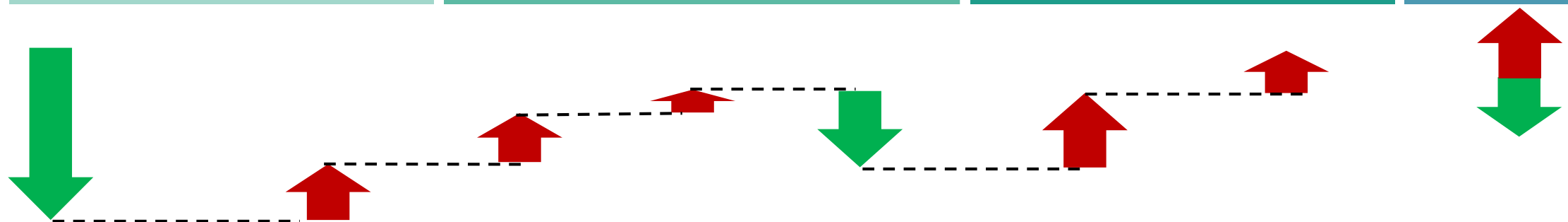
Quellen: Fotolia Ameke, Daimler AG, Volvo, Continental AG

# Zielsetzung der Studie

- Quantitative Abschätzung der Wirkungen der automatisierten und vernetzten Fahrens (AVF) auf den Endenergieverbrauch (EEV)
- Rahmenbedingungen:
  - Zeitraum 2020 bis 2050
  - Fokus auf den MIV
  - Berücksichtigung der Datenübertragung und des Backends
  - Evolution der Automatisierung über fünf Stufen
  - Zwei Szenarien zur zukünftigen Vernetzung
  - Nutzung einer Markthochlaufprognose für AVF
  - Validierung der Szenarien und Annahmen durch Interviews mit Expert\*innen



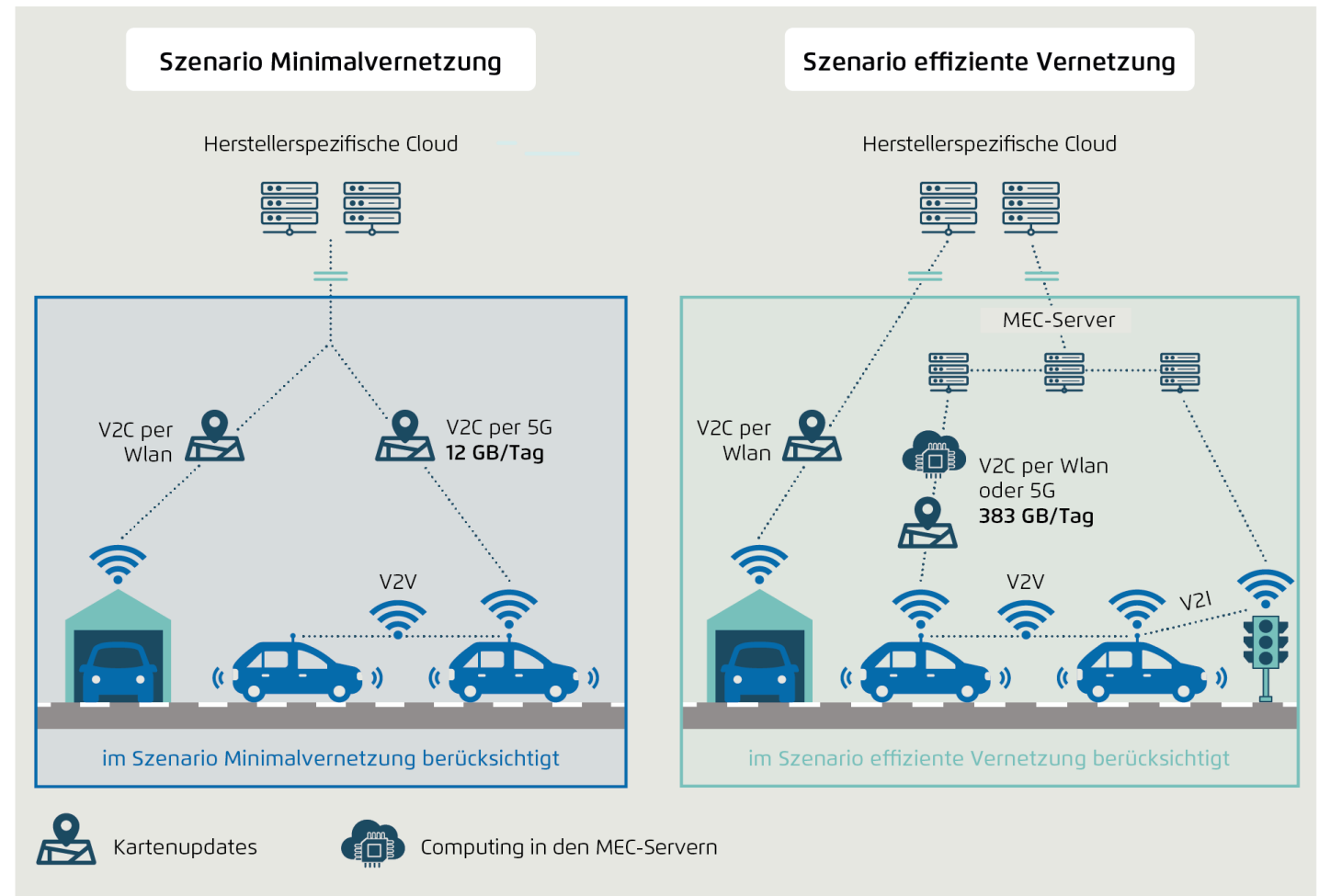
# Wirkungen der Automatisierung und Vernetzung - Überblick



