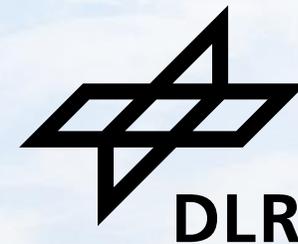


Alternative Antriebstechnologien im kommunalen Fuhrpark



Forschung am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Luftfahrt

Raumfahrt

Energie

Verkehr – Institut für Fahrzeugkonzepte, Stuttgart

Sicherheit

Digitalisierung



55 Institute deutschlandweit

Über 10 000 Mitarbeitende

Transformation der Mobilität: Chancen für Klimaschutz und lebenswerte Räume

Ziele

- Bundesebene: Senkung der Verkehrsemissionen um 48 % bis 2030*
- Landesebene: Senkung der Verkehrsemissionen um 55 % bis 2030**
- Schorndorf: Klimaneutralität bis 2035***
- Kommunalen Fuhrpark bietet Möglichkeiten

Nachhaltige Mobilität – Chancen für den Klimaschutz und attraktive Stadtgestaltung



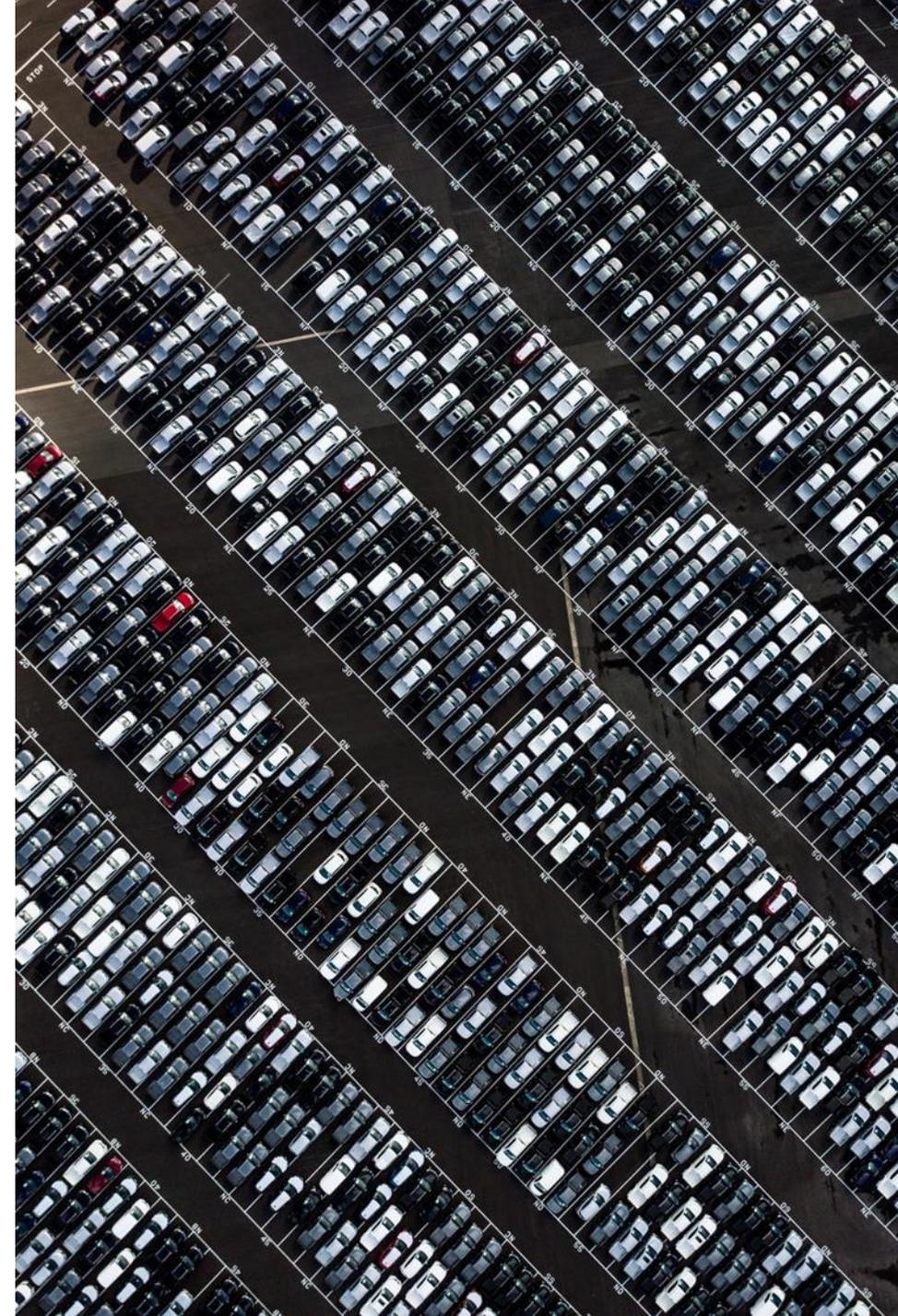
Grafik: DLR

Agenda

1. **Alternative Antriebstechnologien**
2. **Aktuelle Marktsituation**
3. **Hinweise für einen kommunalen Fuhrpark**

Ergänzende Unterlagen:

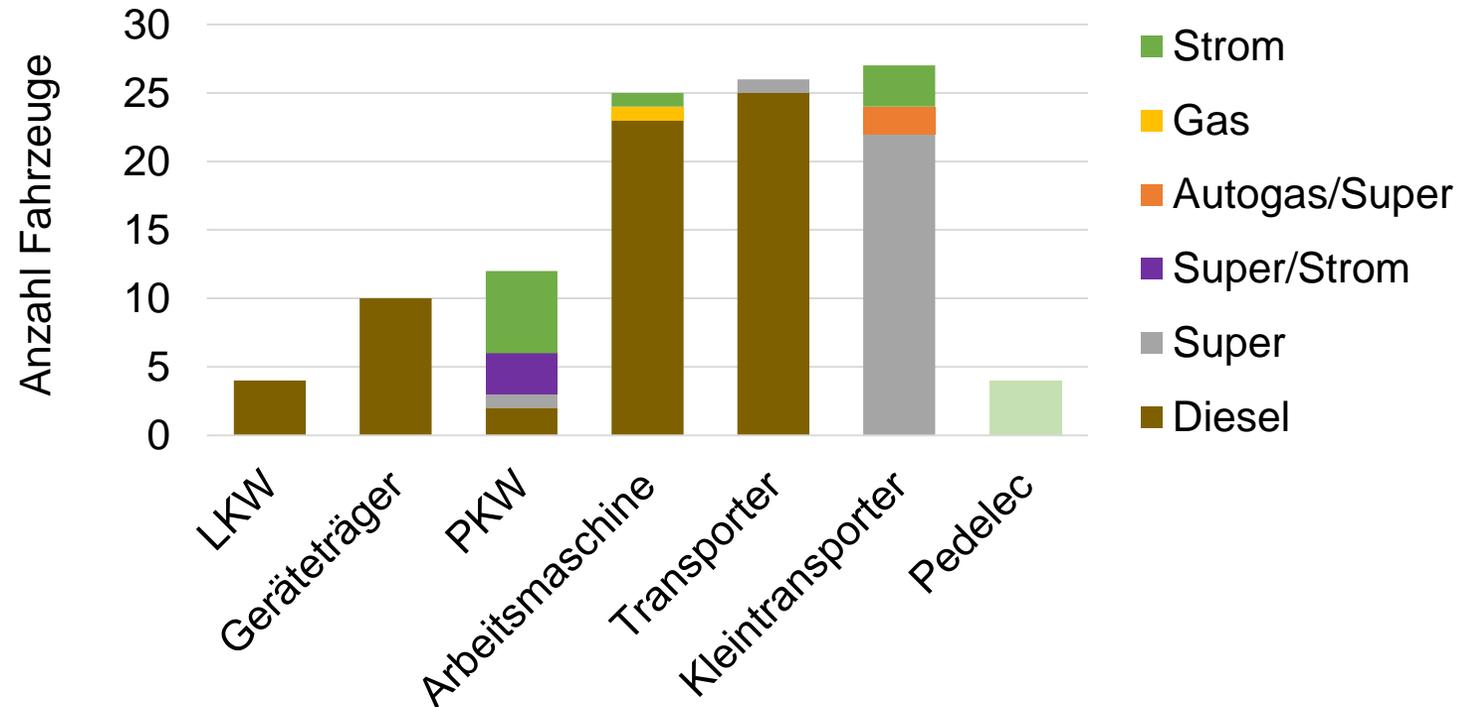
Emissionsbilanzen alternativer Antriebstechnologien



Fuhrpark der Stadt Schorndorf heute

- Überwiegend Dieselfahrzeuge bei Arbeitsmaschinen, Lkw und Transportern
- Benzinfahrzeuge nur im Bereich der Pkw und Kleintransporter
- Sehr geringer Anteil (ca. 10%) elektrifizierter Fahrzeuge
- Gas kommt nur bei Arbeitsmaschinen in sehr geringem Umfang zum Einsatz
- Zusätzlich 4 Dienst-Pedelecs vorhanden

Fahrzeuge im Fuhrpark der Stadt Schorndorf & Eigenbetriebe (SES & ZDS)



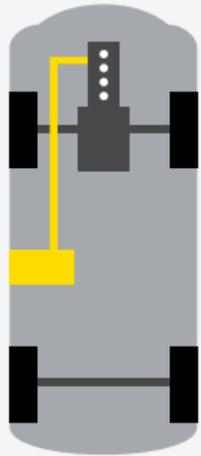
Alternative Antriebstechnologien: Aktuelle Marktsituation



