

# Einfach machen oder komplex lösen: Was braucht nachhaltige Mobilität wirklich?

Tobias Peichl  
Stephan Rinderknecht



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

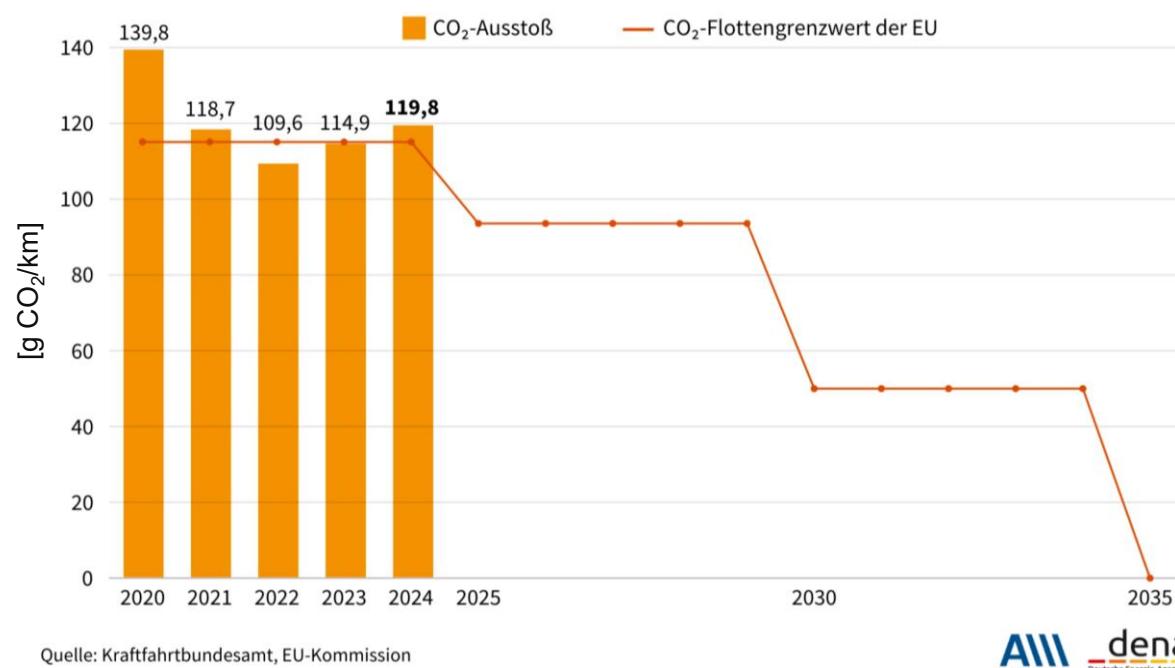


MASCHINENBAU  
We engineer future. **IMS**

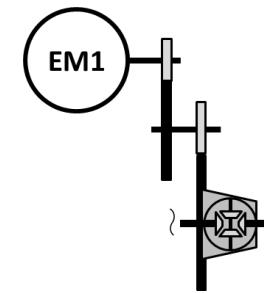
# Motivation

## Einfach machen oder komplex lösen?

Entwicklung des durchschnittlichen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes neu zugelassener Fahrzeuge in Relation zum CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwert der EU [g CO<sub>2</sub>/km]



Einfache Regulatorik, einfache Lösung:



1-Gang E-Auto

Einfache Lösung, beste Lösung?



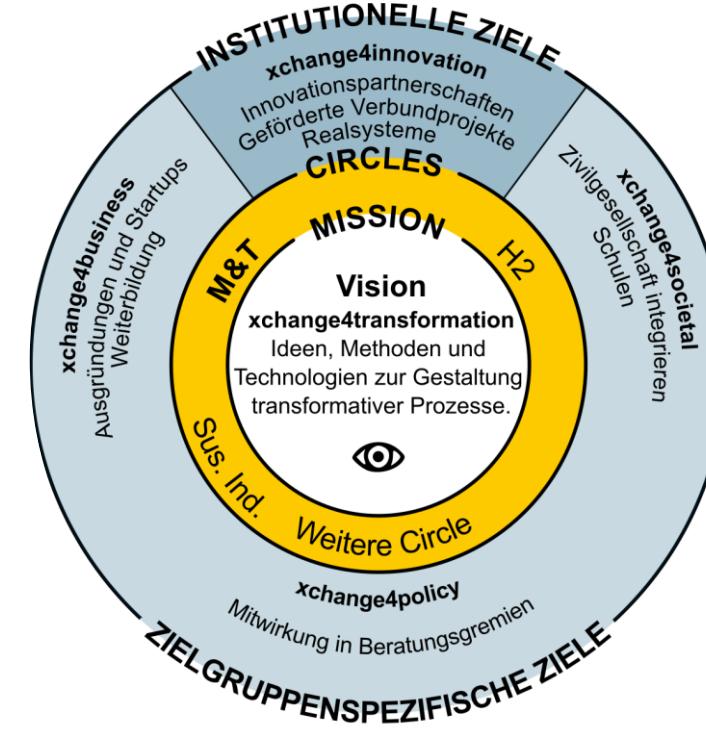
# xchange-Strategie der TU Darmstadt

## Circle Sustainable Mobility & Transport



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

xchange der TU Darmstadt bezeichnet den  
**wissenschaftsbasierten, verantwortungsvollen**  
und partnerzentrierten **Austausch von Ideen,**  
**Wissen, Erkenntnissen und Technologien,**  
sowohl **intern** als auch mit **externen Partnern.**



# xchange-Circle Sustainable Mobility and Transport

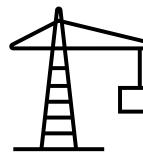
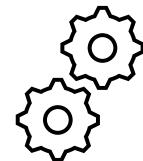
Wer steckt dahinter?