Quellen: Grafik – Fraunhofer ISI, Bilder: Audi AG, Anritsu, Agora Verkehrswende, Fotolia Ameke

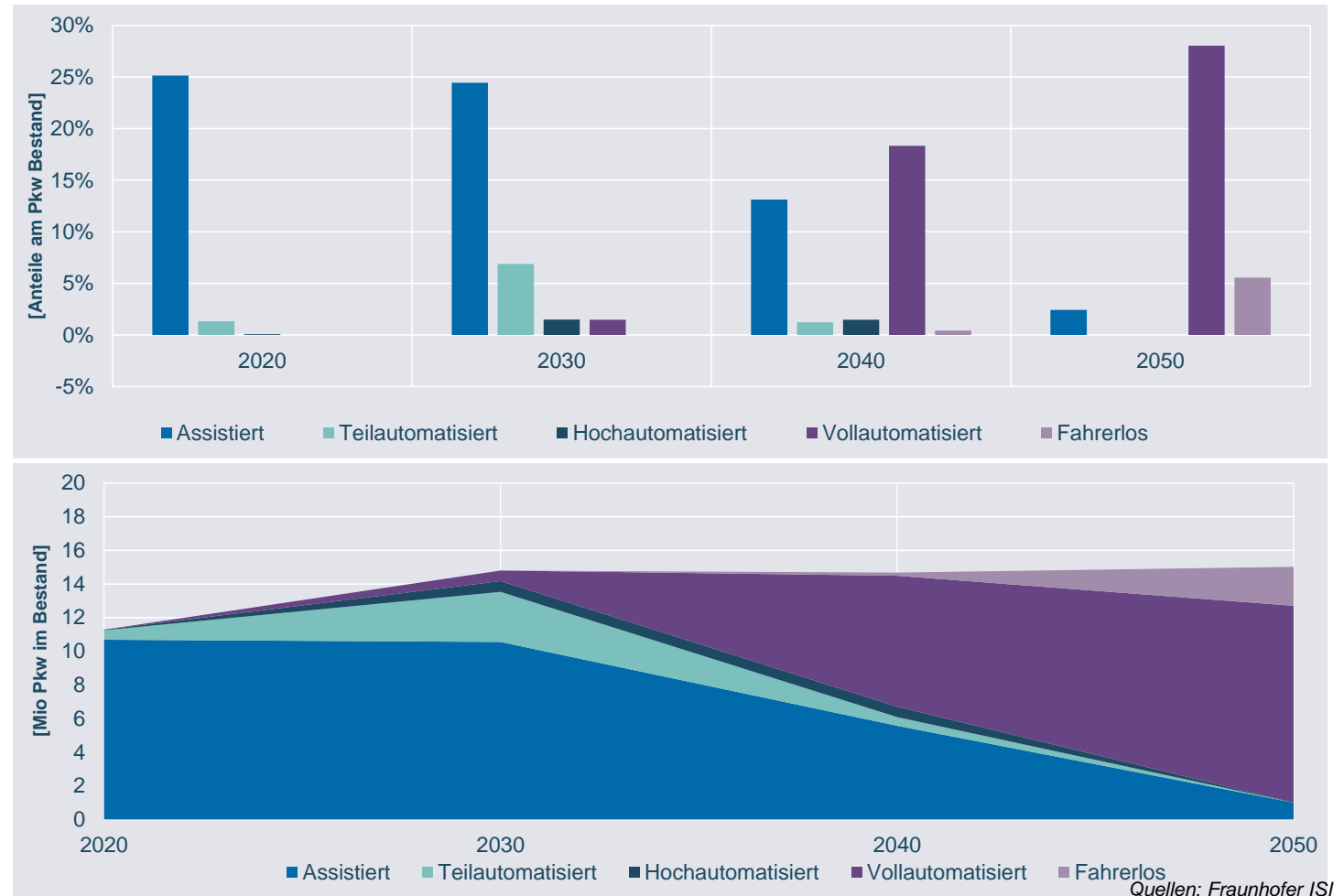
# Entwicklung der Vernetzung – 2 Szenarien

- Basis der beiden Szenarien:  
Literaturanalyse + Experteninterviews
- Szenario „Minimalvernetzung“:
  - Nur V2V über Standard 802.11p
  - V2C nur für Kartenupdates (Annahme: 12 Gb/Tag)
  - keine V2I Vernetzung
- Szenario „effiziente Vernetzung“:
  - V2V über Standard 802.11p
  - V2C via lokale MEC-Server über 802.11p oder 4G/5G Mobilfunk (Annahme: 383 Gb/Tag)
  - V2I teilweise implementiert