Energieträger für Straßenfahrzeuge mit Verbrennungsmotor

Verbrennungsmotor

Konventionelles Fahrzeug



 Benzin-/Dieseltank
ggfs. zusätzl. Gastank

 Verbrennungsmotor



- **Benzin/Diesel** (flüssig*)



- **CNG** (Compressed Natural Gas, **Methan**, gasförmig bei 200-250 bar & Umgebungstemp.)
→ *Komprimierter fossiler Energieträger (Erdgas)*



- **LPG/Autogas/Flüssiggas** (LPG = Liquefied Petroleum Gas, **Propan/Butan Gemisch**, flüssig bei < 10 bar und Umgebungstemperatur)
→ *Komprimierter fossiler Energieträger als Nebenprodukt der Erdgas- und Erdölindustrie*



- **LNG** (Liquefied Natural Gas, **flüssiges Methan**, flüssig bei atmosphärischem Druck und Temperaturen von -161 bis -164 °C)
→ *Verflüssigter fossiler Energieträger (Erdgas)*



- **H2 (Wasserstoff)**, entweder flüssig bei -253 °C oder gasförmig bei 350/700 bar)

Einsatz von Gasfahrzeugen im städtischen Fuhrpark

LPG/CNG/LNG

- **Treibhausgasminderung** von LNG-Lkw laut Öko-Institut weniger als 10 % im Vergleich zu Diesel-Lkw [1]
- **Biogas**: theoretisch größere Einsparungen möglich, Problematik des Methanschlupfes, begrenztes Angebot
- **Gaspreise** sind **stark gestiegen**

→ Für die meisten Arbeitsmaschinen gibt es bereits effiziente batterieelektrische Alternativen!



Gabelstapler (Gas)



Zentrale Dienste Schorndorf – Kleintransporter (Gas)

Die Ausgestaltung des städtischen Fuhrparks ist stark anwendungs- und infrastrukturabhängig

Fallspezifische Analyse zur idealen ökonomischen und ökologischen Auslegung notwendig

PKW Bestand in Deutschland im Januar 2022

Elektrifizierte Antriebe

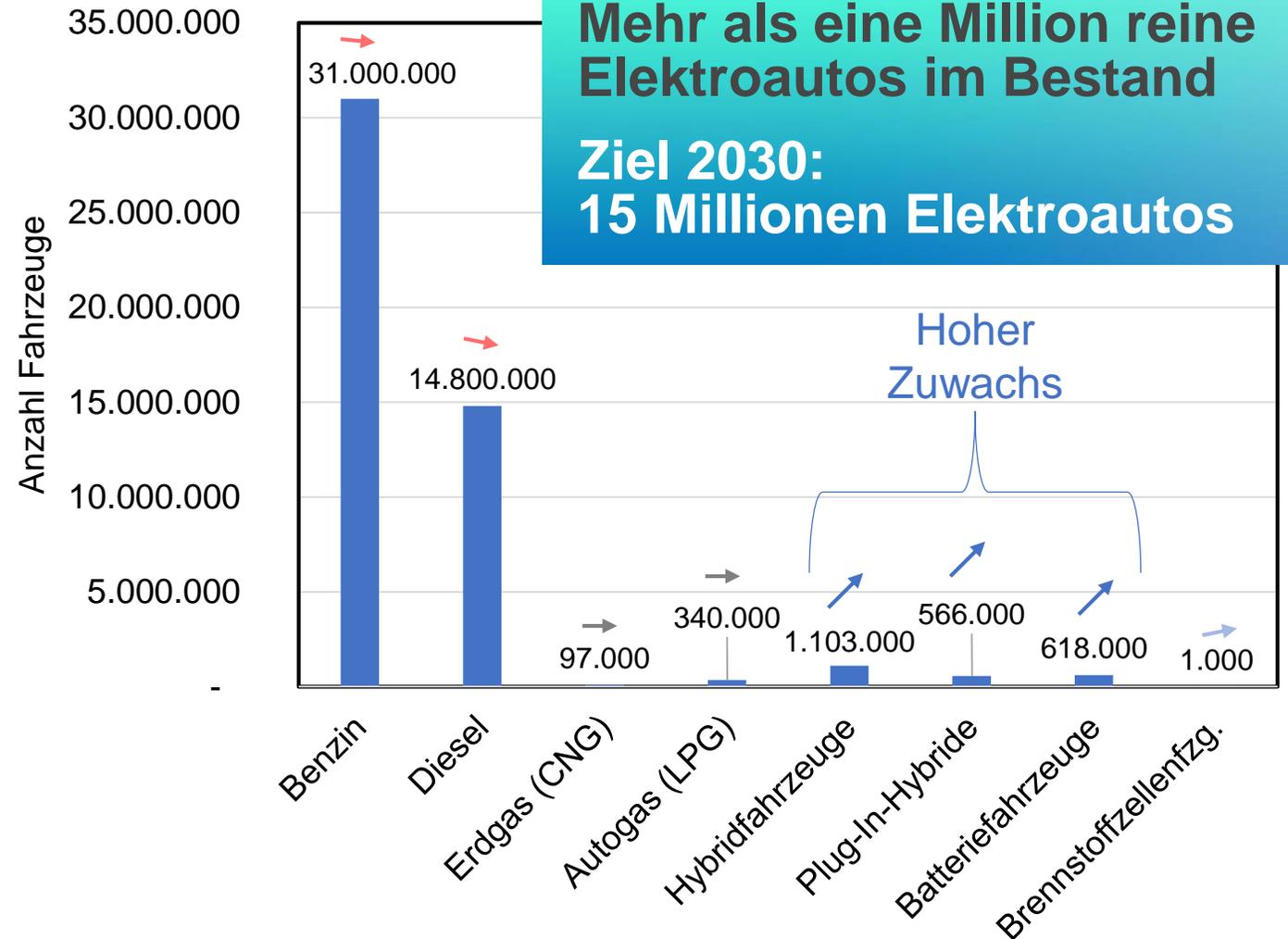
Aktuell noch geringer Anteil am Bestand aber beinahe jährliche Verdoppelung. Bereits über 200 batterieelektrische Fahrzeugmodelle verfügbar.

Gas-Fahrzeuge

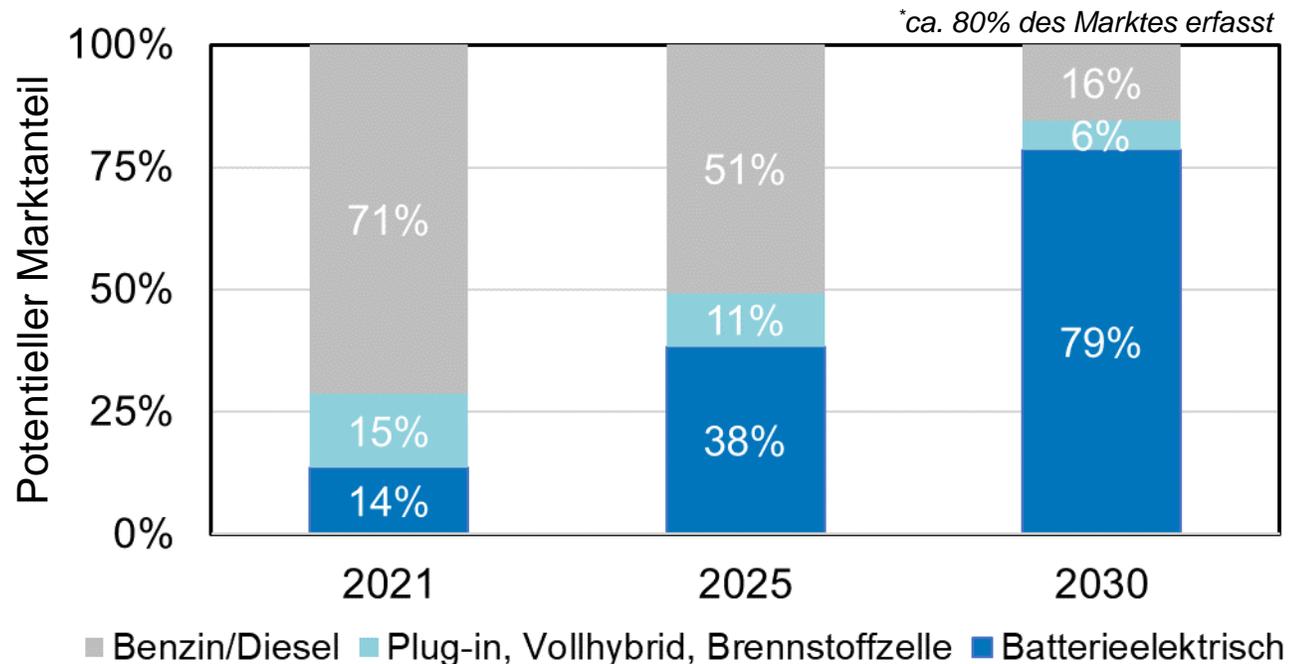
CNG- und LPG-Bestand stagniert auf sehr niedrigem Niveau. Aktuell nur etwa 20 Fahrzeugmodelle verfügbar.

Brennstoffzelle

Kaum Fahrzeuge im Bestand. Lediglich zwei Fahrzeugmodelle verfügbar.



