

Maximilian Fichtner

## Energiespeicherung der Zukunft – mit Wasserstoff, E-Fuels, Batterien?

Colloquium Fundamentale  
KIT

18.12.2025

## Energieaufwand bei der Urangewinnung in Abhängigkeit vom Erzgehalt

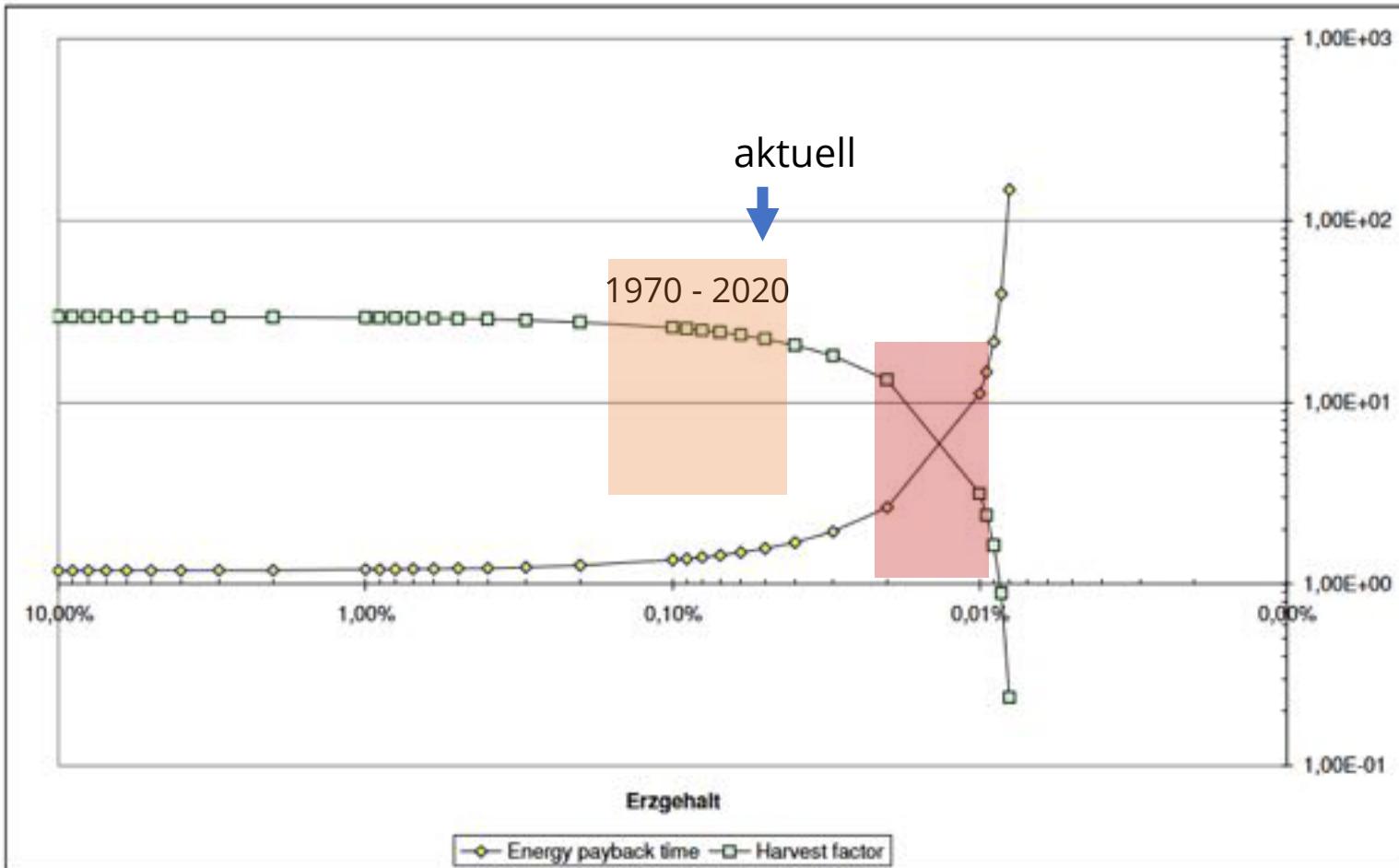
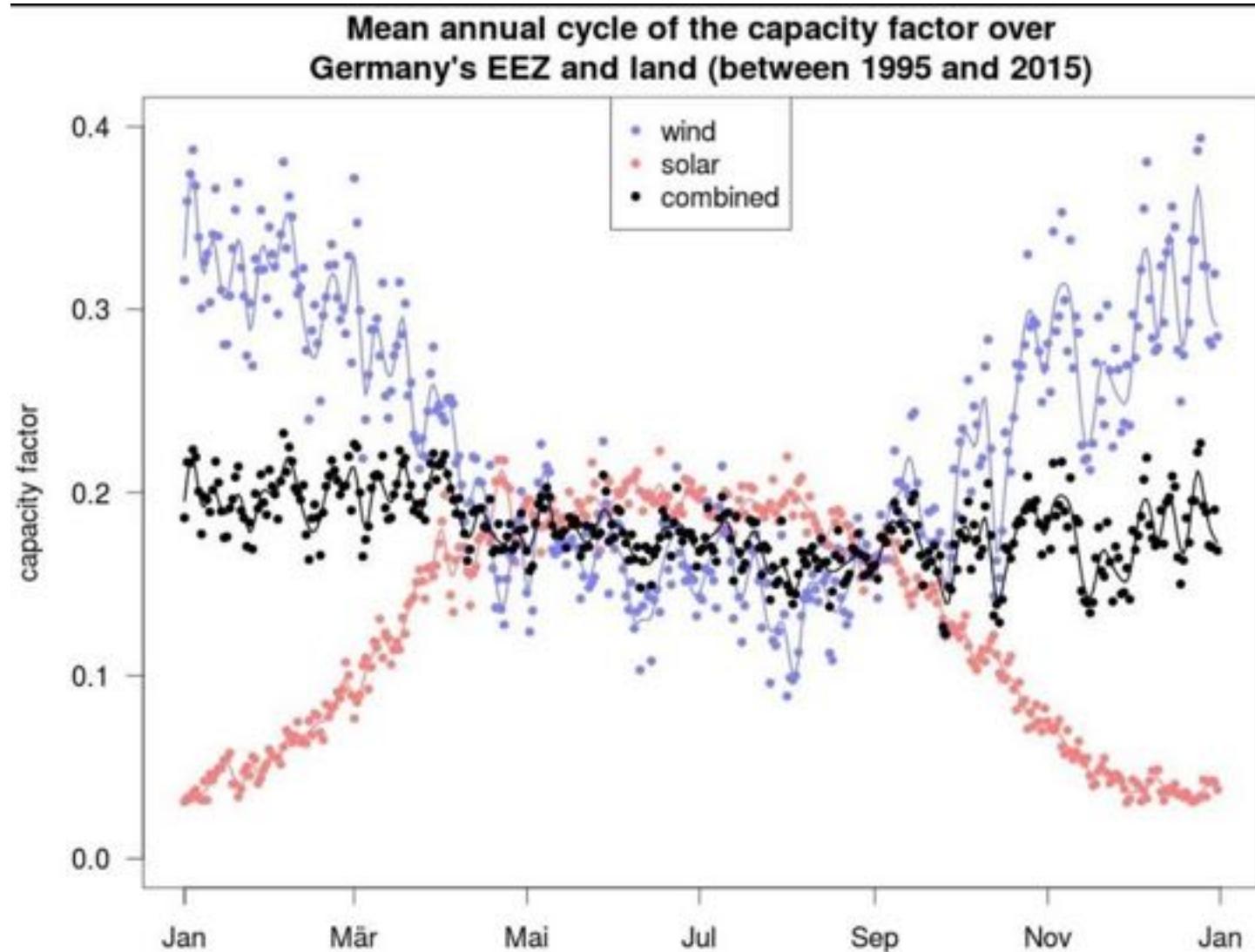


Abbildung 4: Energieüberschuss in Abhängigkeit vom Erzgehalt

Bei Uran Erzgehalten von 0,1 bis 2 % liegt der Energieaufwand für die Erzeugung einer kWh bei 2 bis 4 %. Bei sinkendem Erzgehalt (**0,01 % und 0,02 %**) steigt dieser Energieaufwand auf 14–54 %. Daraus entstehen **CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Höhe von 82–210 g/kWh**.

