



Maximilian Fichtner

Akkus der Zukunft und deren Auswirkungen auf unsere Mobilität

IMFS 2024
Salzburg
11.10.2024

Treibhausgasemissionen verschiedener Antriebe / Lebenszyklus-Analysen

A GLOBAL COMPARISON OF THE LIFE-CYCLE GREENHOUSE GAS EMISSIONS OF COMBUSTION ENGINE AND ELECTRIC PASSENGER CARS

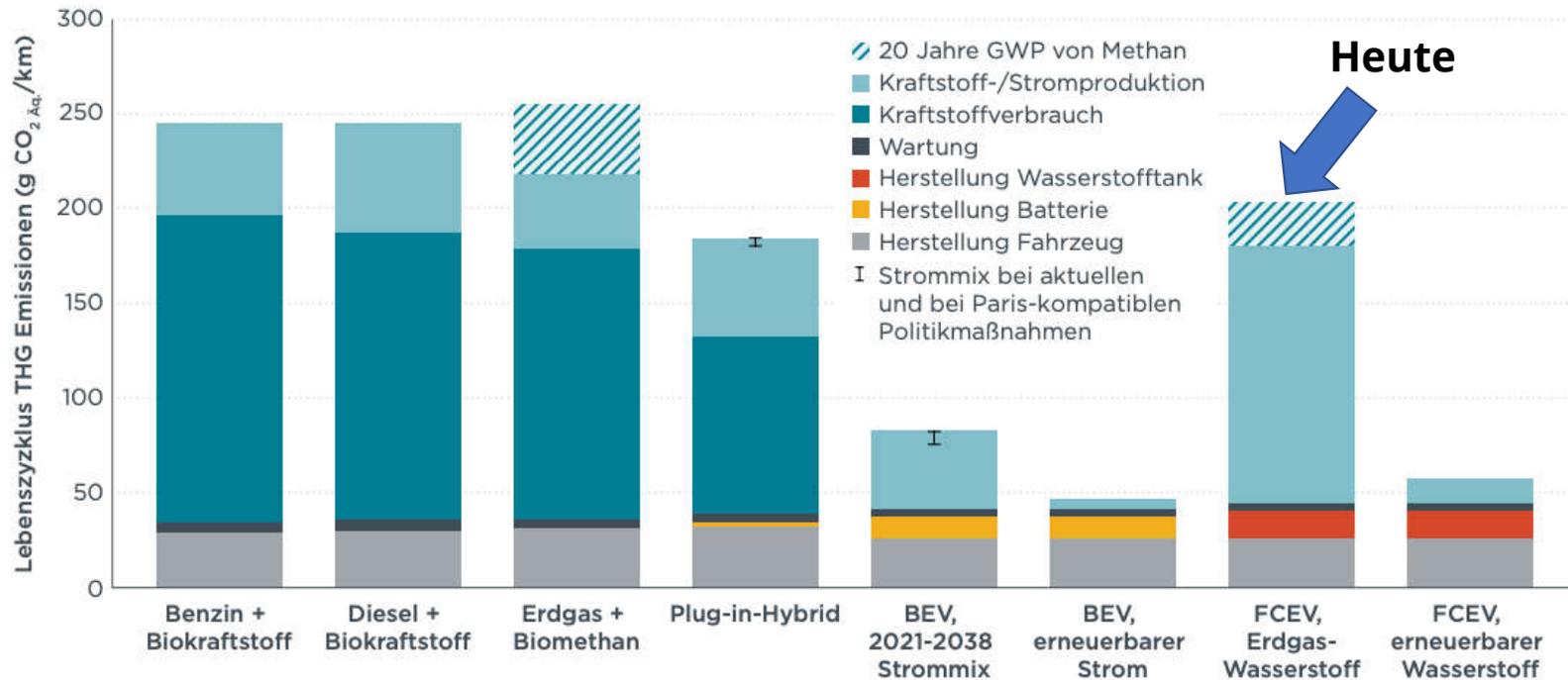
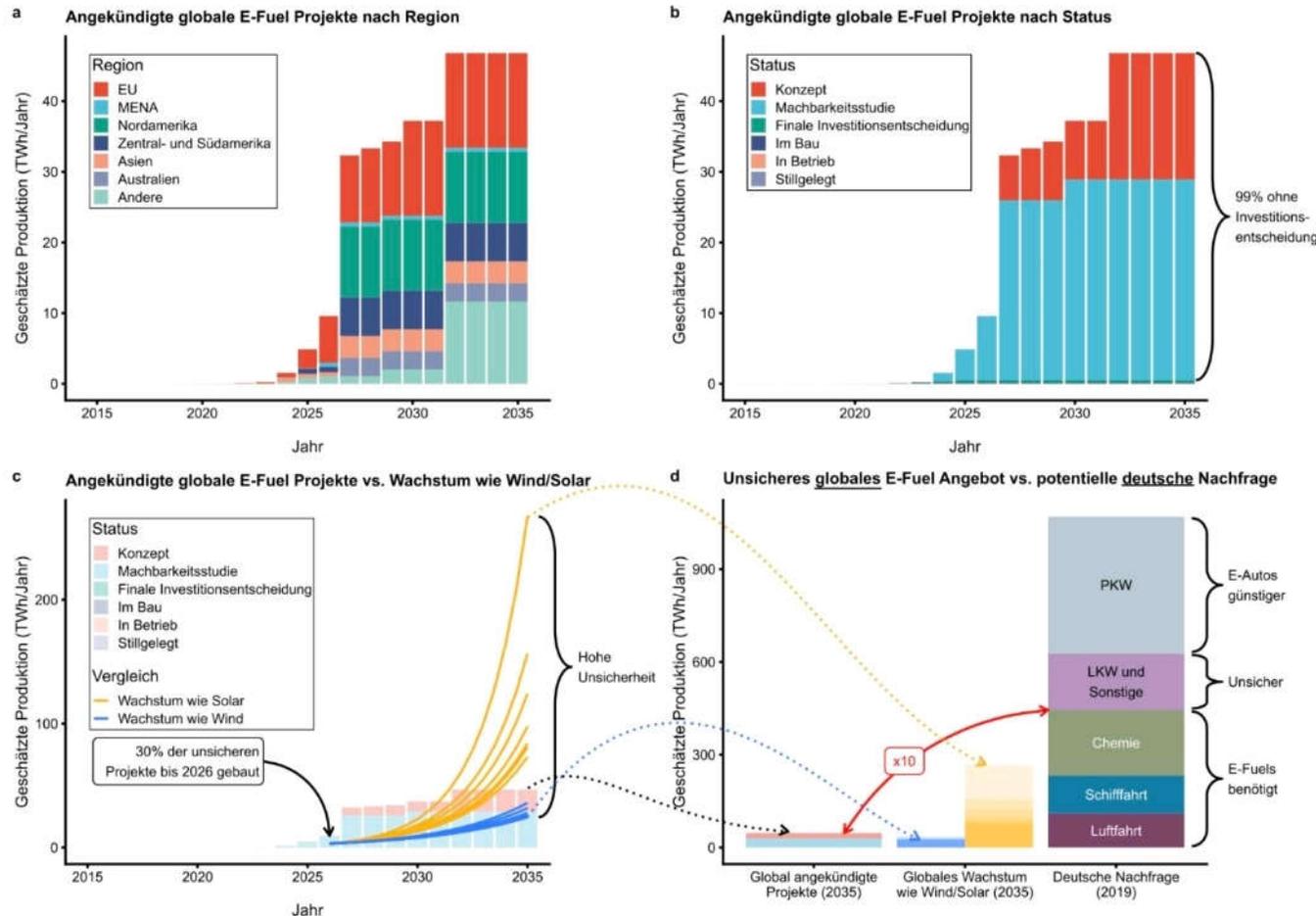


Abbildung 1. Lebenszyklus-Treibhausgas (THG)-Emissionen von durchschnittlichen neuen Benzin-, Diesel- und Erdgasfahrzeugen, Plug-in-Hybrid-Elektrofahrzeugen, Batterie-Elektrofahrzeugen (BEV) und Brennstoffzellen-Elektrofahrzeugen (FCEV) in der Kompaktklasse, die 2021 in Europa zugelassen werden. Die Fehlerbalken zeigen die Differenz zwischen der Entwicklung des Strommix gemäß der aktuellen Politikmaßnahmen (die höheren Werte) und dem, was erforderlich ist, um das Pariser Klimaabkommen zu erreichen. GWP = Treibhauspotenzial.