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

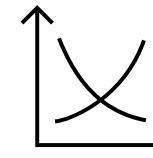
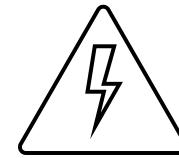


**Fachbereich Maschinenbau**  
(6 Institute)



**Fachbereich Bauingenieurwesen**  
(3 Institute)

**Fachbereich Elektrotechnik**  
(3 Institute)

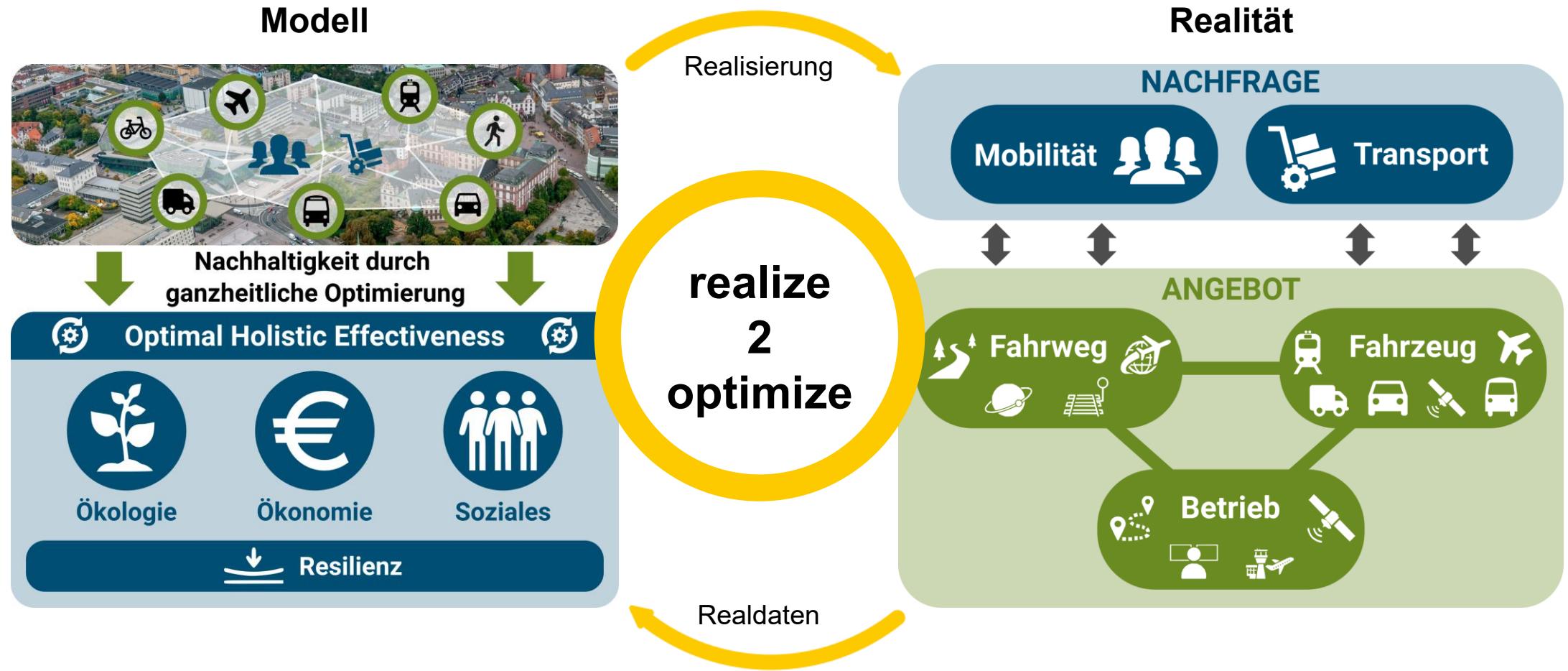


**Fachbereich Wirtschaftswissenschaften**  
(1 Institut)

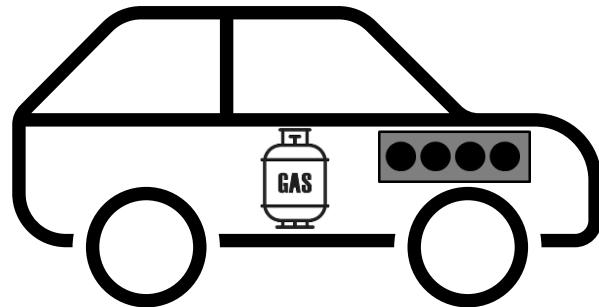
**Interdisziplinäre Zusammenarbeit für Austausch mit Wirtschaft, Politik und Gesellschaft**