Der weltweit durchschnittliche Erzgehalt lag in den letzten fünf Jahrzehnten zwischen 0,05 und 0,15 %

☞ Mudd/Diesendorf 2007b; ISA 2006, S. 96



# Speicherung erneuerbarer Energie



Stationär



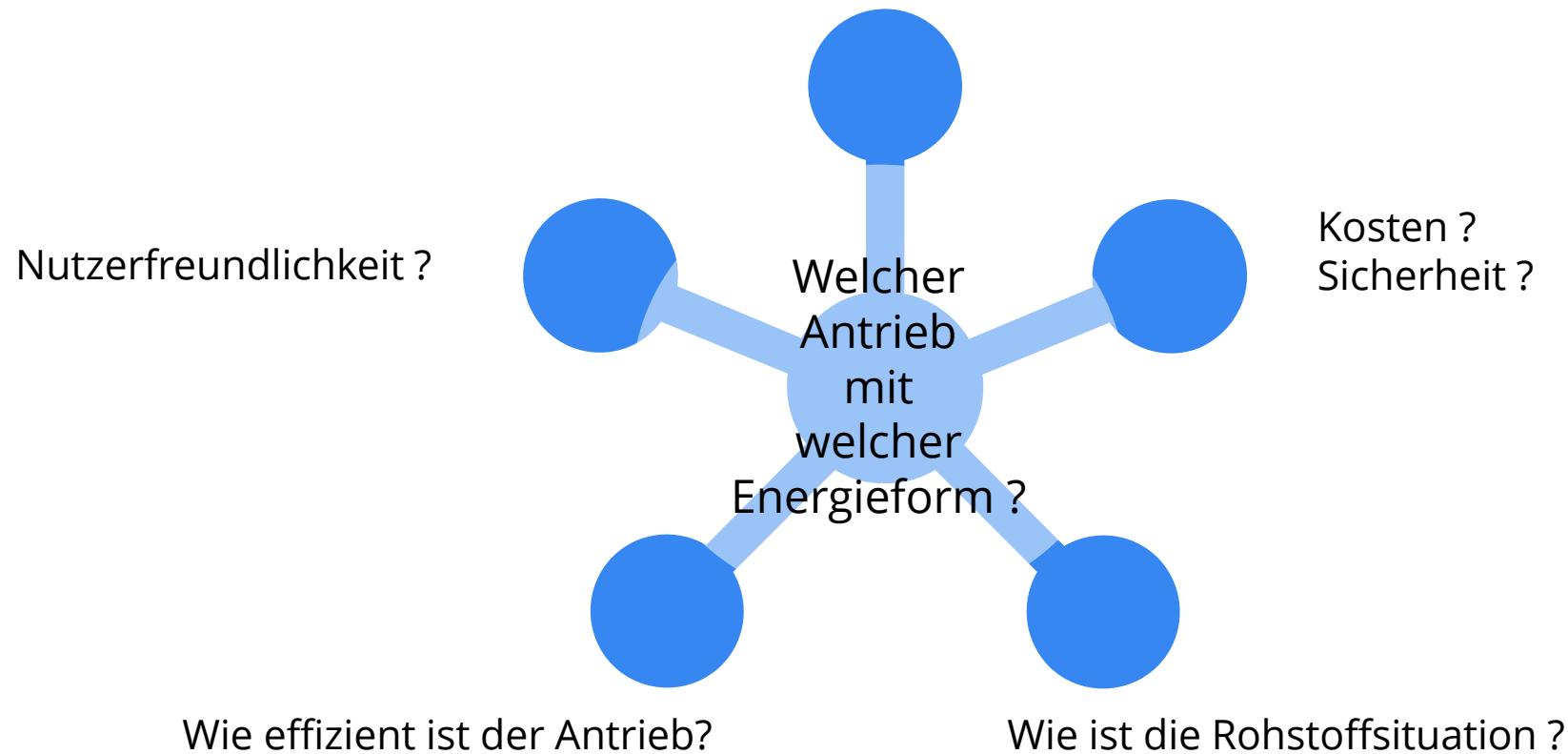
portabel



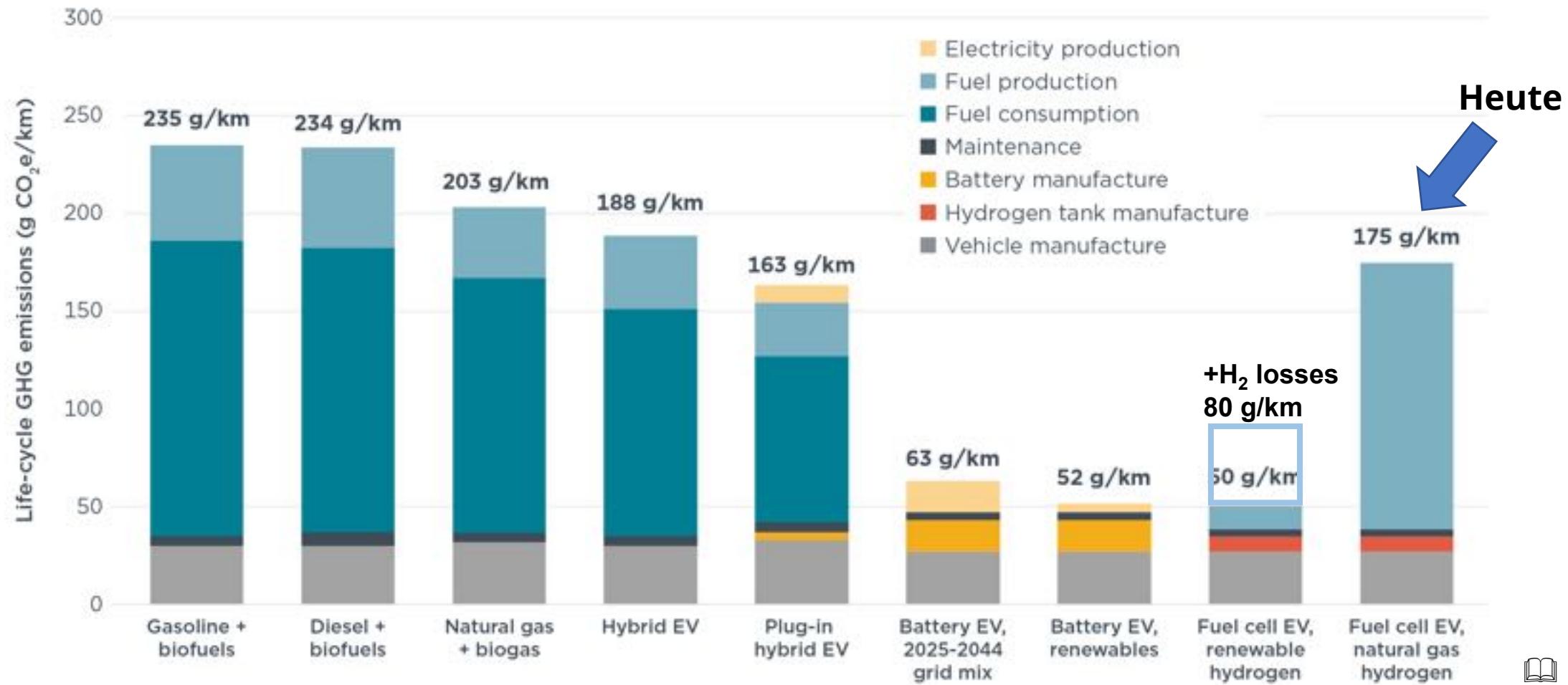
mobil



Welcher Beitrag  
zur Treibhausgas (THG)-Minderung?