Source: ICCT

E-fuels: was ist geplant bis 2035?



Bis 2035 ist geplant:

- 45 TWh/a **globale** Produktion
- Entspricht 1/1000 der Ölproduktion
- Entspricht ca. 8% des (ausschließlich) **deutschen** Spritverbrauchs
- davon ca. 1% mit Investment
- 99% der Projekte bisher ohne Investitionsentscheidung
- **Gesicherte Projekte bis 2035 umfassen ca. 1/100.000 der aktuellen Ölproduktion**

Daten:
Internationale Energie Agentur (IEA) 2023

Abbildung 1: (a) global angekündigte E-Fuel-Projekte (flüssige strombasierte Kohlenwasserstoffe) nach Region und (b) nach Projektstatus. (c) Hochlaufszenerarien mit historischen Wachstumsraten⁵ von Windkraft und Solar-Photovoltaik. (d) Vergleich der globalen Ankündigungen und Hochlaufszenerarien (für 2035) mit dem Bedarf Deutschlands⁶ an flüssigen Kohlenwasserstoffen (2019). Daten: IEA, AG Energiebilanzen, Destatis.

Antriebstechnik: Verbrenner vs. elektrisch

360 PS



Bewegte Teile:
ca. 1300

Nicht gezeigt:
- Getriebe
- Transmission
- Tanksystem
- Auspuffanlage

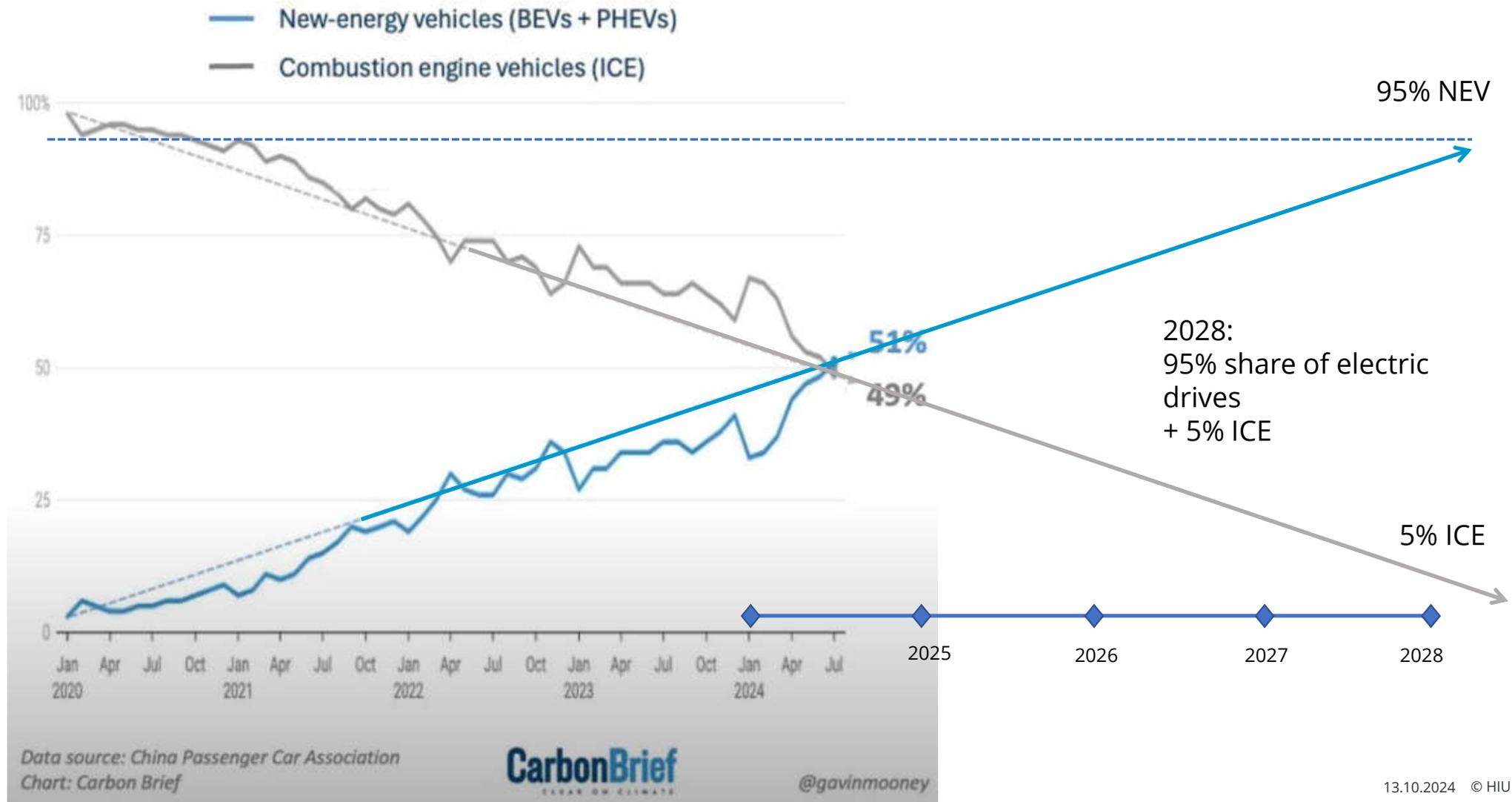
560 PS



Bewegte Teile:
ca. 40

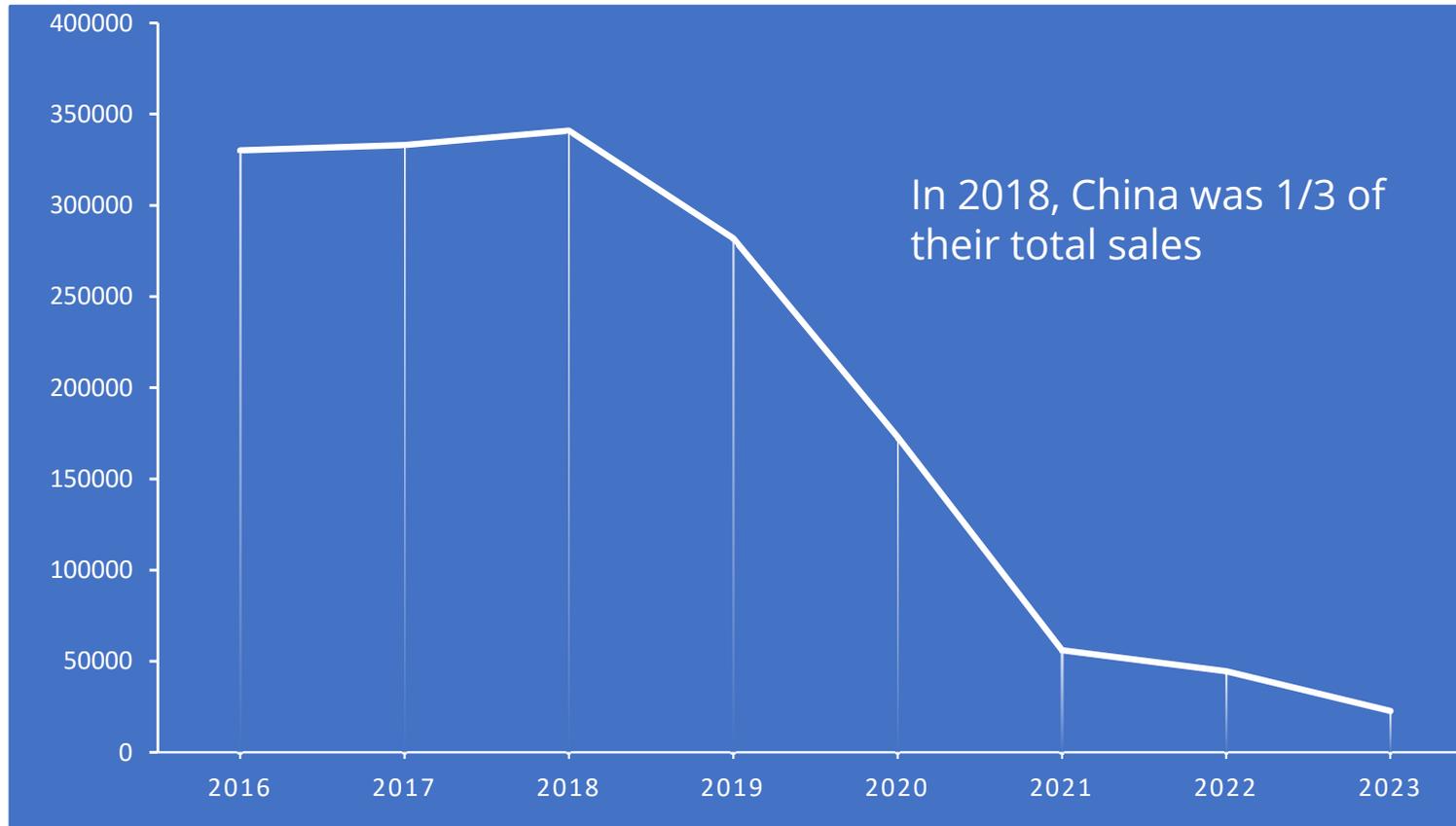
Nicht gezeigt:
- Batterie
- Leistungselektronik