# xchange-Circle Sustainable Mobility and Transport

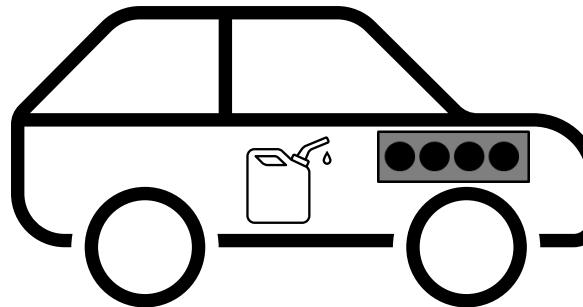
## Vision und Vorgehen



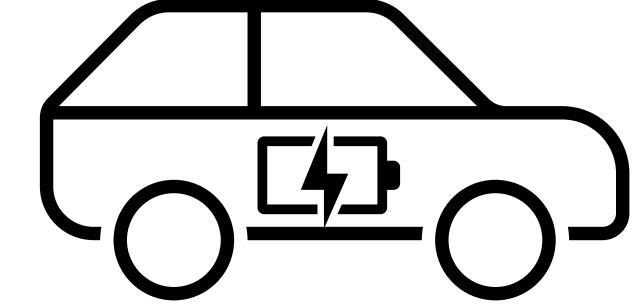
## Erdgas-Verbrenner



## Verbrauchsangaben nach WLTP

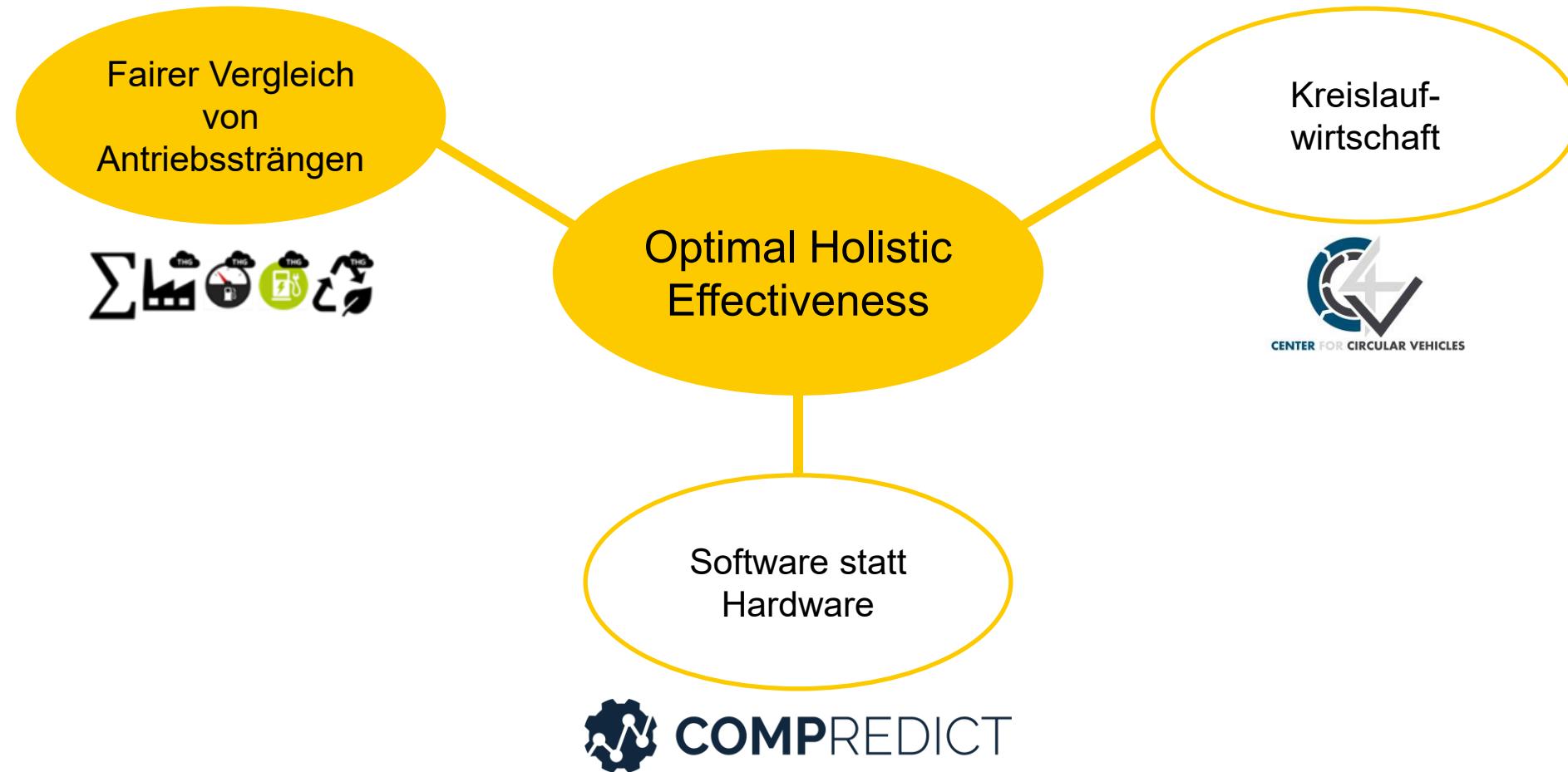


## Elektroautos



Es müssen immer alle Faktoren betrachtet werden: Optimal Holistic Effectiveness

# Anwendungsbeispiele Sektor Verkehr



# Driving Optimal Powertrains (DrOPs)

## Fairer Technologievergleich von Antriebskonzepten



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

### MOTIVATION

#### Vergleich des ökologischen Potentials

Ziel: Minimal mögliche CO<sub>2</sub>-Bilanz

Ansatz: Modellbasierte Optimierung  
unterschiedlicher Antriebstechnologien

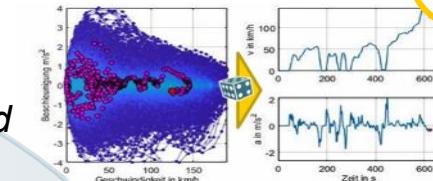
$$\min f(x) = \sum \text{Iconen}$$



### ANWENDUNGSFALL

#### Individuelle Fahrprofile

Nutzung realer Fahrdaten für  
repräsentative Fahrzyklen und  
Fahrdistanzen

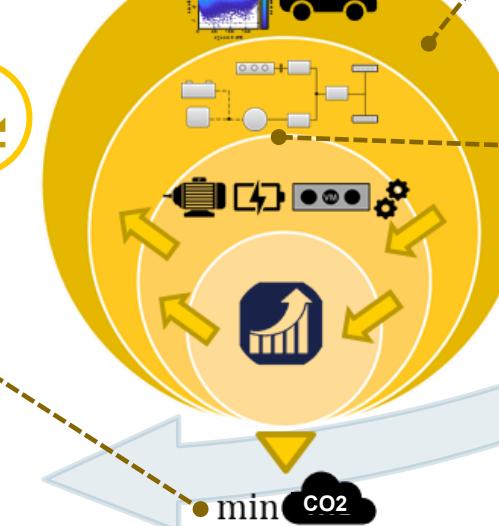
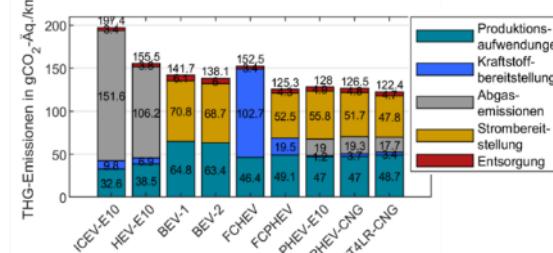


**Fahrzeugeinsatz**  
Stadt, Langstrecke,  
Familie/Pendler, ...

Spezifische Ergebnisse  
Land (D, ...), Bezugsjahr

### ÖKOLOGISCHES POTENTIAL

Minimale CO<sub>2</sub>-Bilanz durch  
optimale Auslegung und Nutzung  
Ergebnis Technologievergleich



### FAHRZEUGSIMULATION

Dynamische Fahrmodellierung  
Optimierung Auslegungs- und  
Betriebsparameter mit detaillier-  
tem Antriebsstrangmodell



Dissertation Arved Eßer (2021)

DrOPs: Driving-Optimal Powertrains

# Driving Optimal Powertrains (DrOPs)

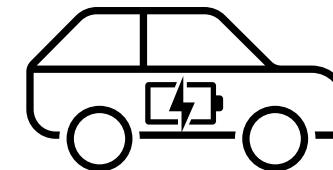
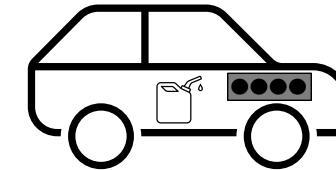
## Antriebskonzepte zum Vergleich