# Treibhausgasemissionen verschiedener Antriebe / Lebenszyklus-Analysen



ICCT, 2025

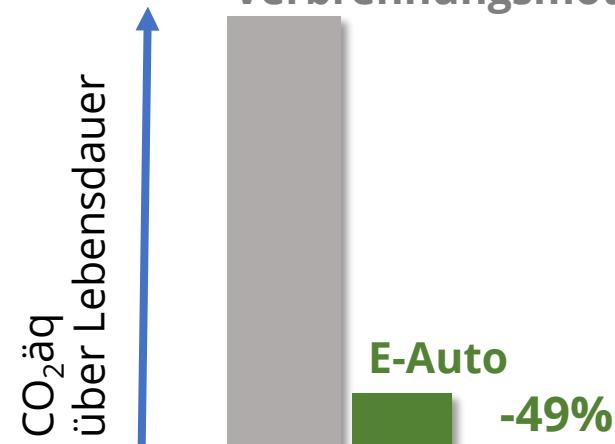
Die Emissionen eines BEV sind über den Lebenszyklus 73% geringer als die eines Verbrenners.

## Lebenszyklusanalysen

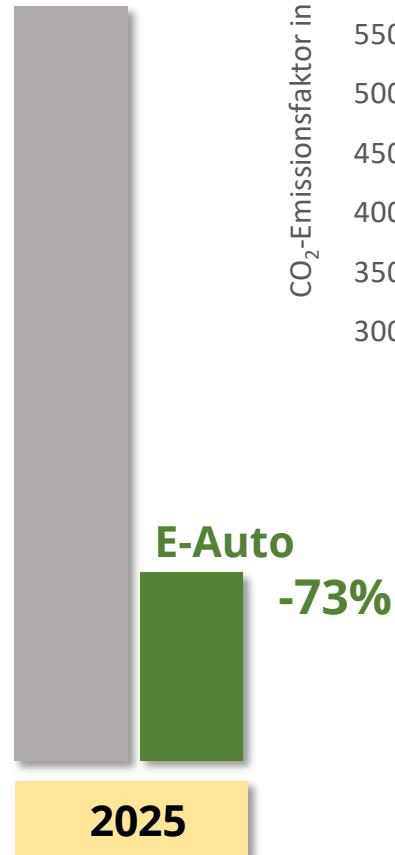
ICCT (2021)

ICCT (2025)