Markthochlauf von E-Fahrzeug-Neuzulassungen (Pkw) in Deutschland basierend auf Hersteller-Ankündigungen*



Quelle: Eigene Auswertung nach OEM-Ankündigungen

Starker Fokus der Hersteller auf batterie-elektrische Fahrzeuge

Volkswagen gibt die Entwicklung neuer Erdgas-Pkw auf

Daimler, Ford, Volvo, Opel planen bis 2030 in der EU rein elektrisch zu sein

EU-Regulierung: ab 2035 nur noch emissionsfreie Pkw bei Neuzulassungen – Umgang mit e-Fuels wird noch verhandelt

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_6462
<https://www.tagesschau.de/wirtschaft/verbraucher/verbrenner-verbot-eu-verbraucher-101.html>
<https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/volkswagen-vw-nimmt-abschied-vom-erdgas/25593434.html?ticket=ST-1667808-05nURThKhmSdzZfdQnTD-ap1>

Perspektiven bei Daimler Truck

KOOPERATION MIT DEUTZ 2. Februar 2023

Daimler Truck stellt Entwicklung von Verbrennungsmotoren ein

Bereits im vergangenen Jahr hatte Daimler verkündet, keine Motoren mehr für die Euro-7-Norm zu entwickeln. Nun beteiligt man sich an der Deutz AG. Künftig wird Deutz die Motoren für den Off-Highway-Einsatz weiterentwickeln und vertreiben.

Daimler Truck plant Wasserstoff-Lkw mit 1000 Kilometern Reichweite

Die Lastwagenbranche steht unter dem Druck, die EU-Klimaschutzziele einzuhalten. Neben Batterien setzt Daimler dabei auch auf Brennstoffzellen.

27.06.2022 - 13:34 Uhr • Kommentieren • Jetzt teilen

Nutzfahrzeuge 18.01.2023

Land unterstützt den Betrieb elektrischer Nutzfahrzeuge

Für die Unterhaltung und den Betrieb batterieelektrischer oder mit einer Brennstoffzelle betriebenen Nutzfahrzeuge kann eine Förderung beantragt werden. Voraussetzung ist der überwiegende Einsatz der Fahrzeuge in Baden-Württemberg.

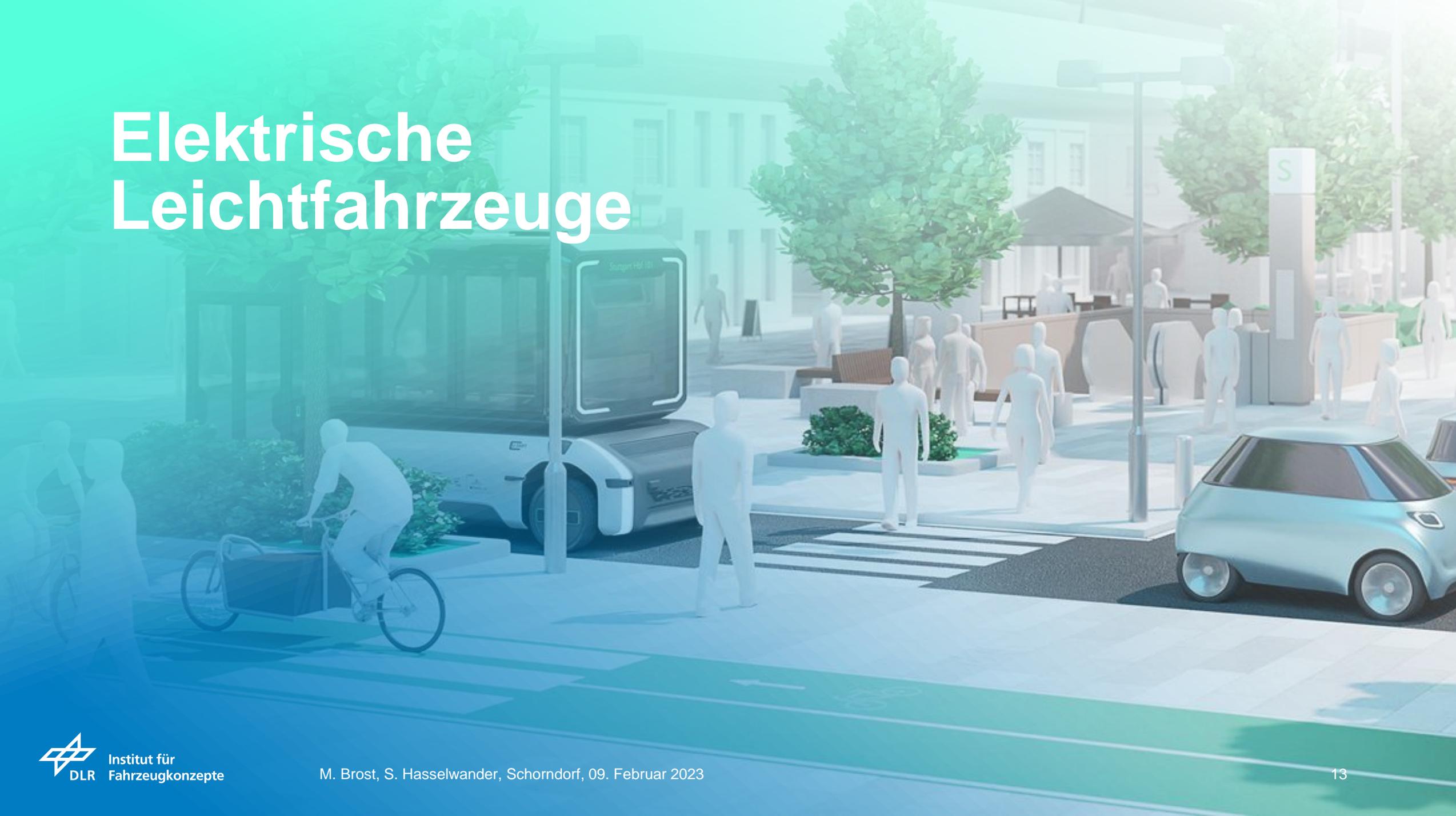
28.03.2022 - 14:06 Uhr - Börse Online Redaktion

Daimler Truck-Aktie steigt: Verbrenner günstiger als Elektroantrieb

BATTERIE ODER WASSERSTOFF - DAIMLER TRUCK SETZT AUF BEIDES

MARKUS JORDAN · 11. FEBRUAR 2022

Elektrische Leichtfahrzeuge



Ist der Energieverbrauch in Zukunft relevant, falls Fahrzeuge elektrisch fahren?

Ja, denn:

- Strompreise sind **Kostenfaktor** und stark gestiegen
- **Anteil an erneuerbarer Energien** am Stromverbrauch in Deutschland 2022 **erst bei 48 %***
- **Anteil an erneuerbarer Energien** am gesamtem Energieverbrauch in Deutschland 2021 **erst bei 19 %****
- **Stromverbrauch im Verkehrssektor wächst**
- Teils kritische Materialien für Stromerzeugung, Akkus **Umweltverschmutzung** und **Menschenrechtsverletzungen** beim Abbau



source: Rr2000 (wikipedia)



source: Diego Delso (wikipedia)



Minimaler Verbrauch ist auch bei Nutzung erneuerbarer Energie anzustreben.

Elektroleichtfahrzeuge – eine Chance für nachhaltigere Mobilität



z.B. für Amtsboten

- Klein, leicht, kosten- und energieeffizient, ressourcenschonend
- Bereits in einigen Kommunen eingesetzt, z.B. Goupil G2
- Vielfältige Modell verfügbar
- Höchstgeschwindigkeit je nach Kategorie: 25 / 45 / 90 und mehr km/h,
- Geringe Treibhausgasemissionen bei Produktion und Betrieb, vgl. Studie LEV4Climate
- **größter Mehrwert für eine nachhaltige Mobilität, wenn Leichtfahrzeuge als Ersatz beschafft und NICHT als Ergänzung werden**



Opel Rocks-e

**Elektroleichtfahrzeug
= Light Electric
Vehicle = LEV**



Microlino



Aixam E-Truck Pritsche

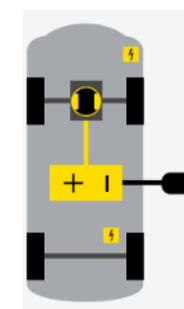
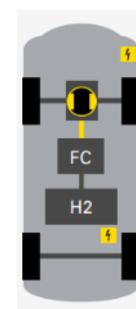
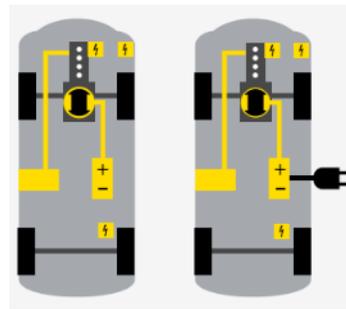
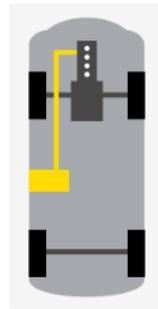


<https://goupil.de/>

Hinweise für einen kommunalen Fuhrpark



Überblick über Pkw-Fahrzeugkonzepte



	Verbrenner (inkl. Gas)	(Plug-In-) Hybrid	Brennstoff- zellenfzg.	Batterie- fahrzeug	Elektrisches Leichtfzg.
Treibhausgasbilanz: Herstellung	+	●	-	-	++
Anschaffungskosten	+	-	--	-	++
Betriebskosten	--	-	-	+	++
Reichweite	++	++	+	●	-
Tank-/Ladedauer	++	++	+	-	--
Energieverbrauch Fahrzeugnutzung	--	-	●	+	++

Quelle

Folie:
21, 22

Folie:
24

Folie:
25

Folie:
26

Folie:
23

Qualitative Bewertung auf Basis DLR Analysen (siehe Backup-Folien).