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

### Untersuchte Antriebskonzepte

- ICEV: Konventionell verbrennungsmotorisches Fahrzeug
- BEV-1: Batterieelektrisches Fahrzeug (Festgang)
- BEV-2: Batterieelektrisches Fahrzeug (2-Gang Getriebe)
- HEV: Vollhybrid mit Verbrennungsmotor (E10)
- FCHEV: Brennstoffzellenfahrzeug
- FCPHEV: Brennstoffzellenfahrzeug mit Plug-in Option
- PHEV: Plug-in Hybrid (P2) mit VM (E10 & CNG)
- TDT4LR: Dedizierter Hybridantrieb mit Plug-in Option (CNG)



# Driving Optimal Powertrains (DrOPs)

## Beispiel des ökologischen Potentials (Artemis-MiD400 2020)

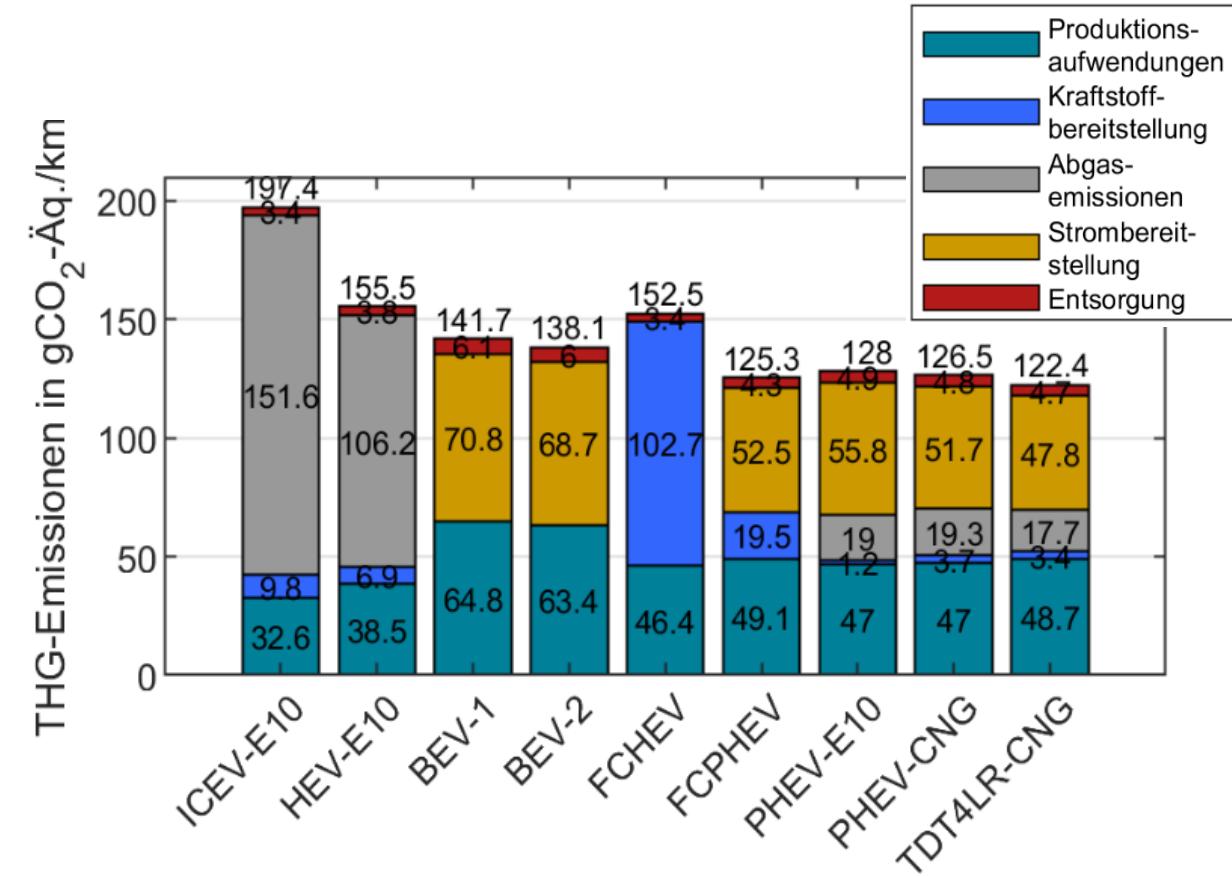


TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

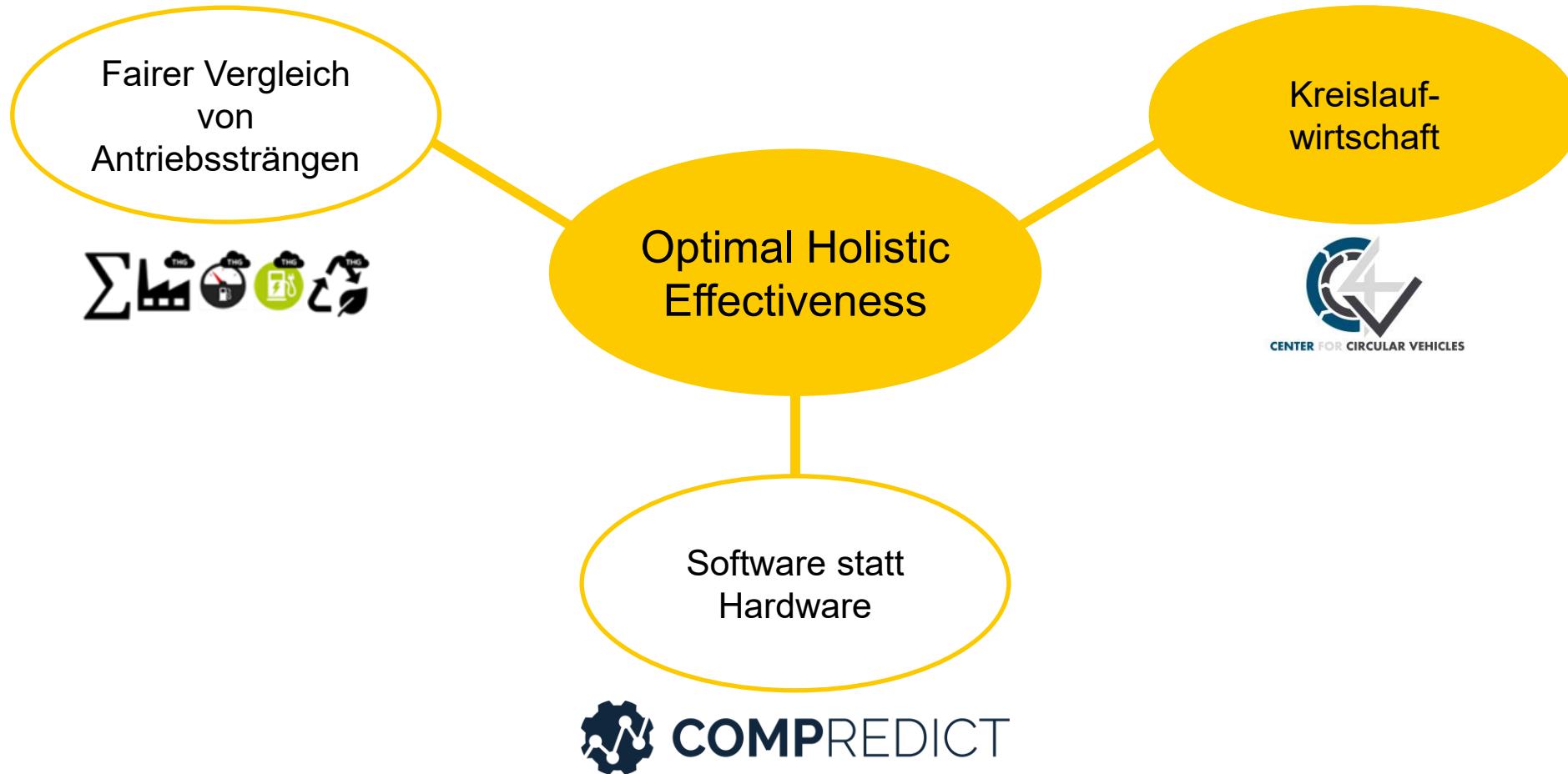
### Ökologisches Potential

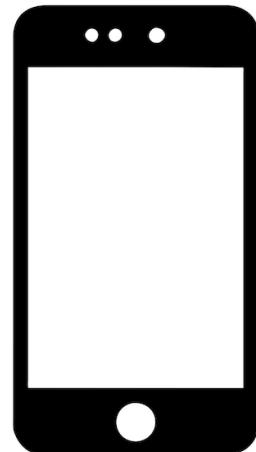
- Elektrifizierung essenziell
- Plug-in Option vorteilhaft
- BEV-Klasse: Potential der Mehrgängigkeit
- Plug-in Hybridkonzepte: Bestes Potential
  - Hoher el. Anteil trotz kleiner Batterie

Ergebnis spezifisch für  
Nutzungsprofil & Annahmen!

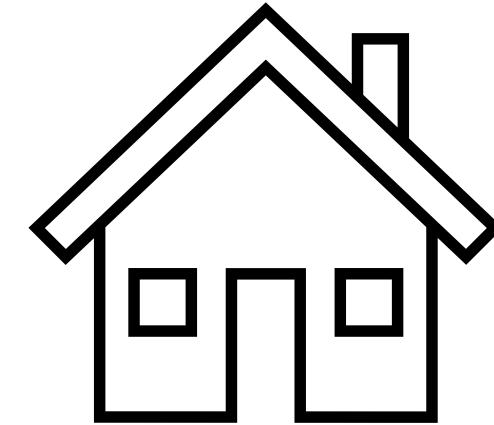


# Anwendungsbeispiele Sektor Verkehr





Smartphone on Wheels?



Appartment on Wheels?

Upgradeability!