Anteil Elektro-PKW am Gesamt-PKW-Verkauf in China



Verkauf von Verbrennern (SKODA) 2016 – 2023 in China

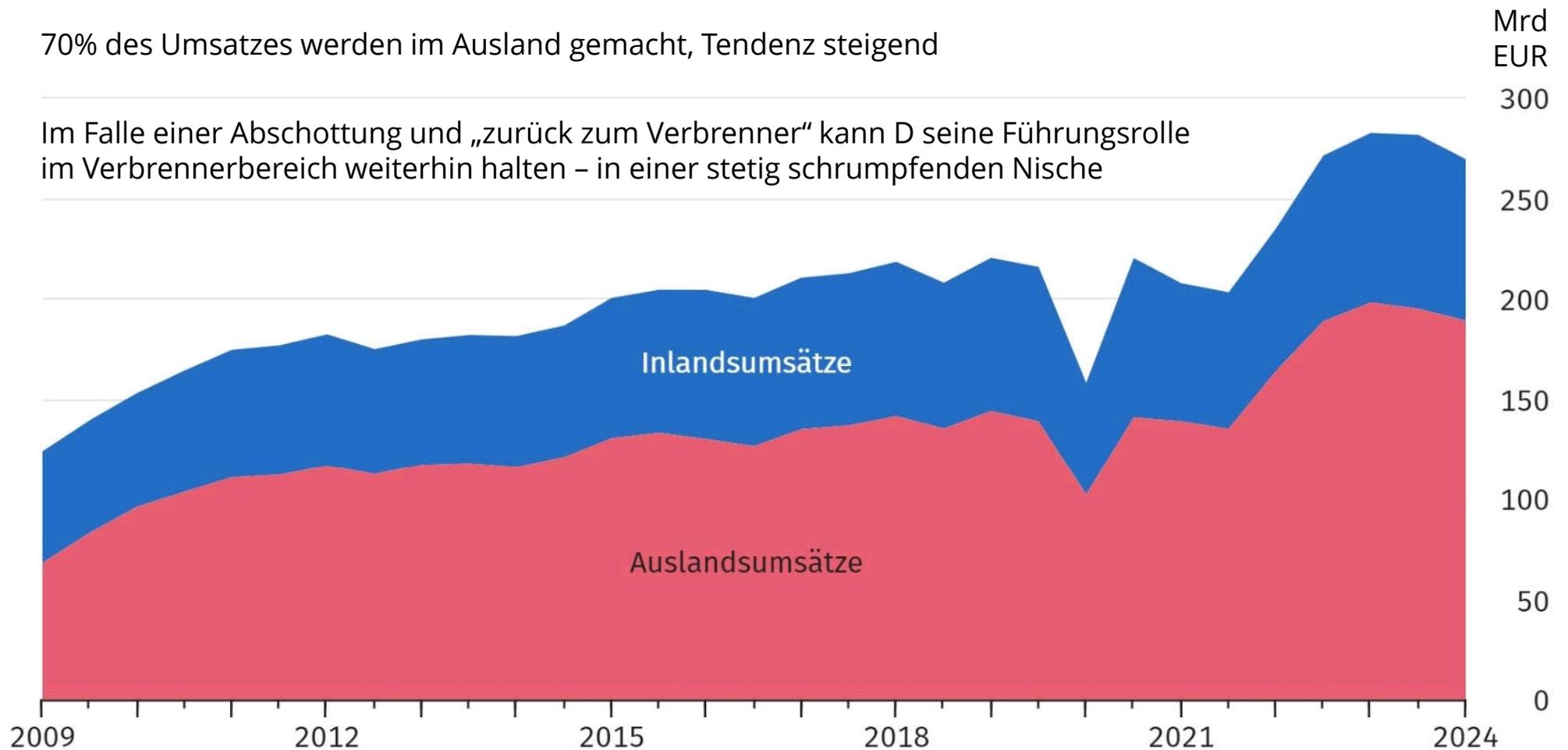
The beginning dusk of ICE cars



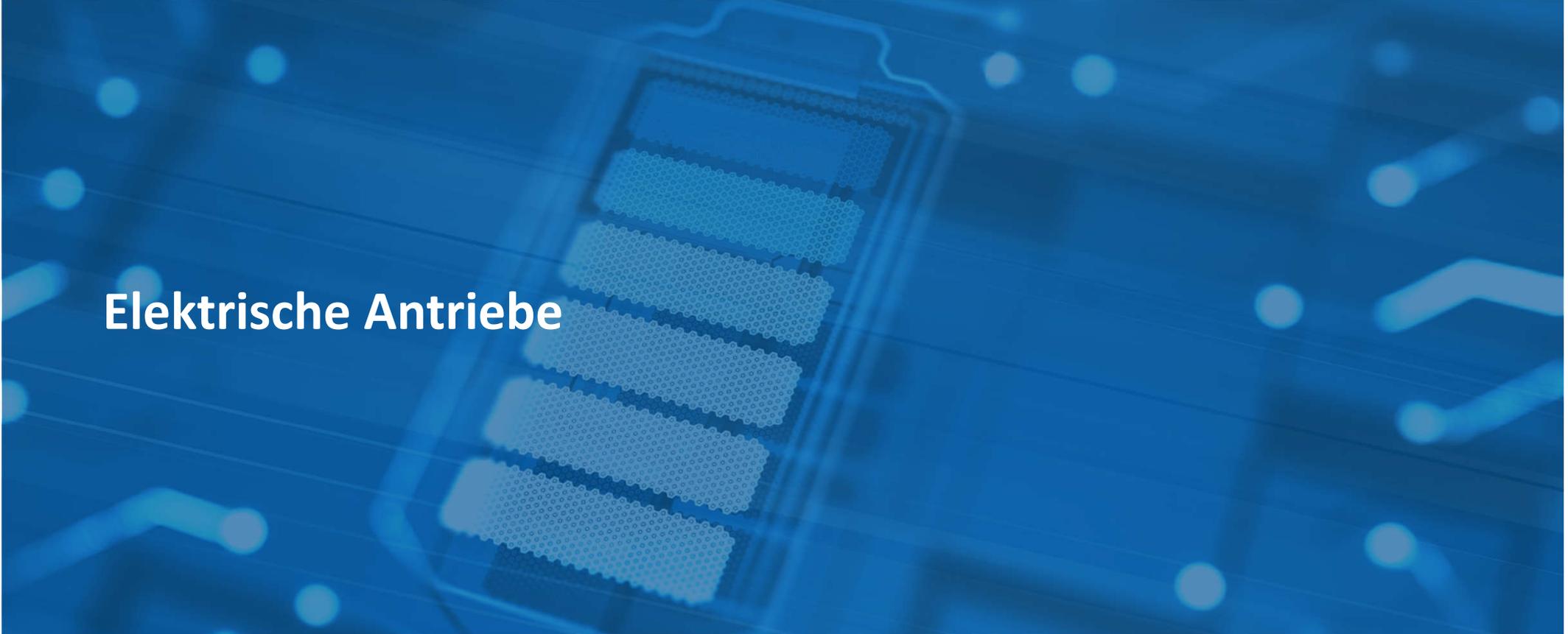
Umsätze der Automobilindustrie

70% des Umsatzes werden im Ausland gemacht, Tendenz steigend

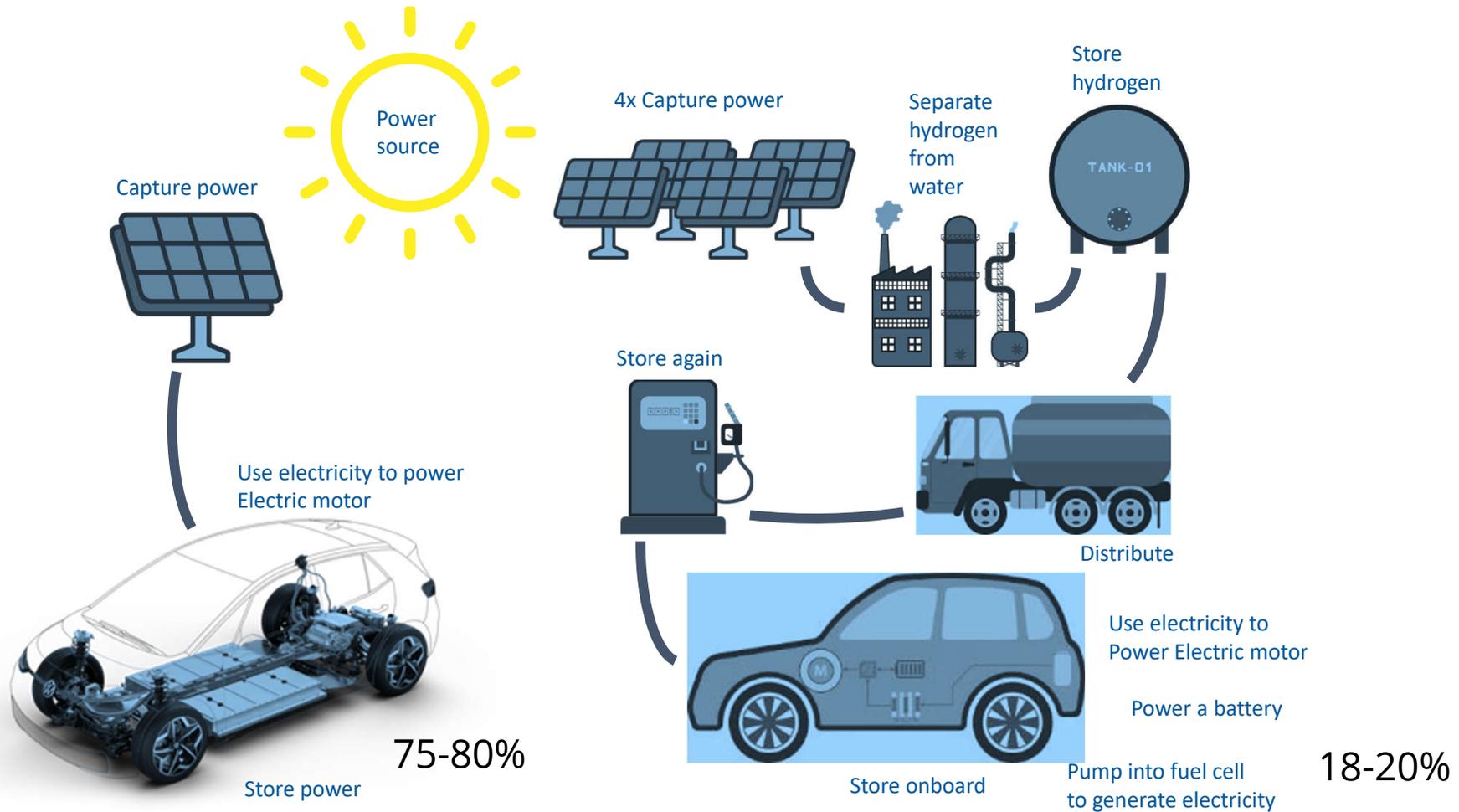
Im Falle einer Abschottung und „zurück zum Verbrenner“ kann D seine Führungsrolle im Verbrennerbereich weiterhin halten – in einer stetig schrumpfenden Nische



Elektrische Antriebe



Elektrische Antriebe als effizienteste Art des Antriebs



Batterielektrischer Antrieb

H₂ Antrieb mit Brennstoffzelle

Antriebsarten im Vergleich / Energiebedarf

3 MW
2000 h/a



e.g.
1 wind
turbine

3 Megawatt
3000 h/year

Ref:
VDE

Energiequelle	Energieträger	Drive	lokal emissionfrei	1 Windrad versorgt... PKW mit 20.000 km / Jahr
	Strom	 Elektroauto mit Batterie (BEV)	ja	 1600 Fahrzeuge
	Wasserstoff	 Elektroauto mit Brennstoffzelle (FCEV)	ja	 600 Fahrzeuge
	eFuel	 Auto mit Verbrennungs- motor (ICE)	nein	 250 Fahrzeuge