Klimafreundliche Mobilität mit dem kommunalen Fuhrpark



Klima
schützen



Mobilität
gewährleisten



Transformation
gestalten

Vermeiden

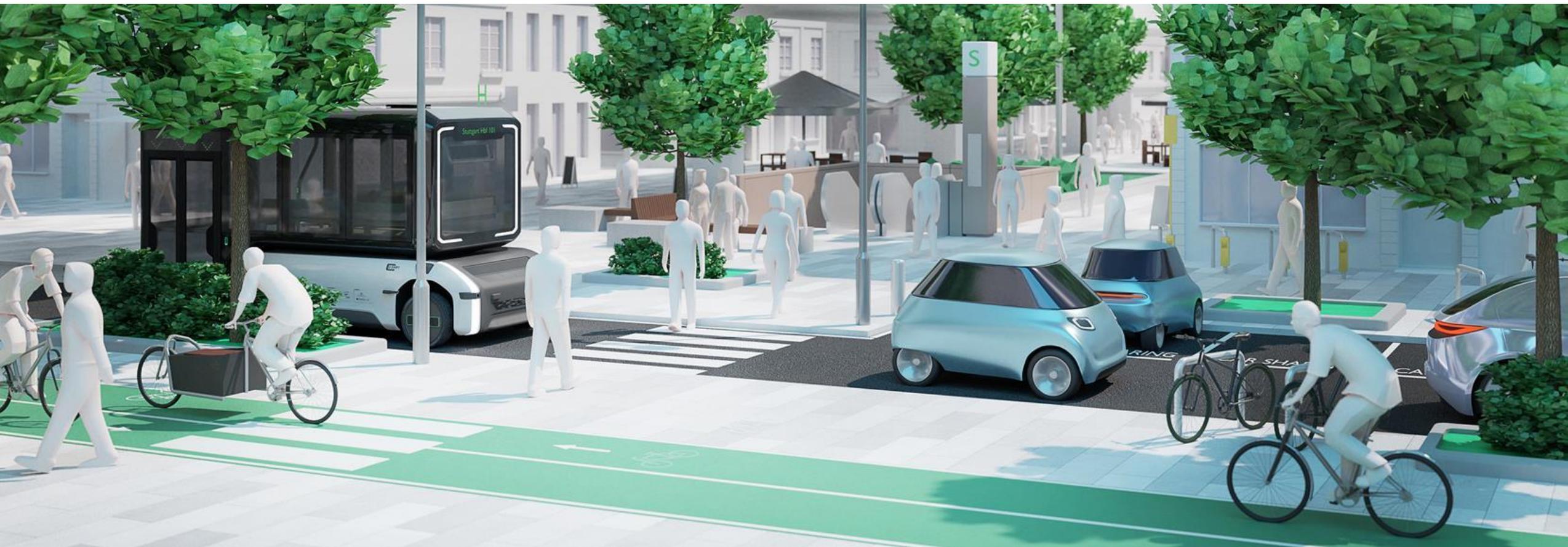
- **Fuß- und Radverkehr sowie ÖPNV** nutzen soweit möglich
- **Sharing als Potential:** so wenige Fahrzeuge wie möglich besitzen/leasen
→ reduziert produktionsbedingte Emissionen

Verlagern

- **Vielfalt - Fahrzeuge passend zur Anwendung** wählen:
So klein wie möglich, so groß wie nötig (z. B. Lastenrad vs. Transporter)

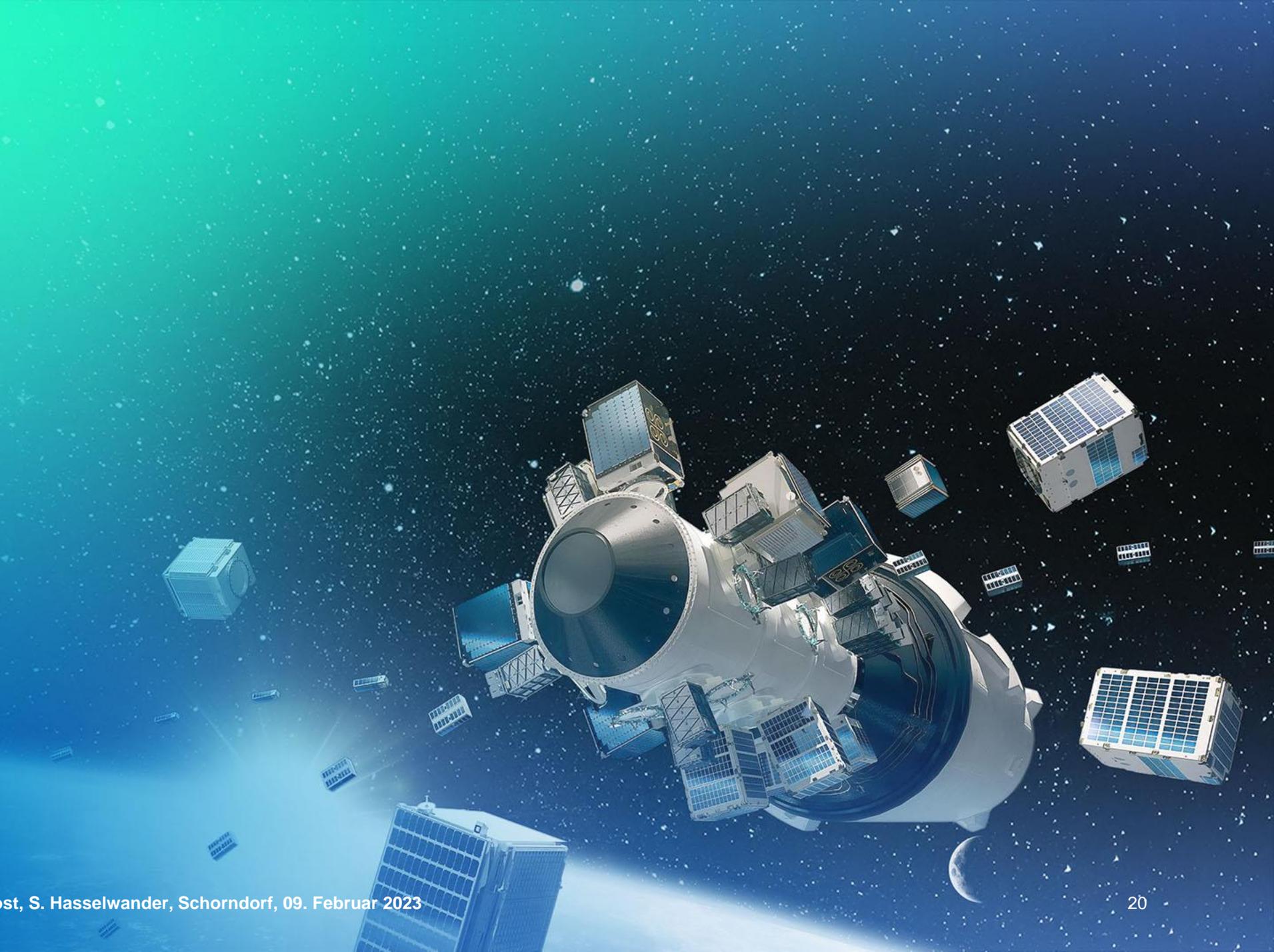
Verbessern

- **Antriebsart:** passend zum Anwendungsfall Fahrzeuge mit geringster Klimabilanz wählen - **Elektroantrieb wo möglich**,
für Kurzstrecken Fahrrad, ggfs. mit Elektrounterstützung