**Treiber** der  
„Upgradeability“



Markt



Regulatorik



Technologie

**Befähiger** der  
„Upgradeability“



High Performance Computing



Software Definedness



Modularität

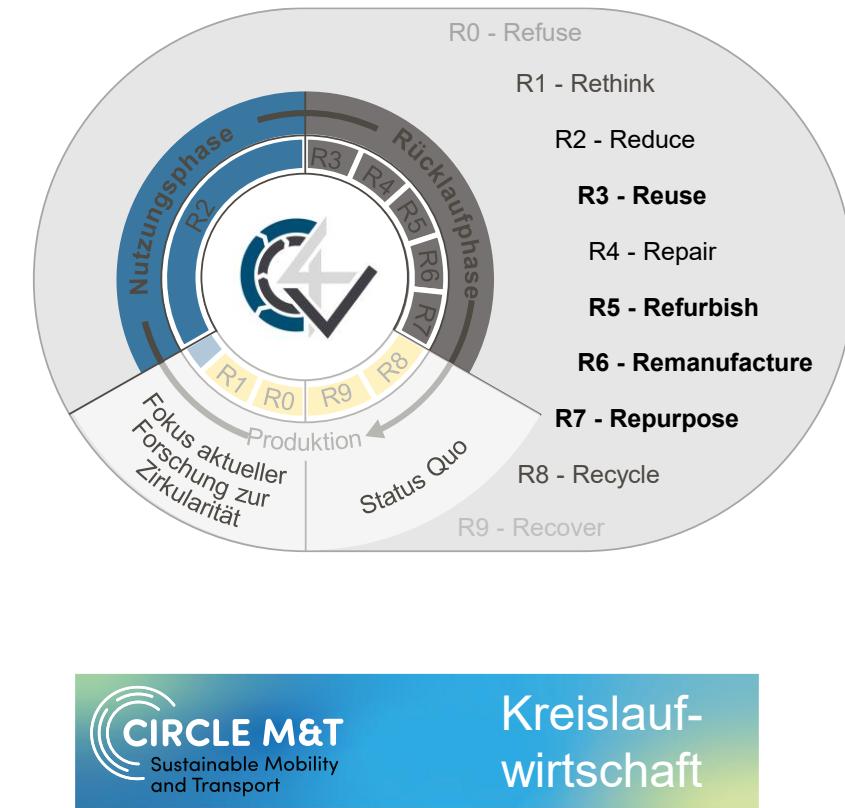
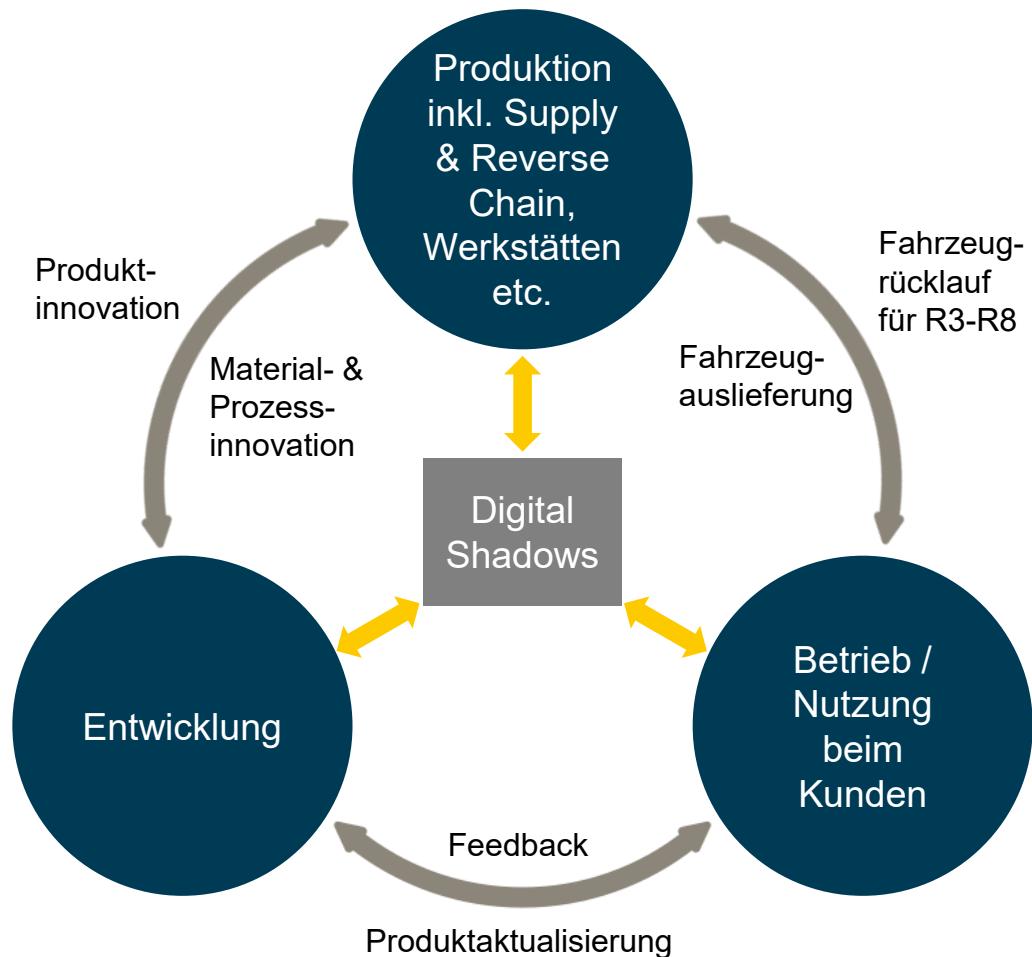
**Upgradeability ist technisch möglich!**