# Markthochlauf der Automatisierungsstufen beim Pkw

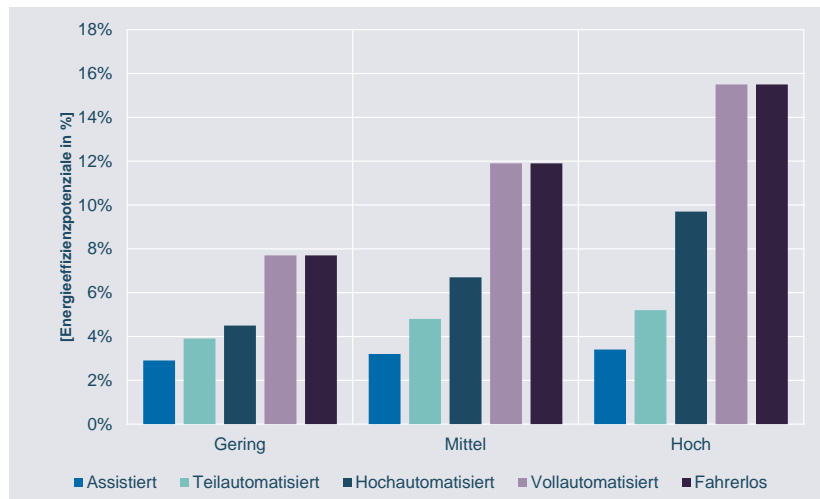
- Große Varianz der Marktanteile bei Studien
- Annahme: ca. 35% Anteil vollautomatisierter und fahrerloser Pkw am Bestand Krail et al (2019)
- Berücksichtigung der Kostenentwicklung der AVF Systeme und der Nutzerakzeptanz
- Markteinführungszeitpunkte: Stufe 4 – 2025 , Stufe 5 – 2035
- Markthochlauf der Automatisierungsstufen in beiden Szenarien identisch



# Wirkungen des AVF – Energieeffizienz im Fahrbetrieb

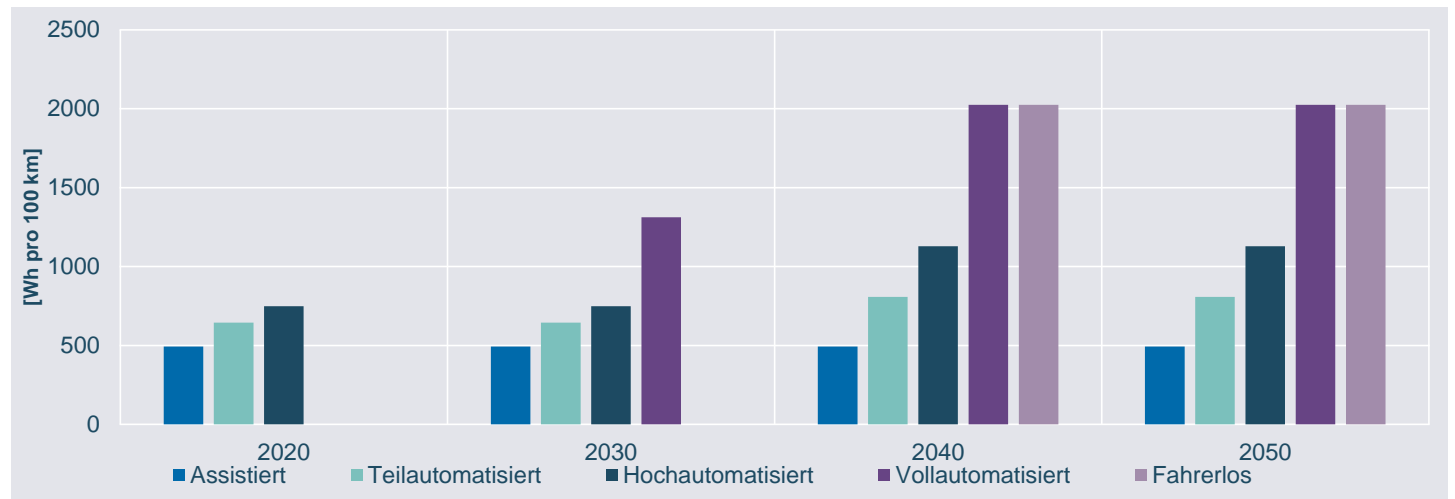
- Energieeffizienzpotenziale im Fahrbetrieb bei AVF durch angepasste Fahrweise (optimierte Beschleunigungs-/Bremsvorgänge), Berücksichtigung der Topographie, optimierte Motoransteuerung
- Zusätzliche Effizienzpotenziale durch reduzierte Maximalgeschwindigkeit in AVF nicht berücksichtigt
- Auswertung der Potenziale auf Basis von Feldstudien (z.B. Adaptive-IP, L3 Pilot) und Sekundärliteratur für verschiedene Verkehrssituationen (Verkehrsdichte, Straßentyp, Anteil AVF am Gesamtverkehr)

**Potenziale in % nach Anteil AVF**



Quelle: Fraunhofer ISI auf Basis Krail et al. (2019)