**Strom:
1600 PKW**

**Wasserstoff:
600 PKW**

**e-Fuel:
250 PKW**

Treibhausgasemission bei Batterieproduktion und Strommix

Carbon dioxide footprint
of battery production



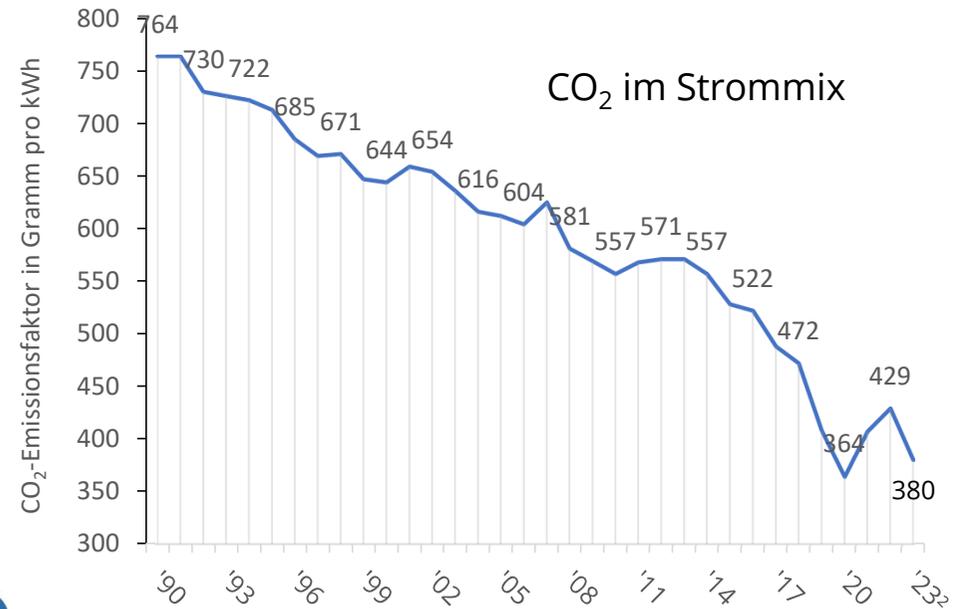
EU 2020:
100-150 kg CO₂ / kWh



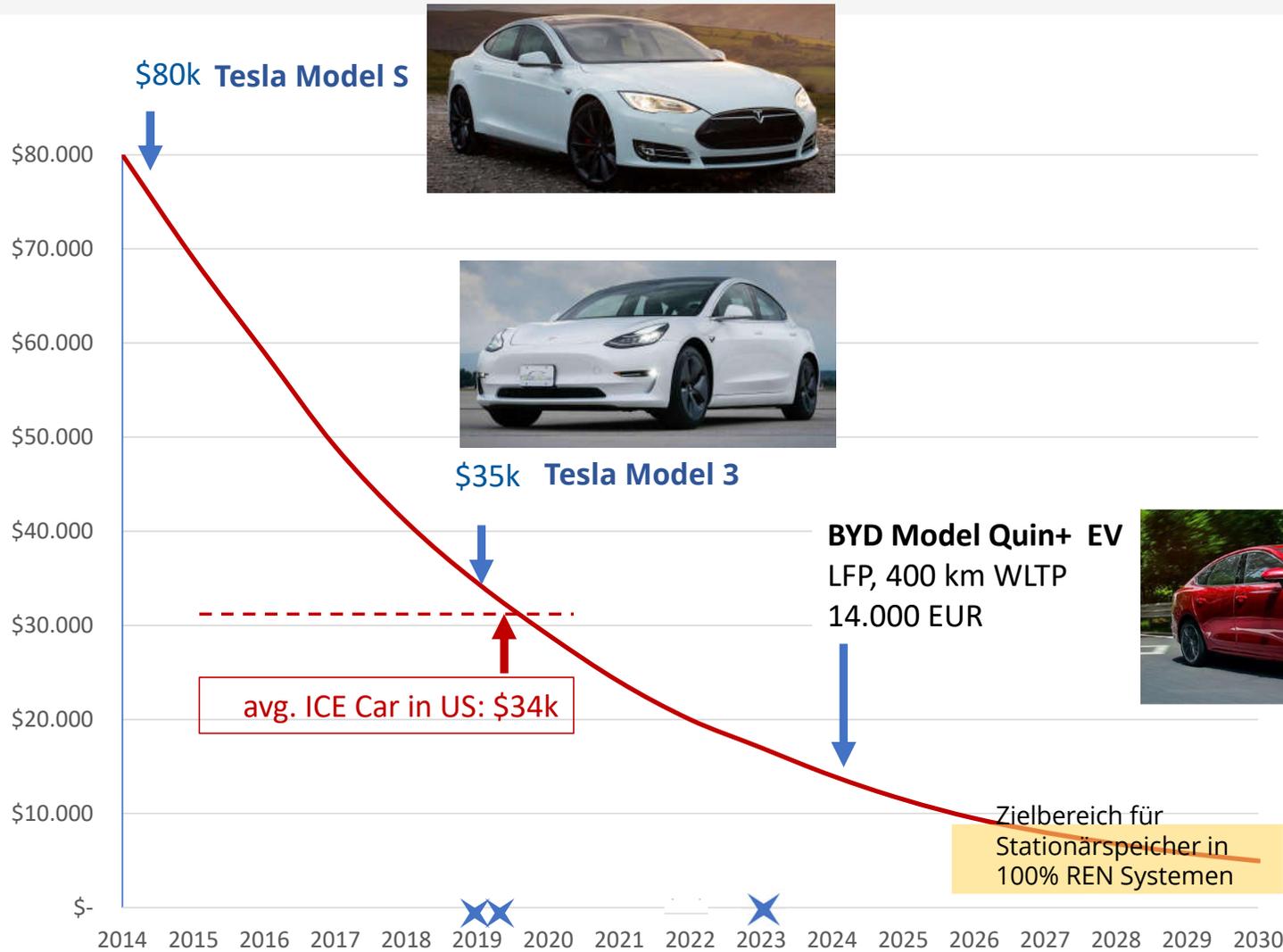
Northvolt aktuell:
30 kg CO₂ / kWh



Northvolt 2025:
10 kg CO₂ / kWh



Kostenkurve für Batteriefahrzeuge mit 350-400 km Reichweite



Vergleich H₂ :

Hyundai Nexo (500 km)
80 TEUR im Verkauf
120 TEUR in der Produktion

Verbrauchskosten:

21 EUR/100 km in D,
ca. 40 EUR/100 km in A

Vorhersage basiert auf einer einfachen cost-curve Analyse aus dem Jahre 2014 !

BYD

BYD 比亚迪
2024 欧洲“双雄”合作车型

「电比油低」
7.98万元起

10200 EUR

秦 PLUS | 驱逐舰05
插混双雄 荣耀出击

HYUNDAI

北京现代

「油“比”电强」
7.58万元起

9700 EUR

全新伊兰特 | 全新伊兰特N Line
价格强 安全强 品质强 保值强

CHANGHAN

长安启源

「电比油低!低!低!」

7.39万元起

9500 EUR

长安启源Q05 | 长安启源A05
— 5力尽开 闪耀出战 —

雪球: 搏击沧海横流

In China sind mittlerweile 2/3 der BEV billiger als die entsprechenden Verbrenner.

Neue Batteriefahrzeuge für unter 30.000 EUR ab 2024

<p>VINFAST VF 6</p>  <p>27.220 €</p>		<p>Ford Puma EV</p>  <p>25.000 €</p>	<p>Skoda Elroq</p>  <p>32.900 €</p>	
	<p>OMODA 5</p>  <p>22.000 €</p>		<p>Citroën ë-C3</p>  <p>24.000 €</p>	
		<p>HYUNDAI Casper EV</p>  <p>18.070 €</p>		