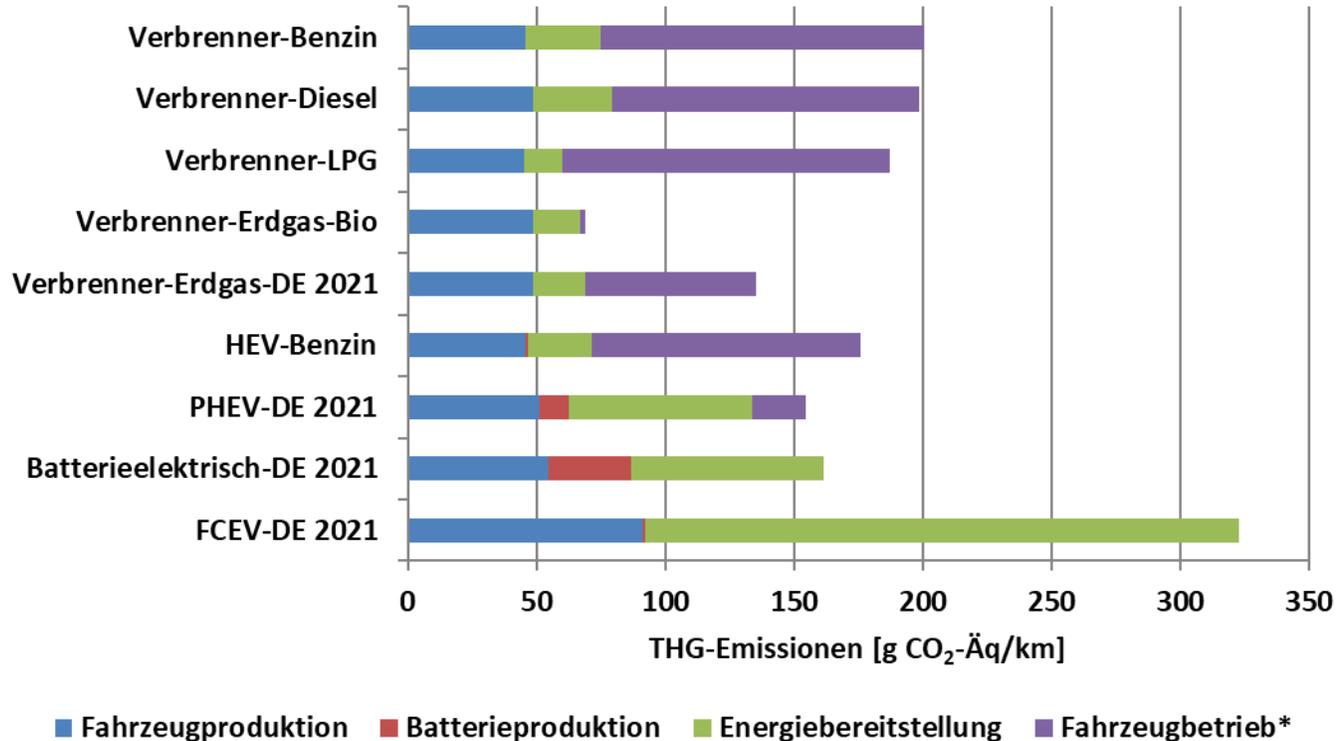


Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Backup



Emissionsbilanzen ausgewählter Fahrzeuge



*Fahrzeugbetrieb: hier nur fossiles CO₂ berücksichtigt, bei Verwendung von Biogas wird bilanziert

Quelle: DLR internes Life Cycle Assessment (LCA)

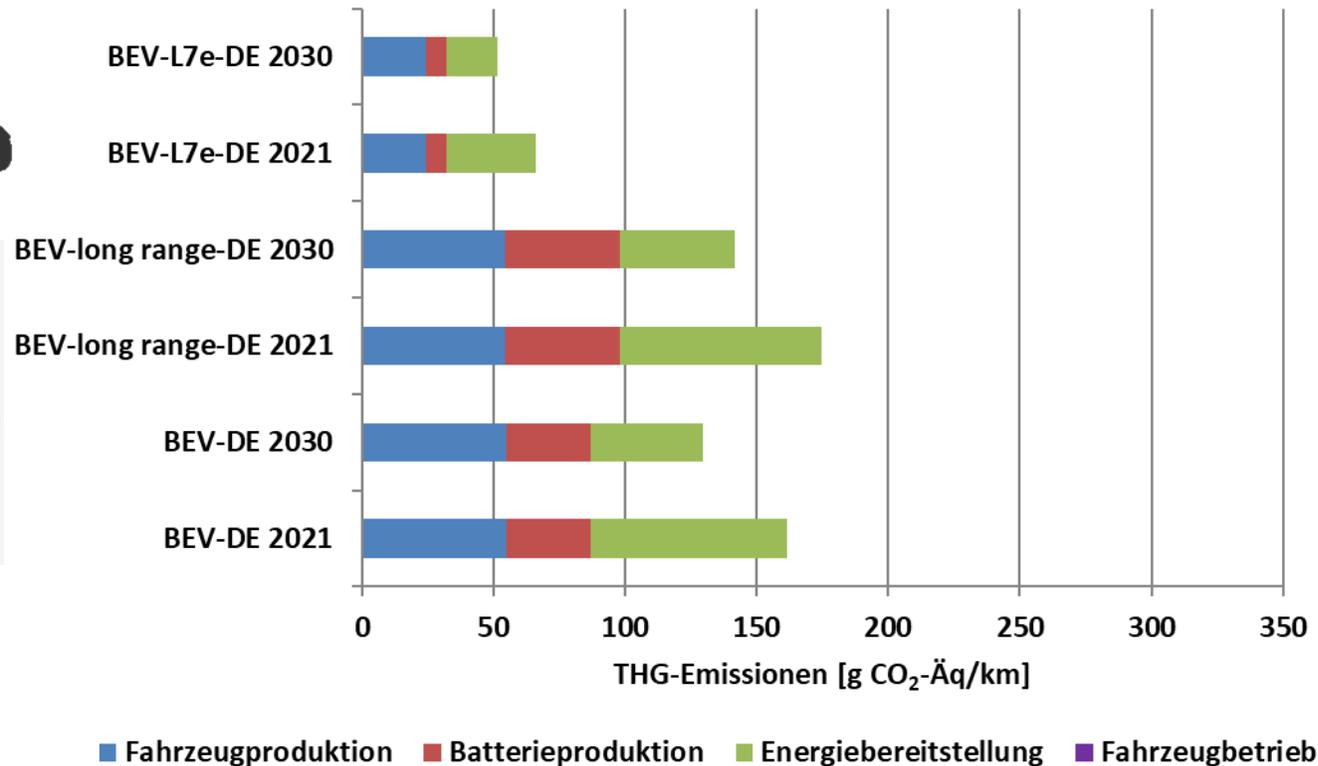
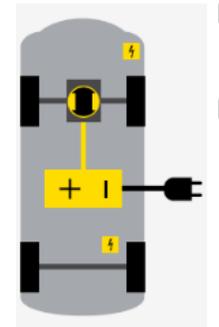
- Grafik zeigt **Durchschnittswerte pro Antriebsart** für Fahrzeuge unterschiedlicher Größe, Gewicht, Leistung, ...
- **Vergleich spezifischer Fahrzeuge wichtig für Kaufentscheidungen:** Emissionen werden nicht nur von der Antriebsart, sondern auch vom Gewicht etc. beeinflusst
- **Strommix** relevant bei Elektrofahrzeugen: Deutschland 2021 (475 gCO₂-Äq/kWh), soll zukünftig emissionsärmer werden

Weitere Annahmen:

- Fahrleistung über den Lebenszyklus (auch für Batterie & FC): 200 Tsd. km / L7e: 160 Tsd. km
- Annahme WLTP-Verbräuche → best case für PHEV
- ICEV-Erdgas-DE 2021: 40% Biogas-Anteil
- Biogenes CO₂ entsprechend dem Biogas-Anteil bei den Fahrzeugbetriebsemissionen abgezogen (also bei 100 % Biogas = 0 g CO₂/km, nur CH₄ und N₂O)
- Für alle Fahrzeugantriebe NMC Zellchemie betrachtet (LCA-Datensatz auf Basis von NMC811)
- H₂: 70% Wirkungsgrad Elektrolyseur angenommen

Emissionsbilanzen ausgewählter Fahrzeuge

Sensitivität elektrische Fahrzeuge bzgl. Batteriegröße & Strom-Mix



Quelle: DLR internes Life Cycle Assessment (LCA)

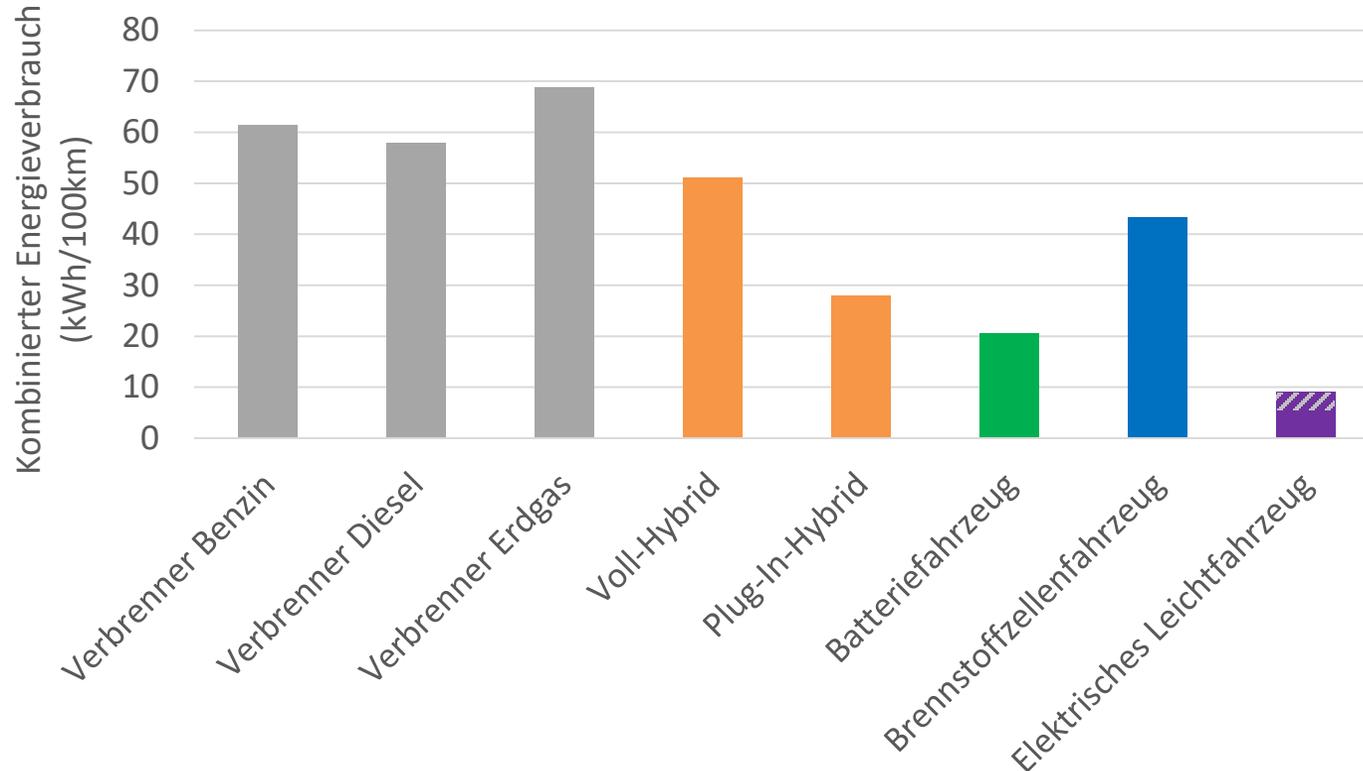
- Batteriegröße maßgeblicher Faktor für Produktionsemissionen
- **Vergleich spezifischer Fahrzeuge wichtig für Kaufentscheidungen:**
vereinfacht: „so klein/leicht/effizient wie möglich, so groß/leistungsstark wie nötig“
- **Strommix** relevant bei Elektrofahrzeugen: Deutschland 2021 (475 gCO₂-Äq/kWh), soll zukünftig emissionsärmer werden, zudem kann die Art der Stromerzeugung individuell gewählt werden (Stromvertrag)