# Center for Circular Vehicles (C4CV, Steven Peters)

## Auswirkungen der Zirkularität auf Wertschöpfungsstrukturen

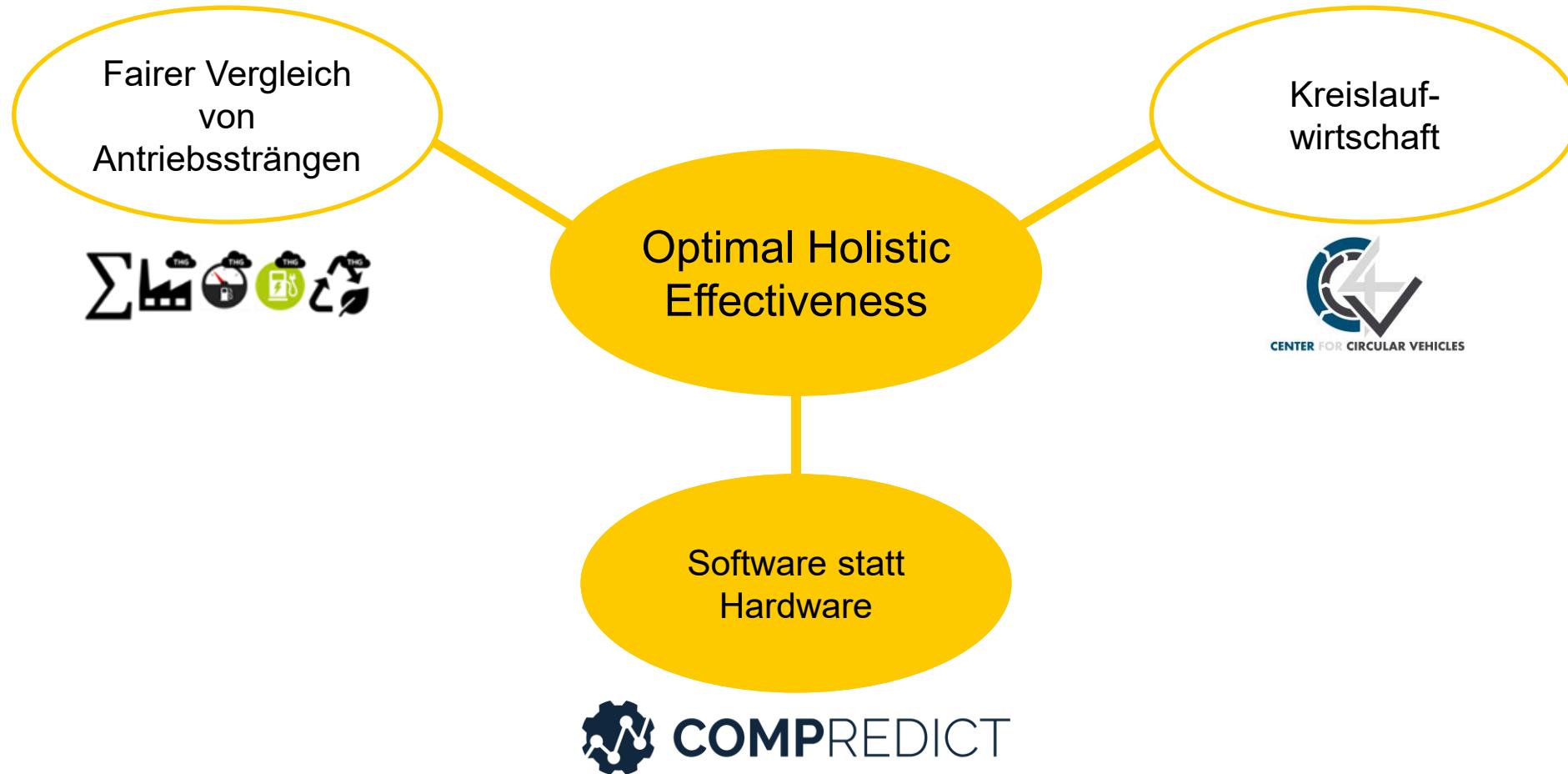


TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

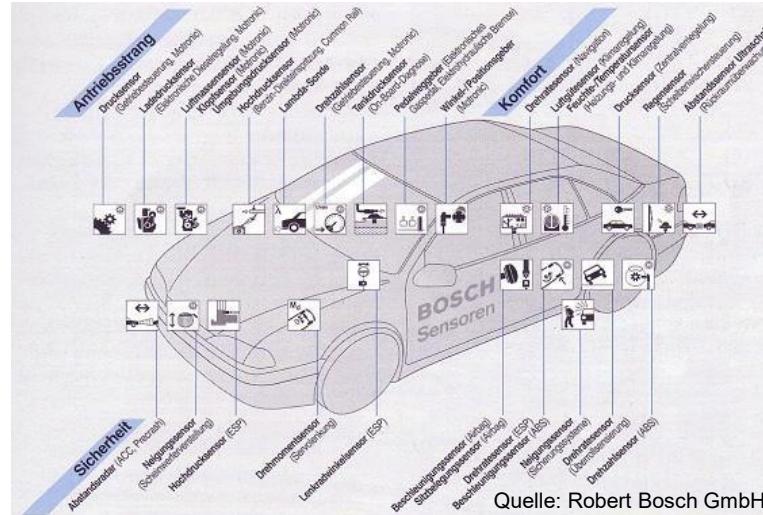


Kreislauf-  
wirtschaft

# Anwendungsbeispiele Sektor Verkehr



# Hardware- und Virtuelle Sensoren



Vielzahl an Sensoren im Auto



Steigende  
Preise für  
Endver-  
braucher



Lösung?

Virtuelle Sensoren



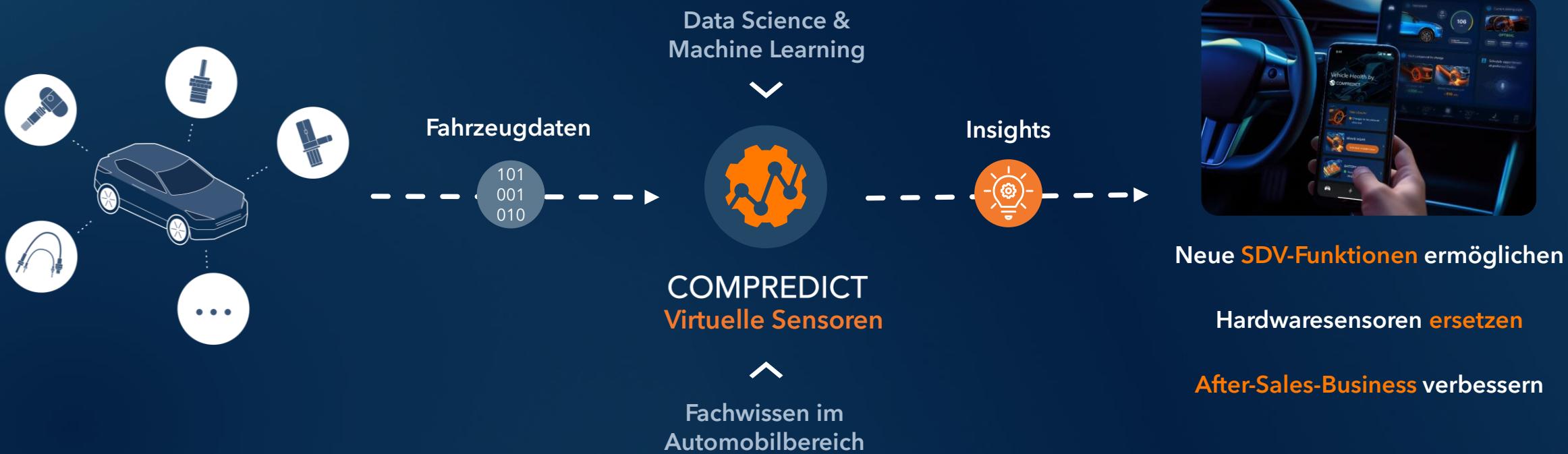
Was sind virtuelle Sensoren?

Virtuelle Sensoren ermitteln mit Hilfe von Modellen Zielgrößen, die nicht über Hardware-Sensoren gemessen werden.



 **COMPREDICT**

# VIRTUELLE SENSOREN VERWANDELN FAHRZEUGDATEN IN WERTVOLLE SOFTWARE-LÖSUNGEN



# COMPREDICTs PORTFOLIO FÜR VIRTUELLE SENSOREN:



## Neue SDV-Möglichkeiten



Radkraftwandler



Fahrzeuggewicht



Dämpferkräfte



Kräfte Lenkstange



Drehmoment Antriebswelle



## Ersetzen von Hardware



Frontlicht Leveling



E-Motor Temperatur



Temperatur Bremse



Temperatur Reifen



Reifendruck

Federweg



## Aftersales Business



Reifenverschleiß



Bremsenverschleiß

# Virtuelle Sensoren für Reifendruck - Übersicht



## Rolle & Wichtigkeit:

Die kontinuierliche Überwachung des absoluten Reifendrucks aller Reifen gewährleistet eine optimale Fahrzeugeleistung, Sicherheit und Kraftstoffeffizienz.

## Regulatorik:

Reifendruckkontrollsystem (TPMS) ab September 2007 für alle neuen Personenkraftwagen vorgeschrieben (UNECE-Regelung Nr. 64, November 2007).

## Optionen zum Ersetzen von Hardware:

OEMs können alle vier Reifendrucksensoren durch den virtuellen Sensor von COMPREDICT ersetzen. Der virtuelle Sensor kann ohne Einbußen bei der Genauigkeit implementiert werden.