Quelle: ADAC, 2024

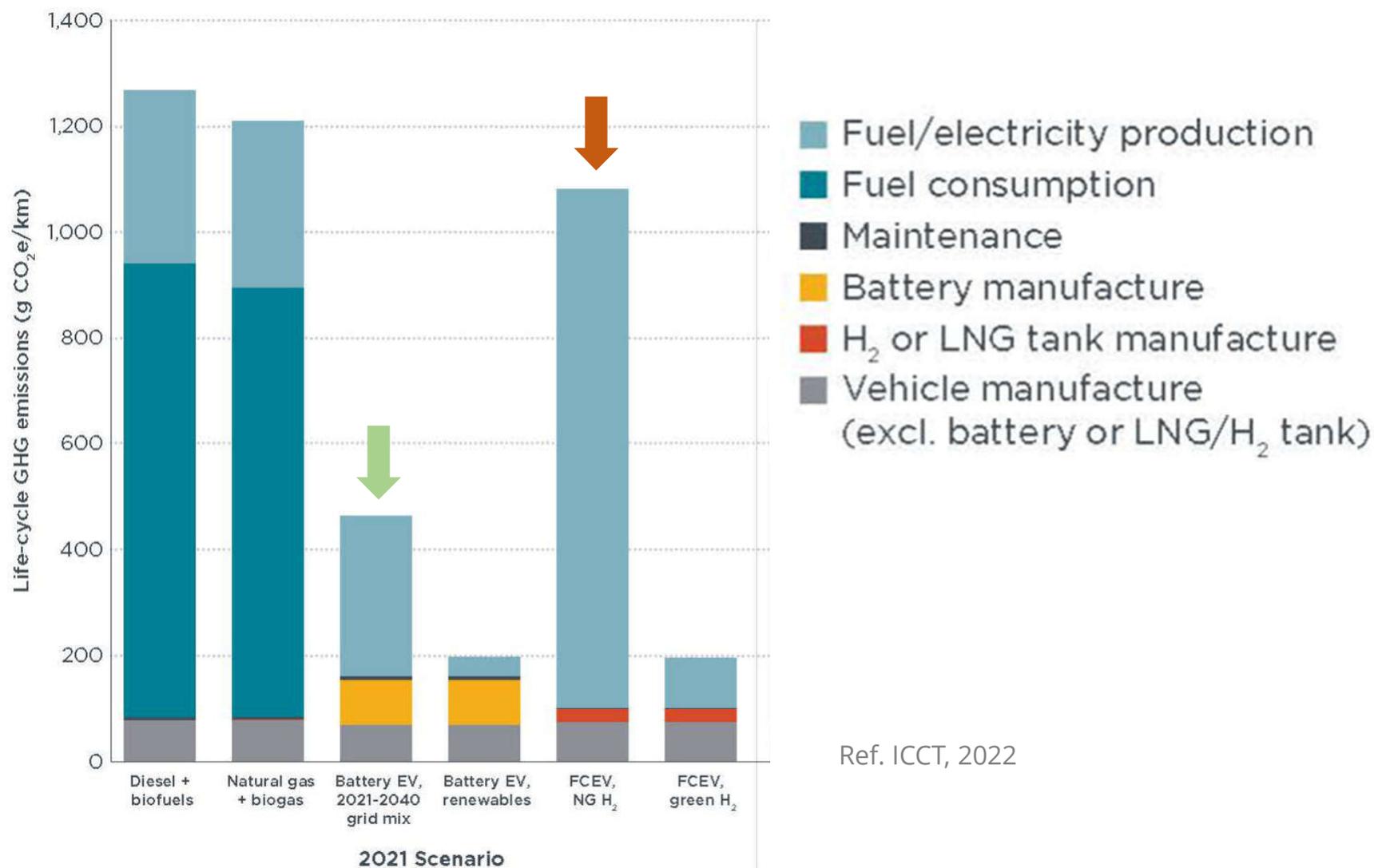
Reichweitenangst: Neue Batteriefahrzeuge mit > 650 km Reichweite ab 2024



...

Ref.: ADAC 2024

Ökobilanz (LCA) emissionsfreier mittelschwererer und schwerer Lkw



BEV/FCEV-Lastkraftwagen: Verbrauchszahlen/km und weltweite Zulassungszahlen

H₂ für Schwerlastverkehr

wird konkurrenzfähig bei Kosten < 4-5 EUR/ kg H₂ ¹⁾

Derzeit: in BRD 17,75 EUR/ kg H₂ („grauer“ H₂), in Österreich ca. 30 EUR/kg

→ Faktor 1/4 für grünen H₂ wird schwierig zu erreichen, wird eher teurer.

→ Kosten für Batterien sinken weiter

→ Die Lenkzeiten sind identisch

40-Tonner Truck: 30 L Diesel/100 km

→ **0,45 EUR/km**



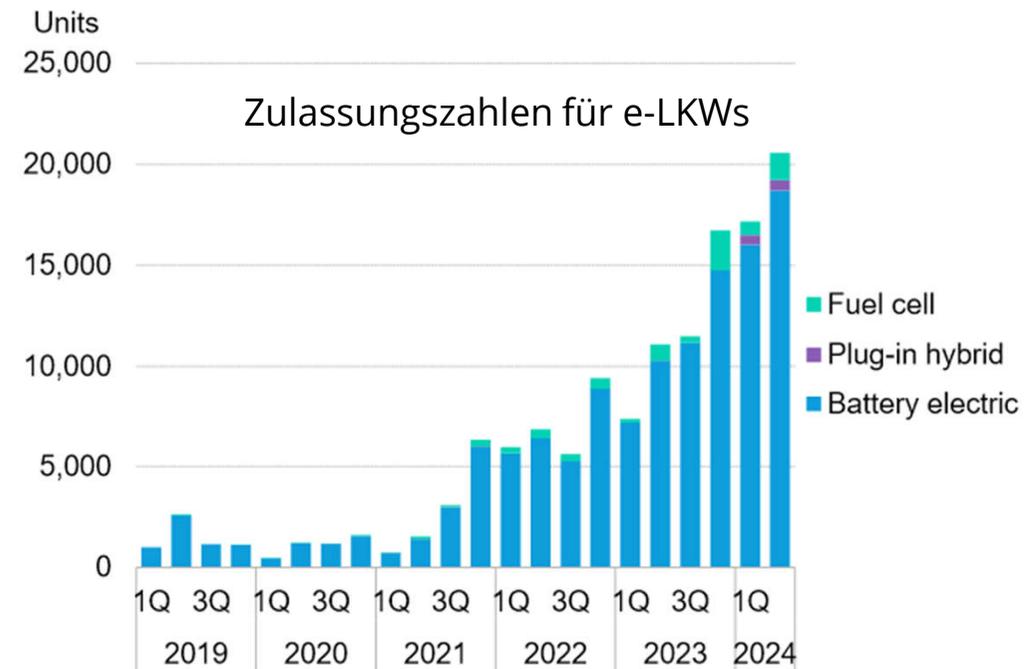
FCEV Truck: 8 kg H₂/100 km²⁾

→ **1,40 EUR/km** in D oder **2,40 EUR/km** in A



40-Tonner BEV Truck: 90 kWh/100 km³⁾

→ **0,35-0,55 EUR/km** (abh. vom Stromtarif)



Source: BloombergNEF

¹⁾ P3 Automotive, 2023

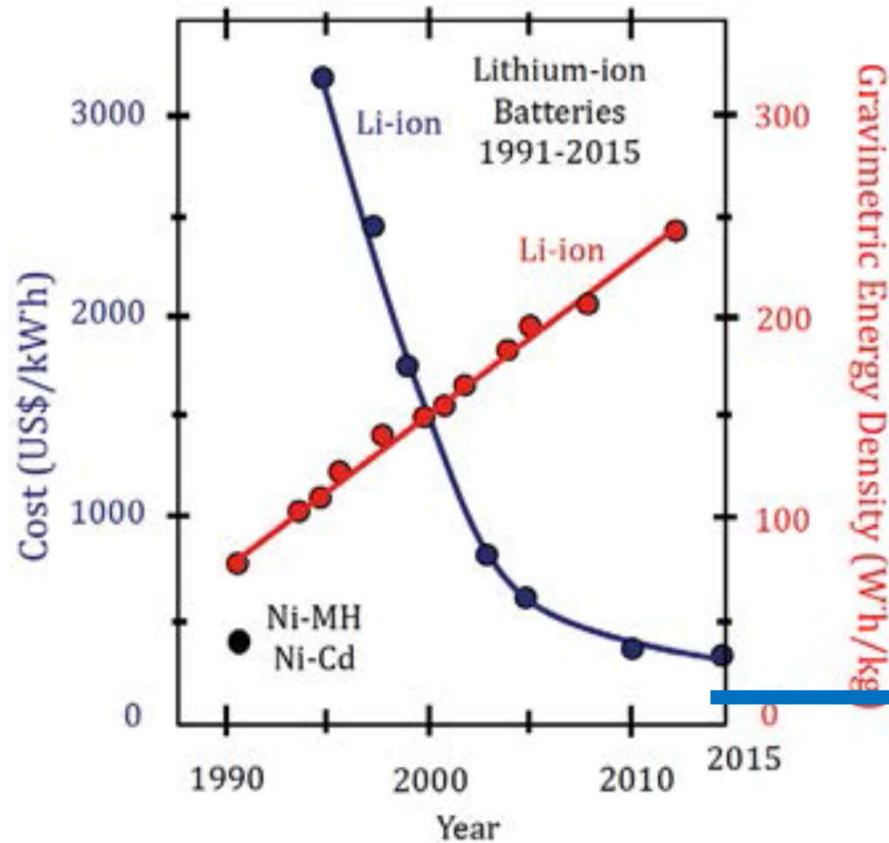
²⁾ NIKOLA, 2023, eigene Angaben

³⁾ DAIMLER E-Actros 600, lt. ADAC, 5.9.2024

Aktuelle Entwicklungen

Wie geht es weiter?