Weitere Annahmen:

- Fahrleistung über den Lebenszyklus (auch für Batterie & FC): 200 Tsd. km / L7e: 160 Tsd. km
- Annahme WLTP-Verbräuche → best case für PHEV
- ICEV-Erdgas-DE 2021: 40% Biogas-Anteil
- Biogenes CO₂ entsprechend dem Biogas-Anteil bei den Fahrzeugbetriebsemissionen abgezogen (also bei 100 % Biogas = 0 g CO₂/km, nur CH₄ und N₂O)
- Für alle Fahrzeugantriebe NMC Zellchemie betrachtet (LCA-Datensatz auf Basis von NMC811)
- H₂: 70% Wirkungsgrad Elektrolyseur angenommen

Emissionsbilanzen ausgewählter Fahrzeuge

Vergleich des Energieverbrauches während der Fahrzeugnutzung



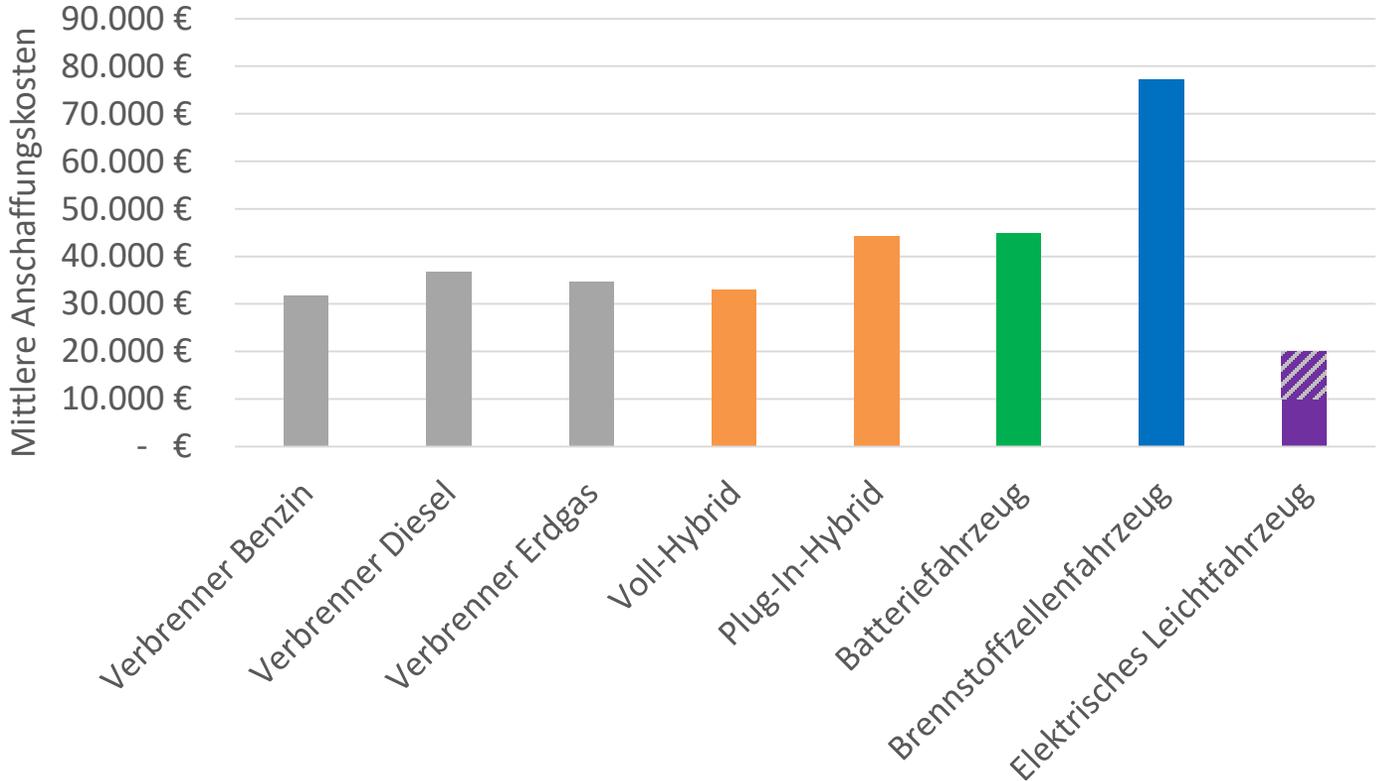
Annahmen:

- Kombiniertes Verbrauch beim Plug-In-Hybrid
- Verbrauch des Microlino stellvertretend für elektrisches Leichtfahrzeug berücksichtigt

Quelle: DLR internes Life Cycle Assessment (LCA); JEC, 2020; [Energieverbrauch Microlino](#)



Vergleich der durchschnittlichen Anschaffungskosten für Mittelklasse Pkw mit unterschiedlichem Antriebsstrang

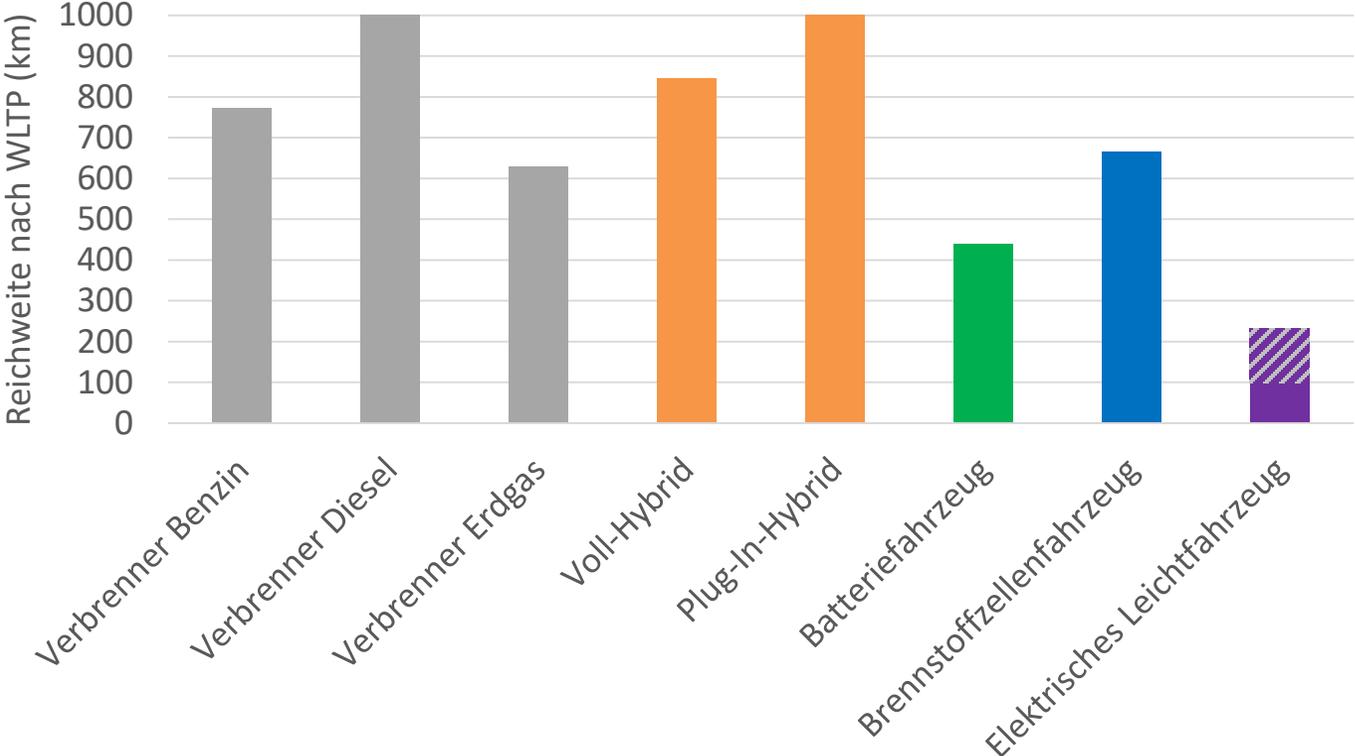


Annahmen:

- Erdgas-, Brennstoffzellen- und Leichtfahrzeug jeweils nur ein Fahrzeug berücksichtigt

Quelle: DLR eigene Auswertung basierend auf KBA und ADAC Daten

Vergleich der durchschnittlichen Reichweite nach WLTP Fahrzyklus von Mittelklasse Pkw mit unterschiedlichem Antriebsstrang

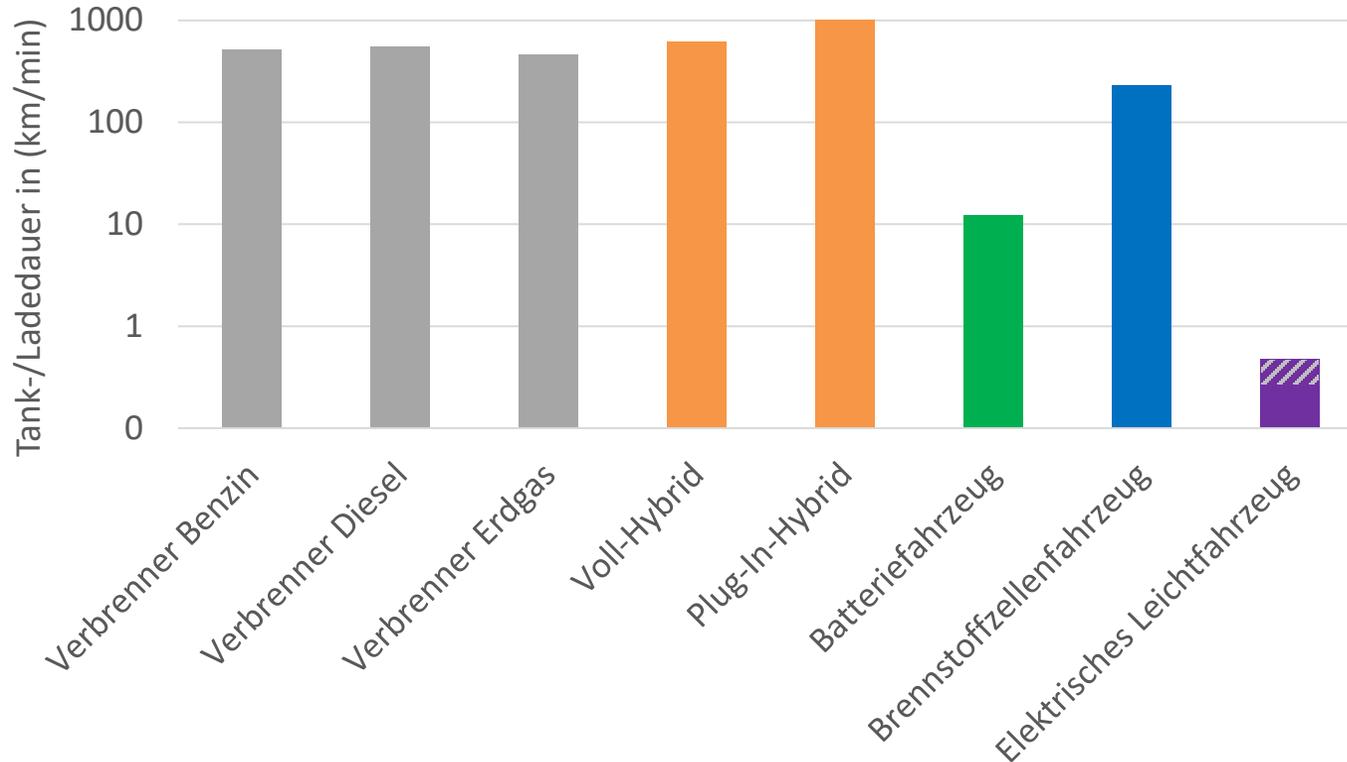


Annahmen:

- Erdgas-, Brennstoffzellen- und Leichtfahrzeug jeweils nur ein Fahrzeug berücksichtigt

Quelle: DLR eigene Auswertung basierend auf KBA und ADAC Daten

Vergleich der durchschnittlichen Tank-/Ladedauer von Mittelklasse Pkw in möglicher Kilometer-Reichweite pro Minute



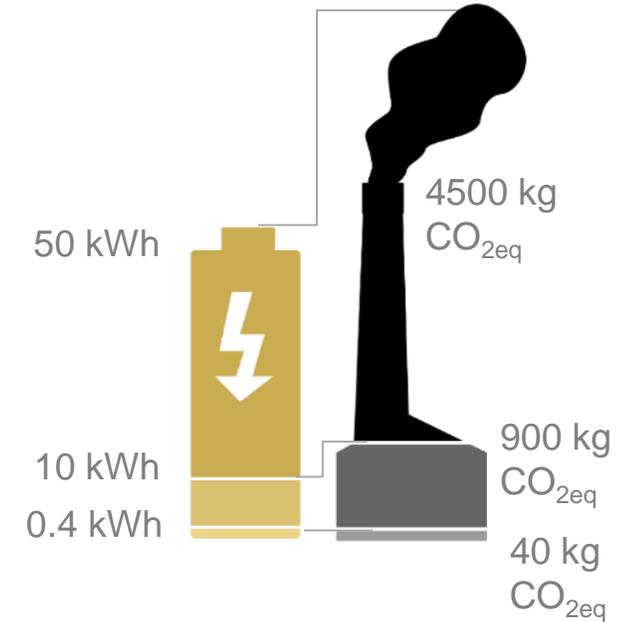
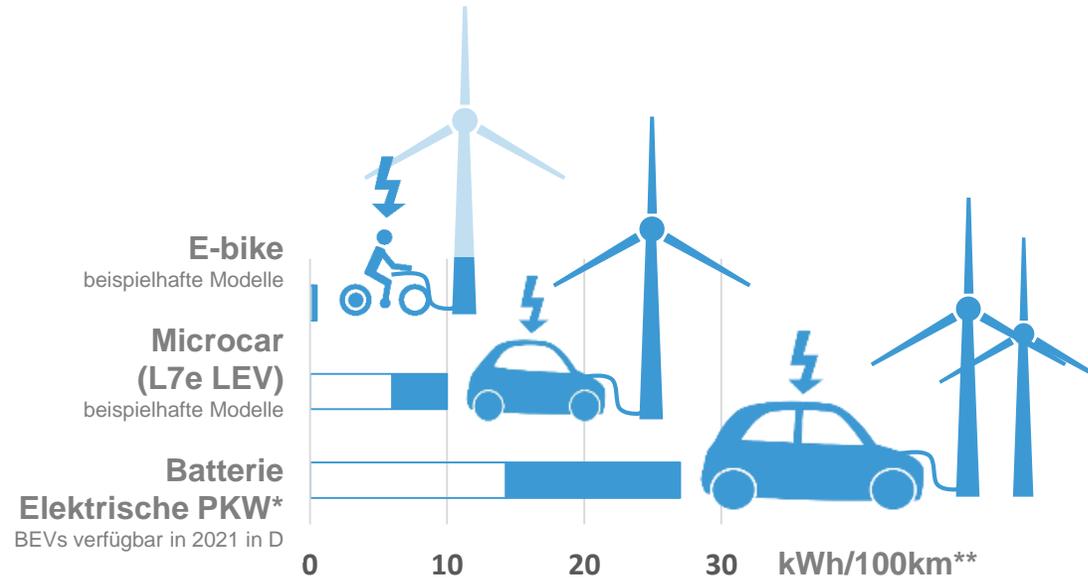
Annahmen:

- Erdgas-, Brennstoffzellen- und Leichtfahrzeug jeweils nur ein Fahrzeug berücksichtigt

Quelle: DLR eigene Auswertung basierend auf KBA und ADAC Daten



Leichte Konstruktion spart Energie und ermöglicht die Verwendung kleiner Batterien



Grafiken: DLR

**Geringes Gewicht,
hohe Effizienz**

**Geringer Energieverbrauch – weniger
Ausbau erneuerbarer Energien nötig**

**Kleinere Batterien – weniger
produktionsbedingte Emissionen**

* Durchschnittsgewicht von Personen über 18 Jahren in Deutschland: 77 kg (GBE Bund, 2017) , average occupancy rate of passenger cars in Germany: 1.5 persons (BMVI, n. d.)