**Potenziale in Wh/100 km im Zeitverlauf**

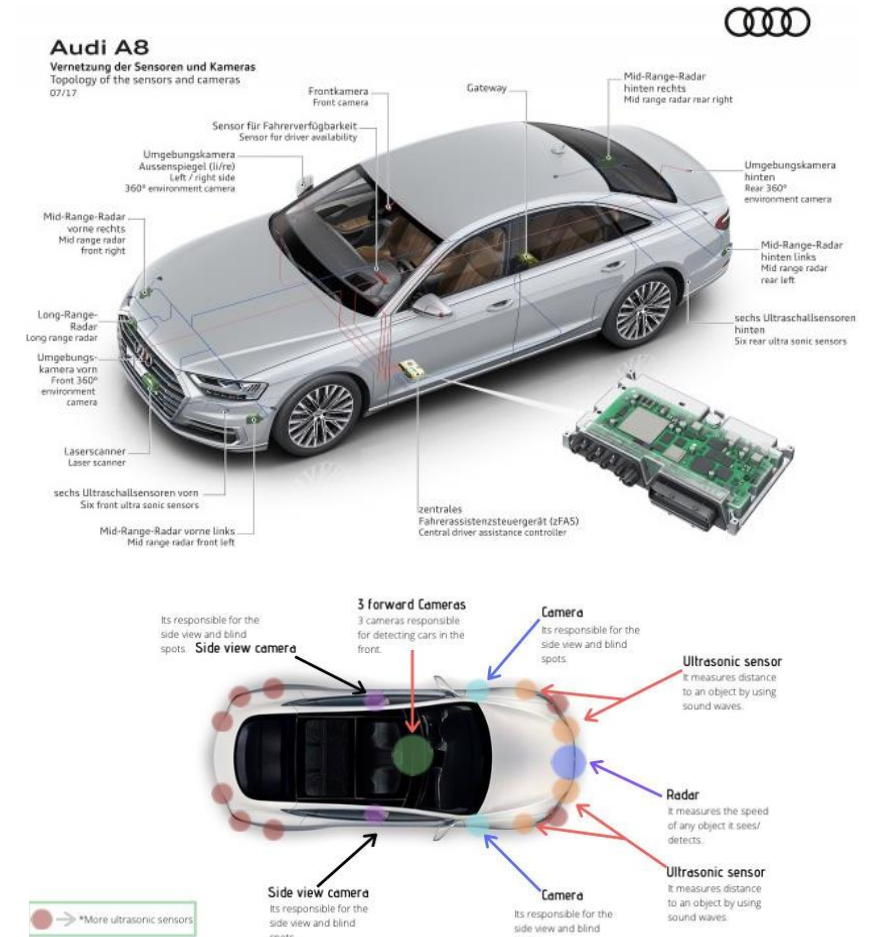


Quelle: Fraunhofer ISI



# Wirkungen des AVF – On-board EEV der Systeme (1/2)

- EEV der Sensorik, Aktorik und Steuergeräte plus zusätzliches Gewicht senkt Effizienzpotenziale
- Berechnung des on-board EEV basiert auf dem EEVs der einzelnen AVF Komponenten, z.B. der Sensoren (Quellen: Gawron et al. 2018, Liu et al. 2019)
- Teilweise deutliche Unterschiede in der Auslegung der AVF Systeme zwischen den OEMs
  - z.B. Einsatz von zahlreichen Kameras (Tesla) vs. Kameras + LiDAR (z.B. Audi)
- Annahme für alle AF Stufen getroffen
  - Stufe 4: 9 Ultraschall, 8 RaDAR, 1 LiDAR, 5 Kameras plus DSRC, GNSS Positioning, V2X und Steuergerät