Entwicklung der Li-Ionenbatterie



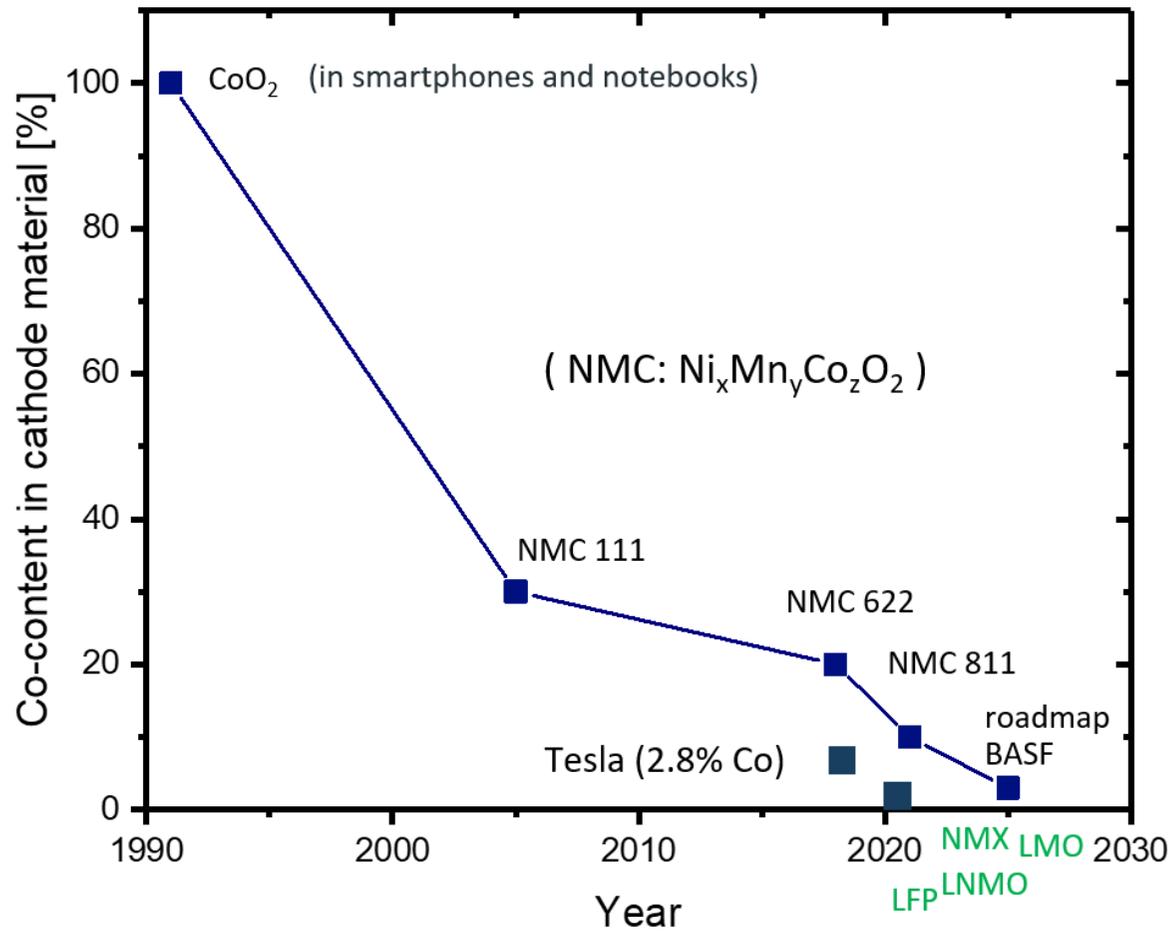
Seit der Markteinführung:
Energiedichte: x4
Kosten ÷ 18

- 90% Kostenreduktion in den letzten 10 Jahren
- Kapazität = verdoppelt in den letzten 10 Jahren

Kostenziel
für 2024

G.Crabtree, *MRS Bulletin* 40, 1067 (2015)

Cathode: Kobalt-Gehalt im Pluspol von Batterien.



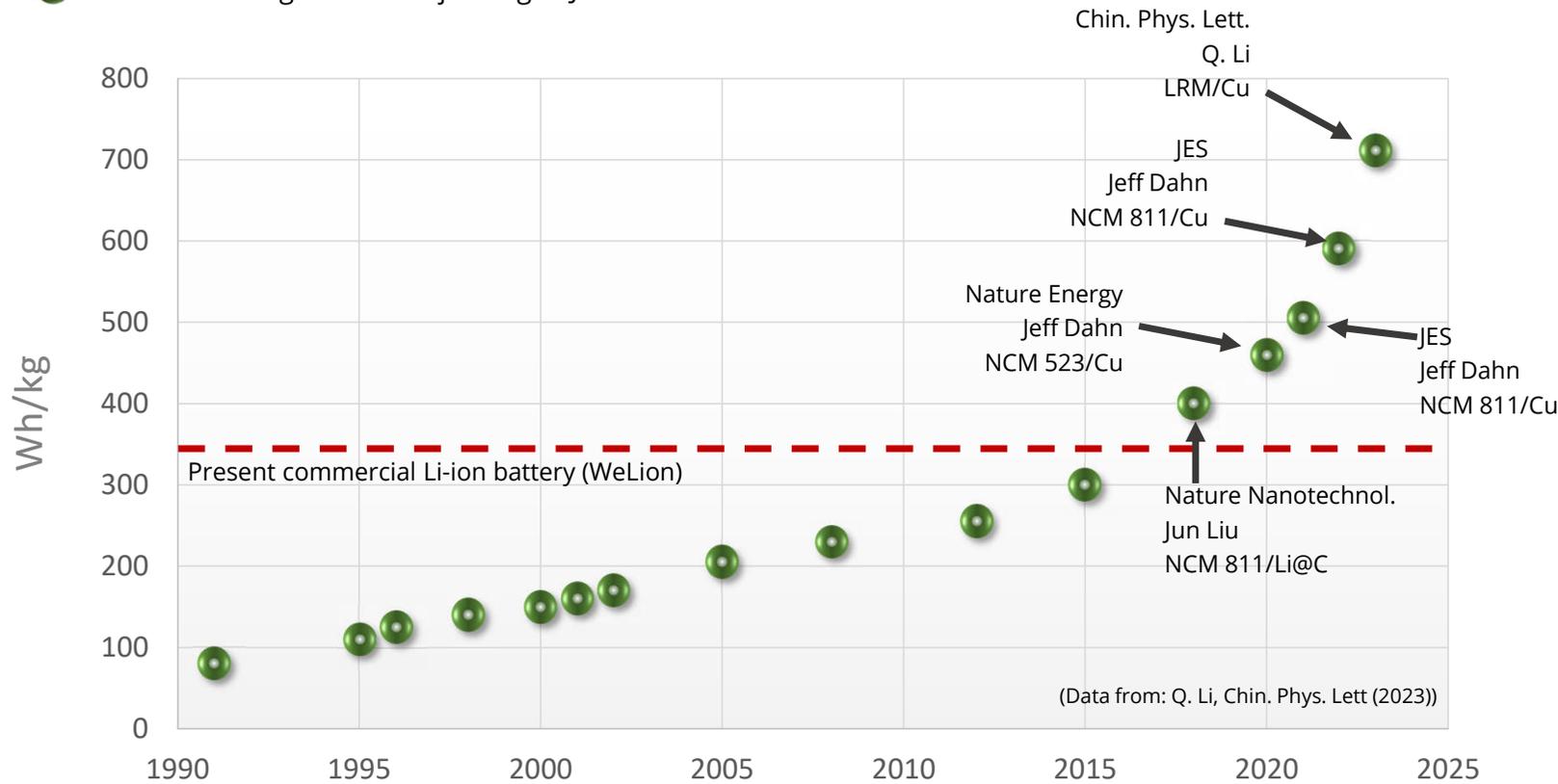
TESLA liefert derzeit > 50% ohne Co aus

LFP: LiFePO₄
NMX: LiNi_{3/4}Mn_{1/4}O₂
LMO: LiMnO₂

(Materials with 0% cobalt)