PKW mit  
Verbrennungsmotor

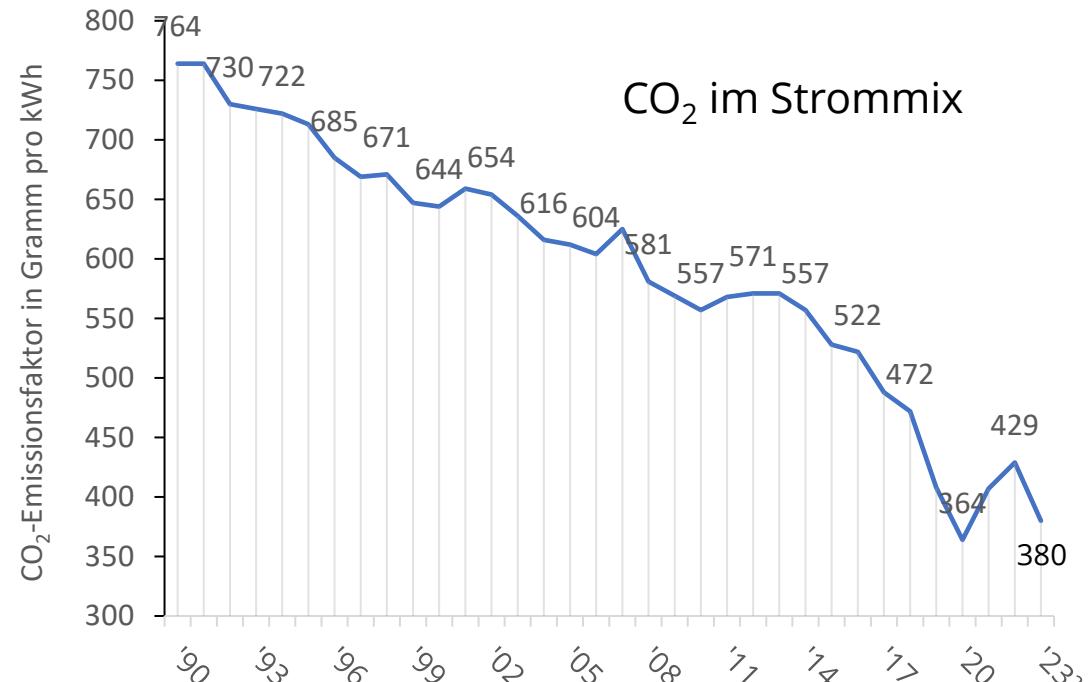


-49%



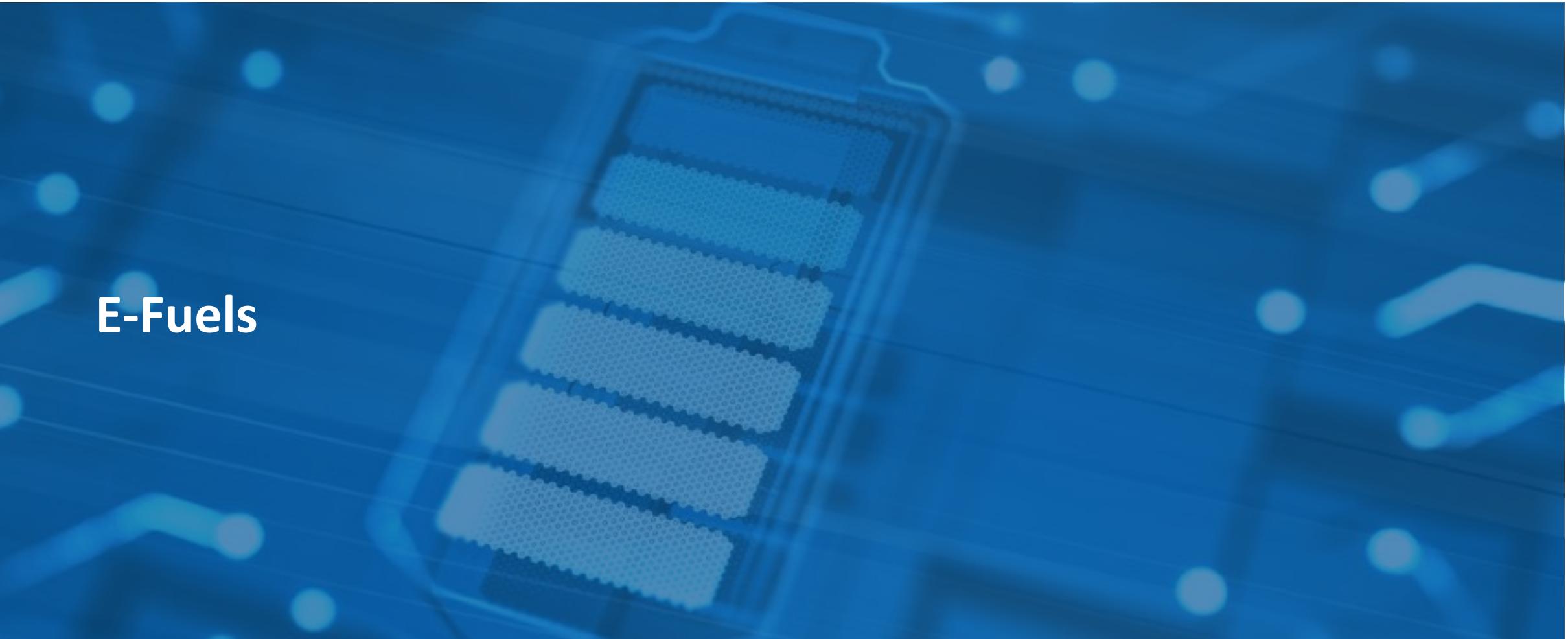
2025

-73%