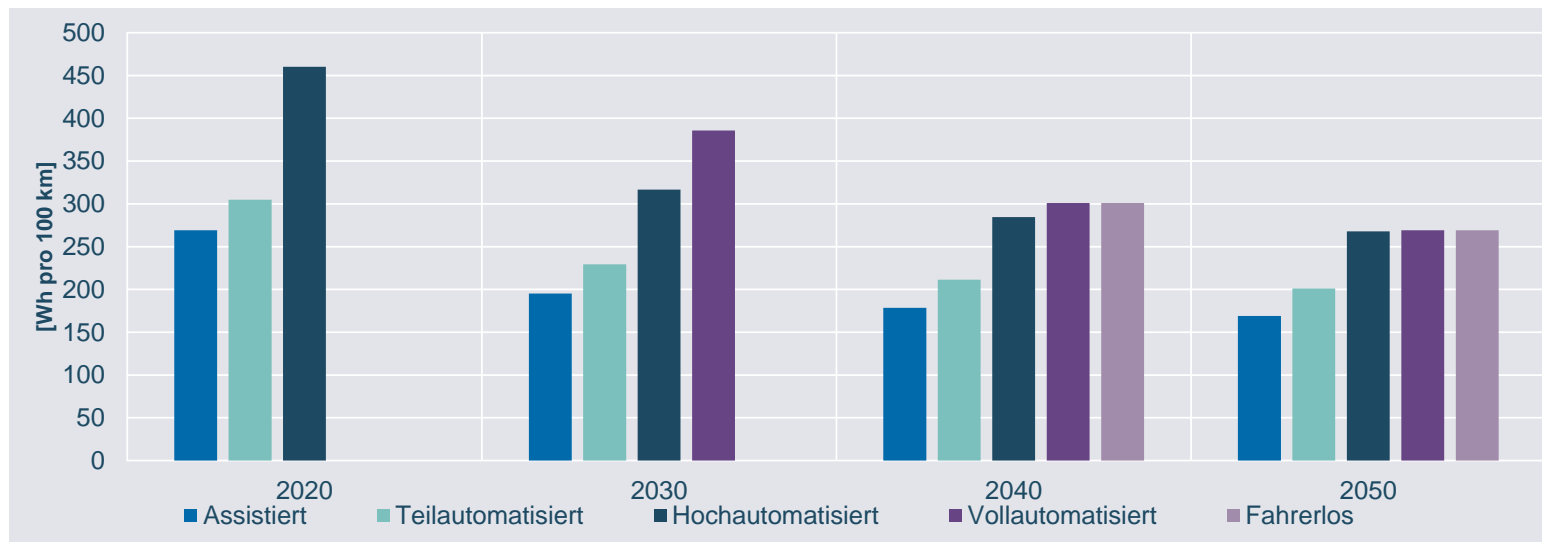


Quellen: Audi AG, Tesla



# Wirkungen des AVF – On-board EEV der Systeme (2/2)

- Annahme zur Entwicklung der Energieeffizienz der Komponenten:
  - Steuergeräte: Verdopplung der Rechenpower pro verbrauchter Energie alle 5 Jahre (Vgl. Koomeysches Gesetz: Verdopplung in letzten 40 Jahren bereits alle 1,57 Jahre)
  - Sensoren + Vernetzungsmodule: Verbesserung Energieeffizienz Sensoren um 10% bis 2050
- On-board EEV wird dominiert durch Steuergeräte (> 50% am gesamten on-board EEV)



Quelle: Fraunhofer ISI

# Wirkungen des AVF – EEV im Mobilfunk (1/2)

- Datenmengen über Mobilfunk steigen allgemein stark an und wirken sich auf den Energieverbrauch deutlich aus
- Vernetzung in AVF trägt bei Datenaustausch über Mobilfunk zusätzlich zum Anstieg des EEV im Mobilfunknetz und den angeschlossenen Rechenzentren bei
- EEV abhängig von der Menge der übertragenen Daten zwischen Fahrzeug und Backend
- Umstieg von LTE/4G zu 5G macht den Mobilfunk effizienter
  - Berechnung des EEV im Mobilfunk pro Datenmenge anhand empirischer Daten (Dt. Telekom + Telefonica (O<sub>2</sub>) – 4G: 3,5 Wh pro GB vs. 5G: 1 Wh pro GB (Umstellung bis 2030 angenommen)
- Wenig belastbare Quellen zu realistischen Datenmengen verfügbar – Angaben variieren zwischen 12 GB pro h und mehreren TB pro Stunde
- Ursache: Unterschiede in den Annahmen (optimierter Datenaustausch vs. Austausch aller Sensordaten)

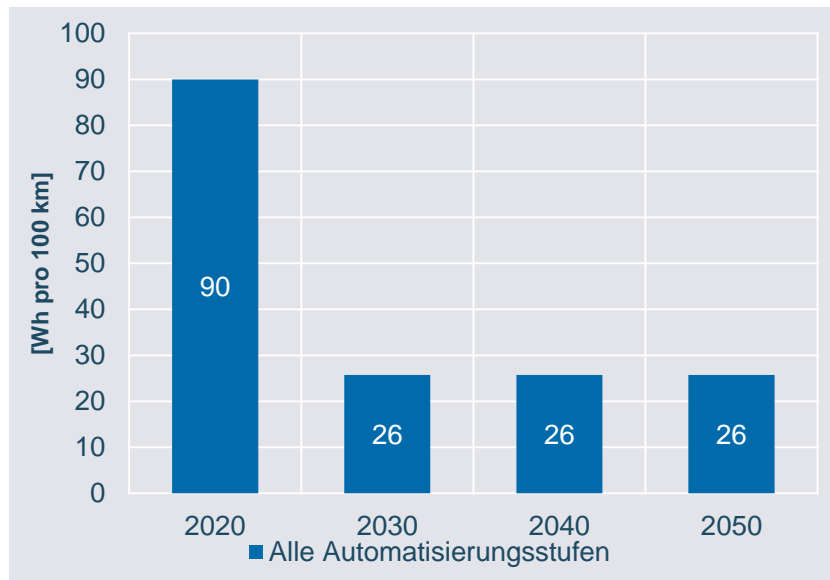


Quelle: Anritsu

# Wirkungen des AVF – EEV im Mobilfunk (2/2)

## Szenario „Minimalvernetzung“

- Nutzung des Mobilfunks nur im Notfall zum Kartenupdate (falls nicht über Wlan möglich)
- Minimale Datenmenge: 12 GB pro h\*