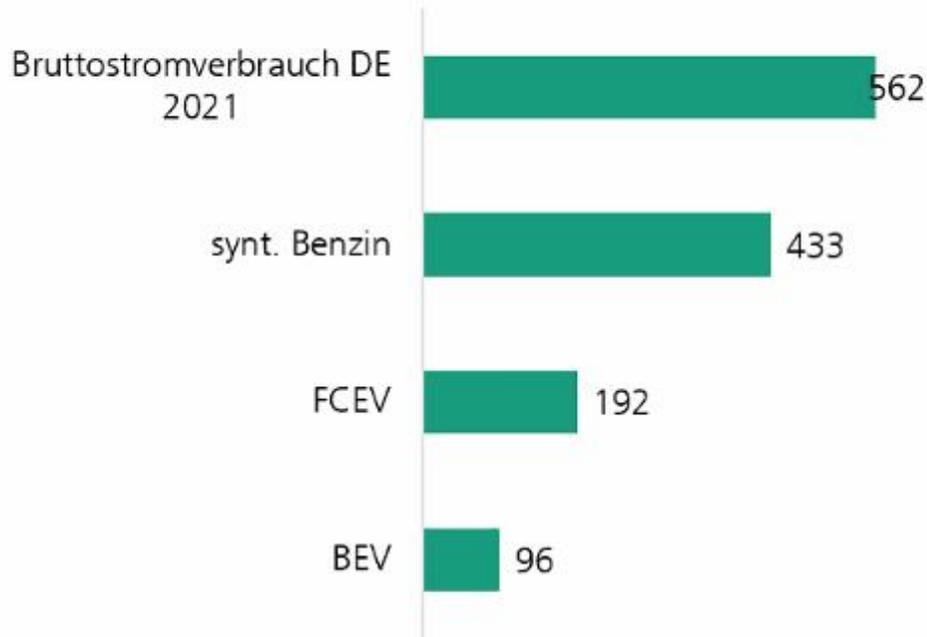
** Pkw-Neuzulassungen, KBA 2021

* 2021 in Deutschland verfügbare BEV-Modelle, WLTP kombiniert ohne 5 % und 95 % Perzentile, basierend auf Daten von KBA und ADAC.

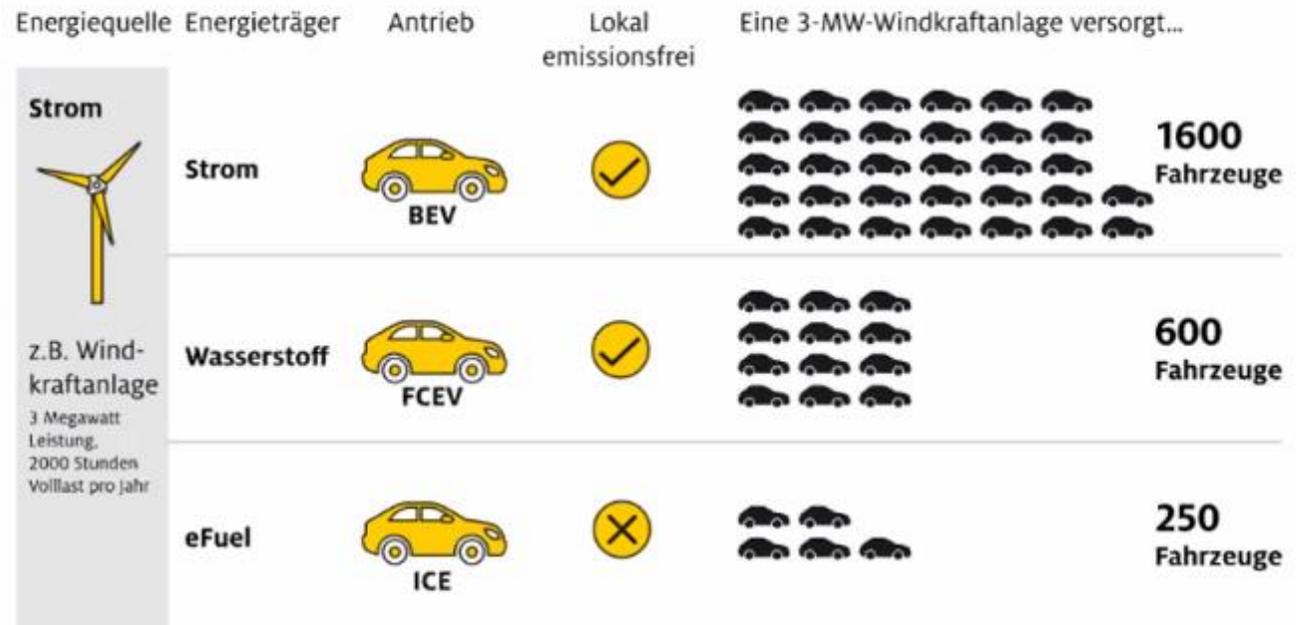
**Der Energieverbrauch basiert auf verschiedenen Fahrzyklen, z. B. urban ECE-15, WLTP.

Vergleich nachhaltiger Antriebstechnologien für Pkw

Energiebedarf 40 Mio. PKW



Annahmen:
 Herstellung: 1 kg H₂ = 50 kWh | 1 l synth. Benzin = 16,1 kWh
 Verbrauch: FCEV: 0,8 kg/100km | synth. Benzin: 5,6 l/100km
 Fahrleistung PKW: 12000 km/Jahr



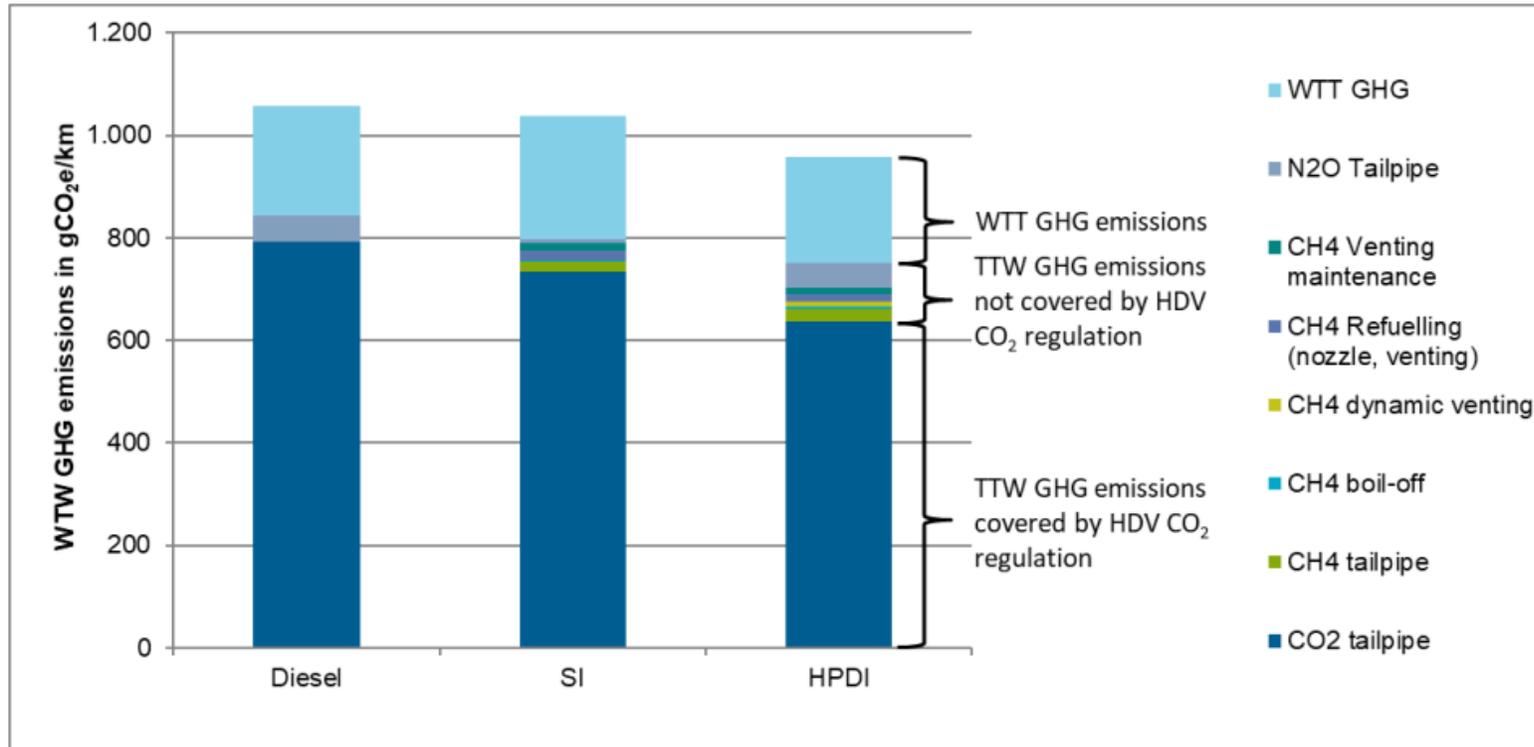
Quelle: VDE

©ADAC e.V. 04.2022

Quelle: Kühnbach (2022): Emissionsbilanz von PKWs, Präsentation VDI BW

Vergleich WTW Emissionen Diesel und LNG LKW

Figure 1: WTW greenhouse gas emissions from diesel and LNG trucks for GWP 100y (high fuel quality)



Source: Own calculations

THE INTERNATIONAL COUNCIL ON CLEAN TRANSPORTATION

Institut für angewandte Ökologie
Institute for Applied Ecology

Decarbonization of on-road freight transport and the role of LNG from a German perspective

Berlin, 12.05.2020

This study was commissioned by the German Federal Environment Agency as part of project with FKZ 3716 58 107 0.

Authors
Moritz Mottschall (Oeko-Institut e.V.)
Peter Kasten (Oeko-Institut e.V.)
Dr. Felipe Rodríguez (ICCT)

Head Office Freiburg
P.O. Box 17 71
79017 Freiburg
Street address
Merzhauser Strasse 173
79100 Freiburg
Tel. +49 761 45295-0

Office Berlin
Borkumstrasse 2
13189 Berlin
Tel. +49 30 405065-0

Office Darmstadt
Rheinstrasse 95
64295 Darmstadt
Tel. +49 6151 8191-0

info@oeko.de
www.oeko.de

<https://www.oeko.de/publikationen/p-details/decarbonization-of-on-road-freight-transport-and-the-role-of-lng-from-a-german-perspective>