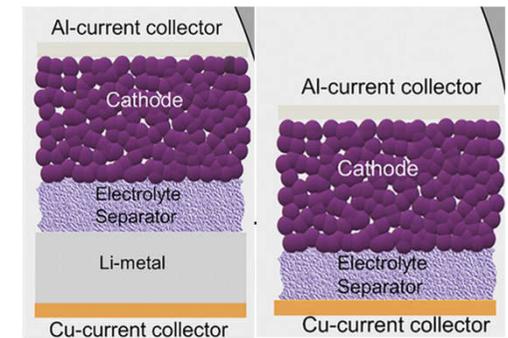
Vergleich der Energiedichten von Li-Ionenzellen über die letzten 30 Jahre

● Höchste Energiedichte im jeweiligen Jahr



LMBs:
< 300 Wh/kg

AFLMBs:
< 300-500 Wh/kg



P. Molaiyan *et al.*,
Adv. Func. Mater. 34 (2024)

Mit neuer Technologie:

**Perspektive mit
1900 km Reichweite**

State-of-the art 2023/24: Batterien für 50% längere Reichweite

CATL launches CTP 3.0 battery “Qilin,” achieves the highest integration level in the world

2022-06-23

<https://www.catl.com/en/news/958.html>



255 Wh/kg on pack level

BYD and CATL in 2023:

- >1000 km Reichweite (WLTP)
- Laden: 700 km in 10 min

Erster Serien-PKW mit >1000 km Reichweite (WLTP)

Hersteller: **Geely, Modell Zeekr 001**

Geely-Konzern: Volvo, Lotus, Lynk, 10% bei Mercedes,

140 kWh LFP-Akku, 3,8 sec von 0-100 km/h, 120 km Laden in 5 min



<https://www.auto-motor-und-sport.de/elektroauto/geely-premium-e-autos-zeekr-001/>

LFP-Batterie Shenxing von CATL

Pluspol: LFP = LiFePO_4 → kein Co, kein Ni

Minuspol: Graphit



Bild: Modell Exceed/Chery 2023, derzeit in China, demnächst auch Europa

400 km Laden in 10 min

bei 700 km Reichweite

Laderate „4C“:

i.e. 4x pro Stunde zu 100% beladbar

Ende 2024:

Laderate „6C“

i.e. in 10 min beladbar

1 km Reichweite pro Sekunde

Lebensdauer und Sicherheit

GEELY:

Lithium-eisenphosphat Akku (LFP)

3500 Zyklen

„50 Jahre Lebensdauer“ bei 20.000 km/a

„Short Blade“ Batterie



Produkte

E-Auto-Akku hält eine Million Kilometer ohne Leistungsverluste

11.07.2024

Die neue kompakte Bauweise soll zudem eine hohe Energiedichte und Sicherheit haben.



Sicher bei den „Six Tortures“:

Keine Entzündung/kritische Erwärmung beim Nagelpenetrationstest oder mechanischer Beschädigung

Zusammenfassung

Gesamt:

Batteriefahrzeuge weisen geringste THG Emissionen, beste Energieeffizienz und geringste Kosten auf
Genereller Trend zur Abkehr von kritischen Rohmaterialien und zur Verringerung der Fertigungskosten

- billigere, häufiger vorkommende Materialien (kein Co, kein Ni)
- Fertigungsprozesse mit geringerem Energieaufwand
- Einsatz von 100% EE in der Produktion

Chemie

- ca. 10-20% Kapazitätssteigerung durch bessere Kathoden mit höherer Spannung und Kapazität
- ca. 30-40% Kapazitätssteigerung durch bessere Anoden mit Silizium@Carbon-Kompositen
- Batterien frei von kritischen Rohstoffen, z.B. die Na-Ionenbatterie

Engineering

Neue Batterien mit optimiertem Packdesign erlauben höhere Reichweiten, schnellere Beladung, höhere Sicherheit

- BYD, CATL, NIO: 1000 km WLTP, 700 km Zuladung in 10 min (Stand 2024).
- Perspektive: 1900 km Reichweite pro Ladung („zero excess“)

Vielen Dank !

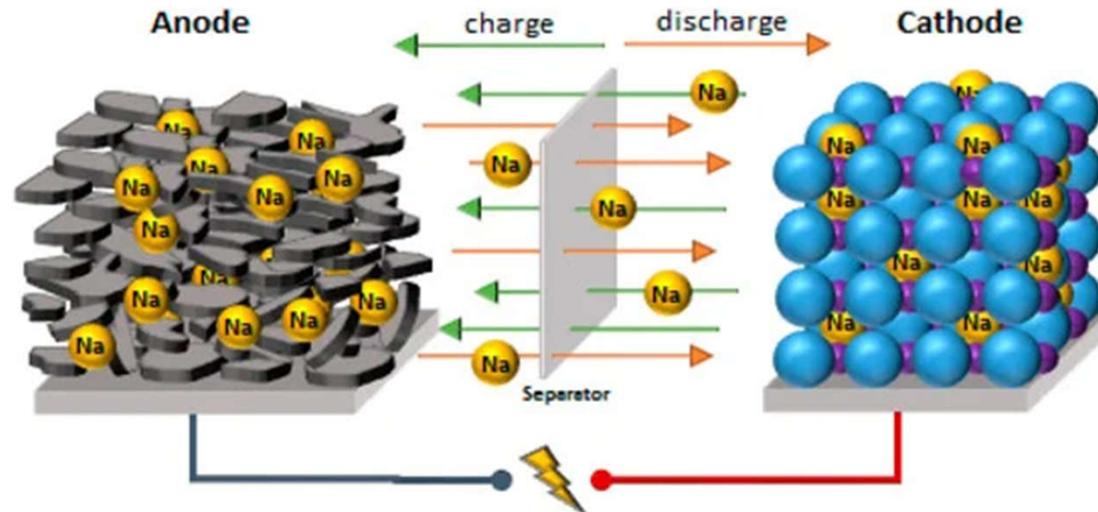
www.celest.de

www.hiu-batteries.de

www.postlithiumstorage.org



Working principle of the Na-ion battery



POLoS
Post Lithium Storage
Cluster of Excellence

📖 J. Peters et al., Batteries 2019, 5 (1), 10

„Drop-in“ technology

Na-ion batteries: New powerful technology without critical raw materials

Li-Batteries



Al

Li

Ni

Mn

Co

Graphite

Cu

critical / expensive / toxic raw materials

Na-Batteries



Al

Na

Fe

Mg

Mn

Hard carbons

Al

sustainable / cheap / non toxic raw materials

First passenger car announced with Na ion battery from HiNa.



Chinese battery giant CATL to supply first sodium-ion batteries to Chery EVs

APRIL 20, 2023 · NO COMMENTS · 2 MINUTE READ · JOSHUA S. HILL



BYD breaks ground on its first sodium-ion EV battery plant

30 GWh

 Peter Johnson | Jan 5 2024 - 11:41 am PT |  60 Comments

Volkswagen-backed EV maker rolls out first sodium-ion battery powered electric car

 Peter Johnson | Dec 27 2023 - 11:10 am PT |  66 Comments

JAC Yiwei 3



Cars with sodium ion batteries?

First passenger cars with Na ion battery
are on the market (JAC Yiwei 3, JMEV,...)



Image: JMEV / RENAULT



Image: JAC