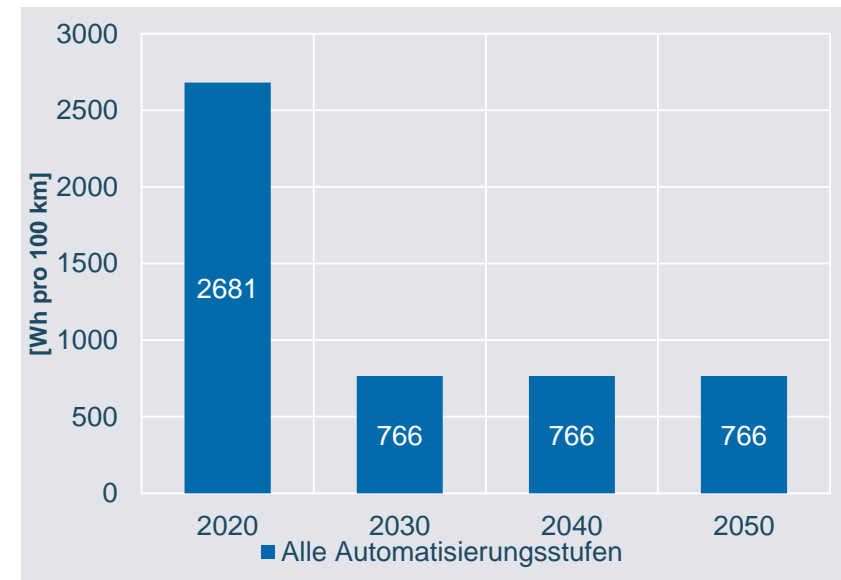


Quelle: Fraunhofer ISI

\* Eigene Annahme basierend auf Gatzke et al. (2016)

## Szenario „effiziente Vernetzung“

- Nutzung des Mobilfunks nur im Notfall zum Kartenupdate (falls nicht über Wlan möglich)
- Durchschnittliche Datenmenge: 383 GB pro h\*\*

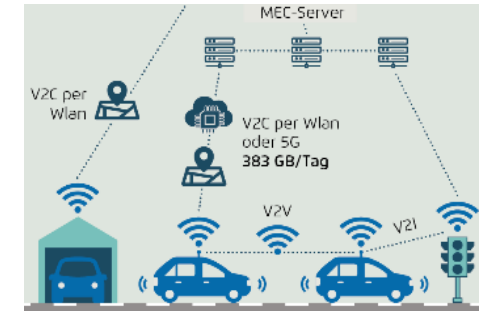


Quelle: Fraunhofer ISI

\*\* AECC (2020): Low-Range-Szenario

# Wirkungen des AVF – EEV im Backend (1/2)

- Szenario „Minimalvernetzung“
  - kein Backend (außer herstellerspezifische) und keine vernetzte Infrastruktur
  - Datenaustausch beschränkt sich auf Karten-Updates, vorrangig im Heimnetzwerk
  - zusätzlicher EEV entsteht nur durch Wlan Repeater im Heimnetzwerk
- Szenario „Effiziente Vernetzung“
  - Aufbau eines Backends mit MEC Servern
  - Datentransfer über lokale Frontend-Server mit kurzen Latenzzeiten
  - Annahmen:
    - V2C: linearer Aufbau von ca. 3000 MECs entlang des deutschen Straßennetzes (Priorität Hauptverkehrsachsen) bis 2050
    - V2I: Ausstattung aller Lichtsignalanlagen (~ 60,000) und ~ 2 Mio. Verkehrsschildern mit V2X bis 2050