## Reifendrucksensoren:

Sensoren, die den Reifendruck eines Fahrzeugs jederzeit überwachen und melden, um einen korrekten Reifendruck für Sicherheit und Effizienz zu gewährleisten.

**Stückliste: 15 € - 25 € pro Fahrzeug\***

Komplexere Software . . .

. . . einfachere Hardware

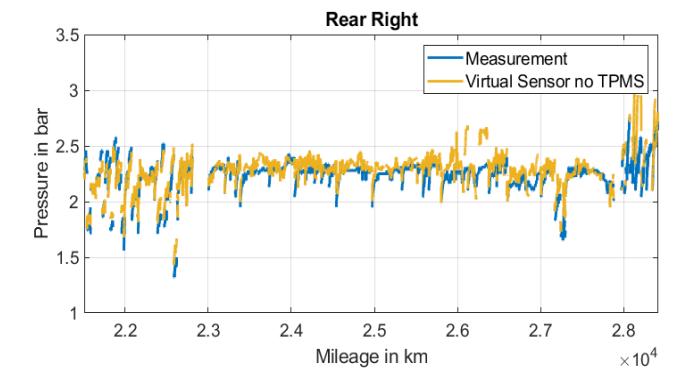
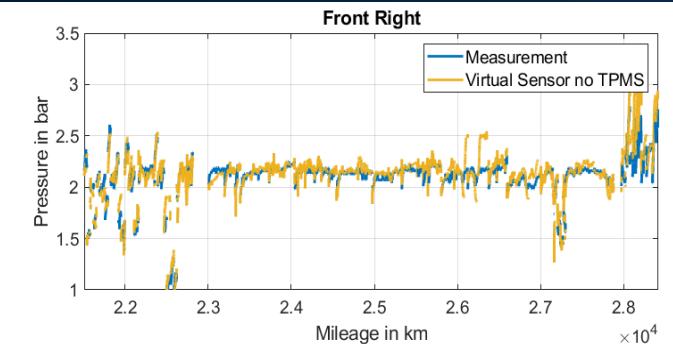
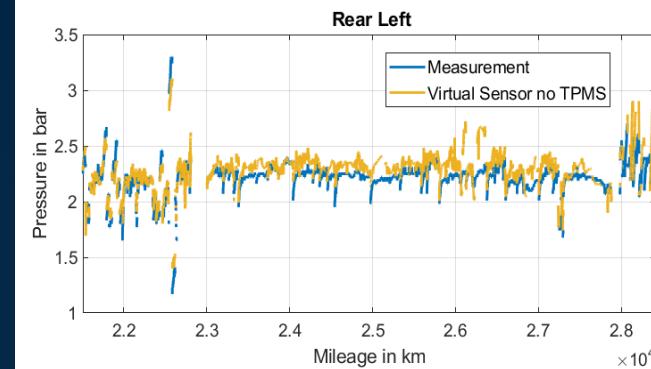
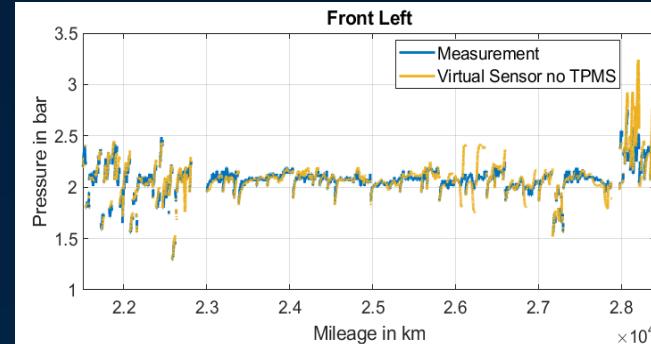
# Die erste 100% Softwarelösung, die OEMs und Fahrern einen **direkten Reifendruck** bereitstellt.



Hohes **Einsparpotential** durch vollständiges Ersetzen der Hardware-Sensorik für Reifendruck-Monitoring

Genauigkeit: +/- 0.2 bar (RMSE: 0.11 bar)

Benötigte Signale: Bis zu 15 Signale werden benötigt; Frequenz  $\geq 10\text{Hz}$



# VERÄNDERUNG DES AFTER-SALES-GESCHÄFTS DURCH VIRTUELLE SENSOREN



## Reifenverschleiß

Echtzeit-Überwachung der Profiltiefe und genaue Vorhersage der verbleibenden Laufleistung für jeden Reifen.



## Bremsenverschleiß

Kontinuierliche Bewertung des Zustands von Bremsbelägen und Bremsscheiben sowie Prognose des Lebensendes.

**>180€**

Zusätzlicher Profit pro Fahrzeug

**<0,5 mm**

Führende Genauigkeit

**0%**

Zusätzliche Hardware



# COMPREDICT

THE VIRTUAL SENSOR COMPANY



Innovation durch Startup  
aus der Universität

COMPREDICTOR

BACKED BY

**TOYOTA**  
woven capital

TRUSTED BY

**Renault**  
Group

**100%**

Vollständig softwarebasierte  
Technologie

**10 MIO**

Virtuelle Sensoren in  
Fahrzeugen der Renault Group

**10**

Länder mit OEM-Zusammenarbeit

**100%**

Kompatibel mit jedem Software-  
Defined Vehicle

Our partners:

**NXP**

**aws**

**BlackBerry** | **QNX**

**ALPINE**

**COVESEA**

**SHIFT4GOOD**

**UTAC**

**DEWEsoft®**

**SONATUS**

# Einfach machen oder komplex lösen: Was braucht nachhaltige Mobilität wirklich?



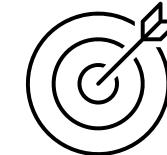
TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



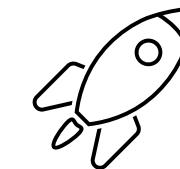
Optimierungsprobleme sind immer multikriteriell!



Vernachlässigung von Komplexität kann zur Verfehlung von Zielen führen!



Kreative Ansätze in komplexen Systemen → Innovation, Startups



**Einfach machen oder einfach machen?**

# VIELEN DANK!

Tobias Peichl

Prof. Dr.-Ing. Stephan Rinderknecht  
Otto-Berndt-Straße 2  
64287 Darmstadt

✉ [rinderknecht@ims.tu-darmstadt.de](mailto:rinderknecht@ims.tu-darmstadt.de)  
☎ +49 6151 16-23250



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

**MASCHINENBAU** **IMS**  
We engineer future