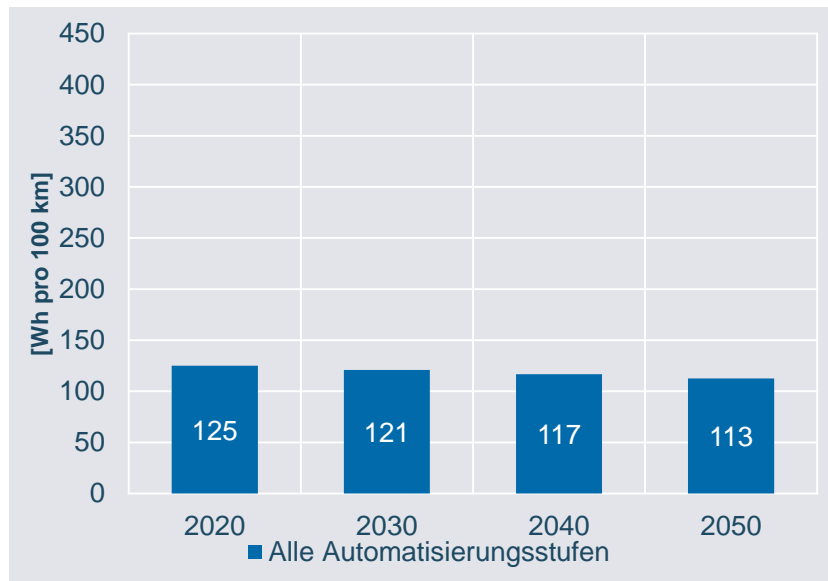


Quelle: Agora Verkehrswende

# Wirkungen des AVF – EEV im Backend (2/2)

## Szenario „Minimalvernetzung“

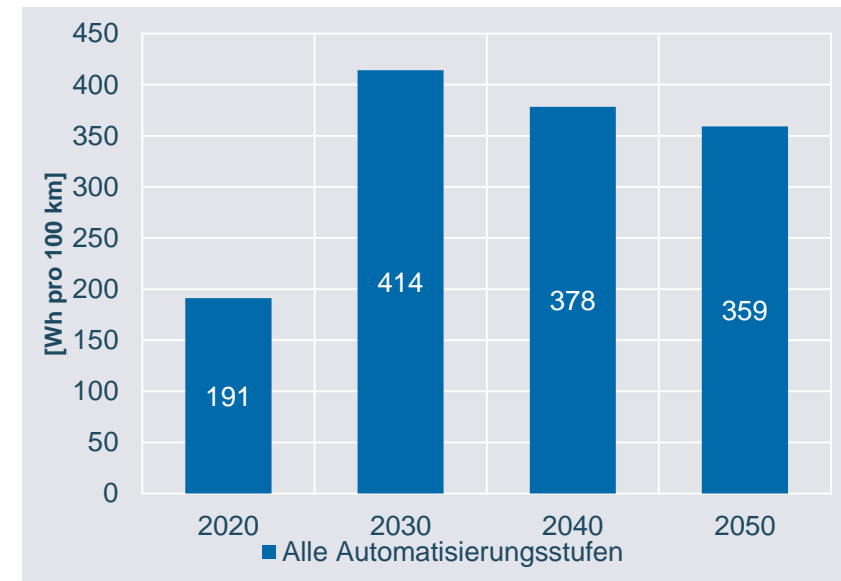
- zusätzlicher EEV nur durch Wlan Repeater
- Annahme: bei 50% der Fahrzeuge, 35 kWh/a\*, 10% Effizienzverbesserung bis 2050



Quelle: Fraunhofer ISI

## Szenario „effiziente Vernetzung“

- zusätzlicher EEV durch lokale MEC Server und vernetzte Infrastruktur
- Annahme: EEV der MEC Server ~ 2,340 kWh/a\*\*, V2I Module ~ 88 kWh\*\*\* plus Effizienzverbesserung



Quelle: Fraunhofer ISI

\* Stiftung Warentest (2018)

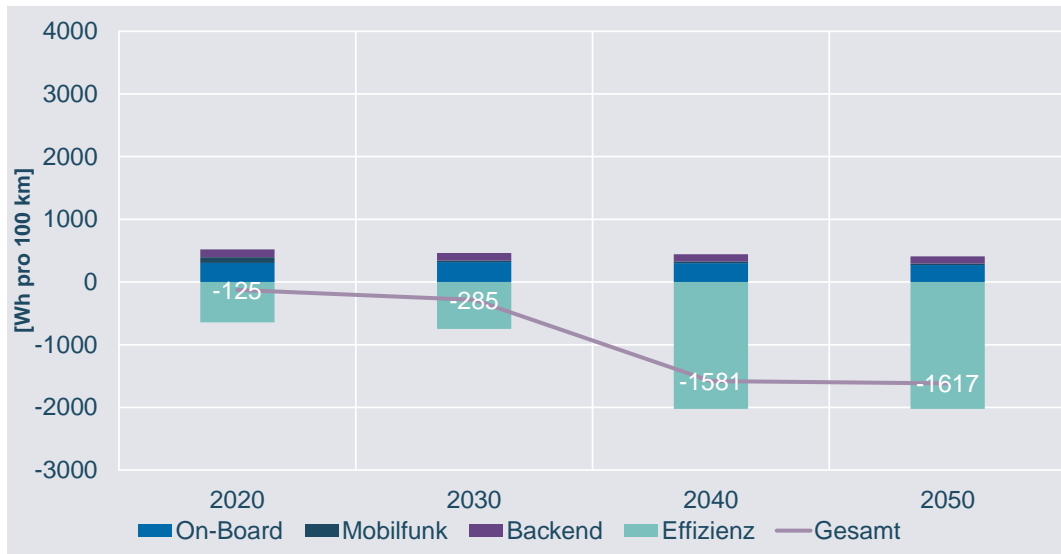
\*\* BMWi (2020): Laptop oder PC – beim Stromverbrauch haben Sie die Wahl.

\*\*\* Liu et al. (2019): The negative impact of vehicular intelligence on energy consumption

# Wirkungen des AVF - Gesamtbilanz

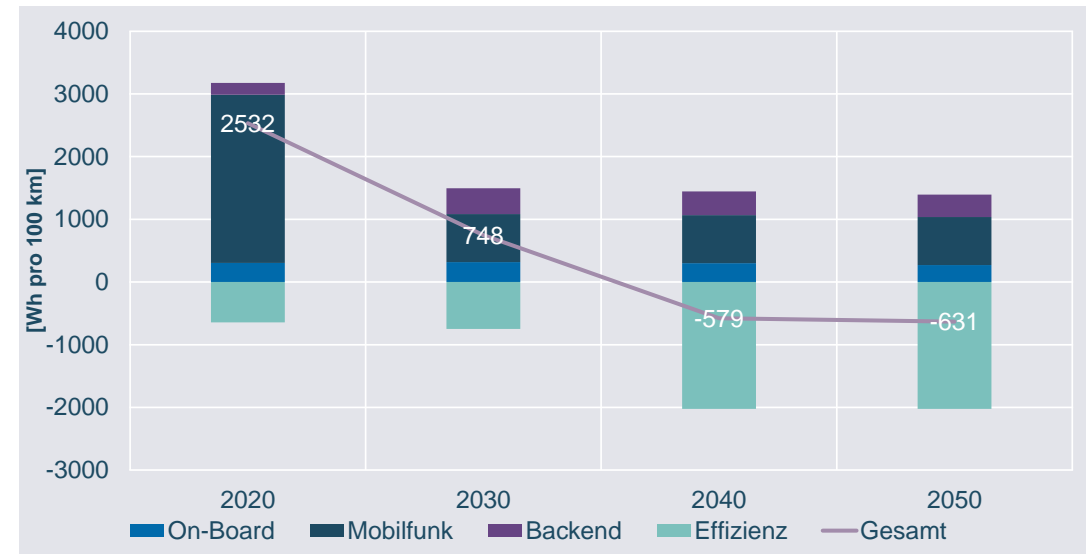
- Mit zunehmendem Anteil höherer AF Stufen am Pkw Bestand und Effizienzverbesserungen führen beide Szenarien mittel- bis langfristig zu geringerem EEV (Einsparung: 631 bis 1617 Wh/100 km)
- Bis 2030 führt hoher EEV im Mobilfunk (mit 4G) zu höherem EEV bei „Effiziente Vernetzung“
- Netto-Einsparung im EEV – Summe aller Jahre: 6 TWh (Effizient) bis 38 TWh (Minimal)

Szenario „Minimalvernetzung“



Quelle: Fraunhofer ISI

Szenario „Effiziente Vernetzung“

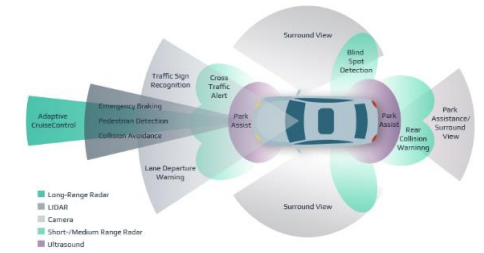


Quelle: Fraunhofer ISI



# Einordnung der Ergebnisse

- AVF im MIV führt zu Komfortsteigerungen, reduzierten Fahrtzeiten, Effizienzvorteilen für die Nutzer und erweiterten Nutzerkreisen des MIV
  - resultierender Reboundeffekt in Studien unterschiedlich hoch eingeschätzt
  - Nehmen Fahrleistungen um 1% bis 2,6% zu, ist die Gesamtbilanz des EEV negativ
- AVF im MIV ermöglicht neue und günstige Formen der geteilten Mobilität mit Tür-zu-Tür Angeboten
  - private Motorisierung könnte dadurch abnehmen, Pkw-Besitz bei guten Angeboten nicht mehr zwingend erforderlich
- Überschreiten die gesendeten und empfangenen Datenmengen pro Pkw 800 GB pro h, dann wäre die Gesamtbilanz des EEV negativ
- Wirkungen des kooperativen Fahrens auf die Effizienz nicht eingerechnet
  - Kooperatives Fahren bedingt Vernetzung (V2X) wie im Szenario „Effiziente Vernetzung“
  - Effizienzvorteile im Szenario „Effiziente Vernetzung“ könnten höher ausfallen



Quelle: BMW

# Handlungsempfehlungen (1/2)

---

## **Effiziente Vernetzung der Fahrzeuge mit dem Backend vorantreiben**

- Ziel: Effizienzpotenziale und Sicherheit durch kooperatives Fahren verbessern
- Investitionen (durch öffentliche Hand oder Anreize) in effizientes Backend und vernetzte Infrastruktur
- Es gilt den Mehrverbrauch durch das Backend gegenüber den Effizienzpotenzialen abzuwägen

## **Optimierung der zu übertragenden Daten auf ein Minimum durch Big Data Verfahren**

- Ziel: Vermeidung ansteigender Energieverbräuche im Mobilfunk durch übermäßigen Datentransfer
- Entwicklung von Big Data Analyse Verfahren zur effizienten Nutzung von Fahrzeugdaten

## **Minimierung des zusätzlichen on-board Energieverbrauchs durch AVF Systeme**

- Ziel: Optimierung der Effizienzpotenziale innerhalb der Fahrzeuge
- Entwicklung und Nutzung von effizienten Sensoren und Verbesserung der Effizienz der Steuergeräte
- Anrechnung des on-board Energieverbrauchs in den europäischen Flottengrenzwerten

# Handlungsempfehlungen (2/2)

---

## **Geteilte Nutzung automatisierter und vernetzter Fahrzeuge fördern**

- Ziel: Effizientere Nutzung des MIV, um Anstieg der Fahrleistungen zu vermeiden
- Öffnung des PBevG für geteilte Dienste mit automatisierten und vernetzten Fahrzeugen unter Berücksichtigung der Integration dieser in den öffentlichen Verkehr

## **Optimierung des Energieverbrauchs im Backend**

- Ziel: Vermeidung stark steigender Energieverbräuche im Backend und Verbesserung der Effizienz
- Gesonderte Regelung der Effizienz der digitalen Infrastruktur, um die Gesamtbilanz zu verbessern

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



**Dr. Michael Krail**

Fraunhofer ISI

Karlsruhe, Deutschland

[michael.krail@isi.fraunhofer.de](mailto:michael.krail@isi.fraunhofer.de)

+49 – (0)721 6089 429