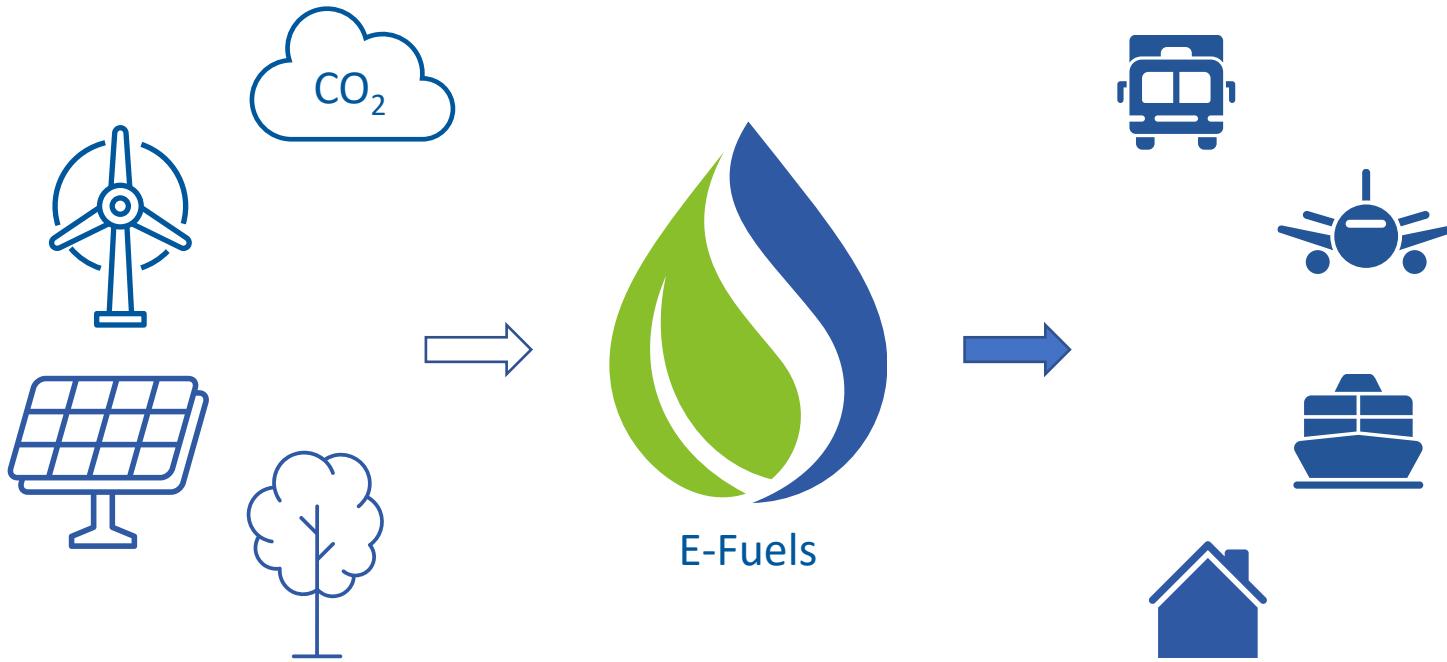


CO<sub>2</sub> im Strommix

# E-Fuels



Synthese aus CO<sub>2</sub>, Wasserstoff (H<sub>2</sub>), und elektrischer Energie

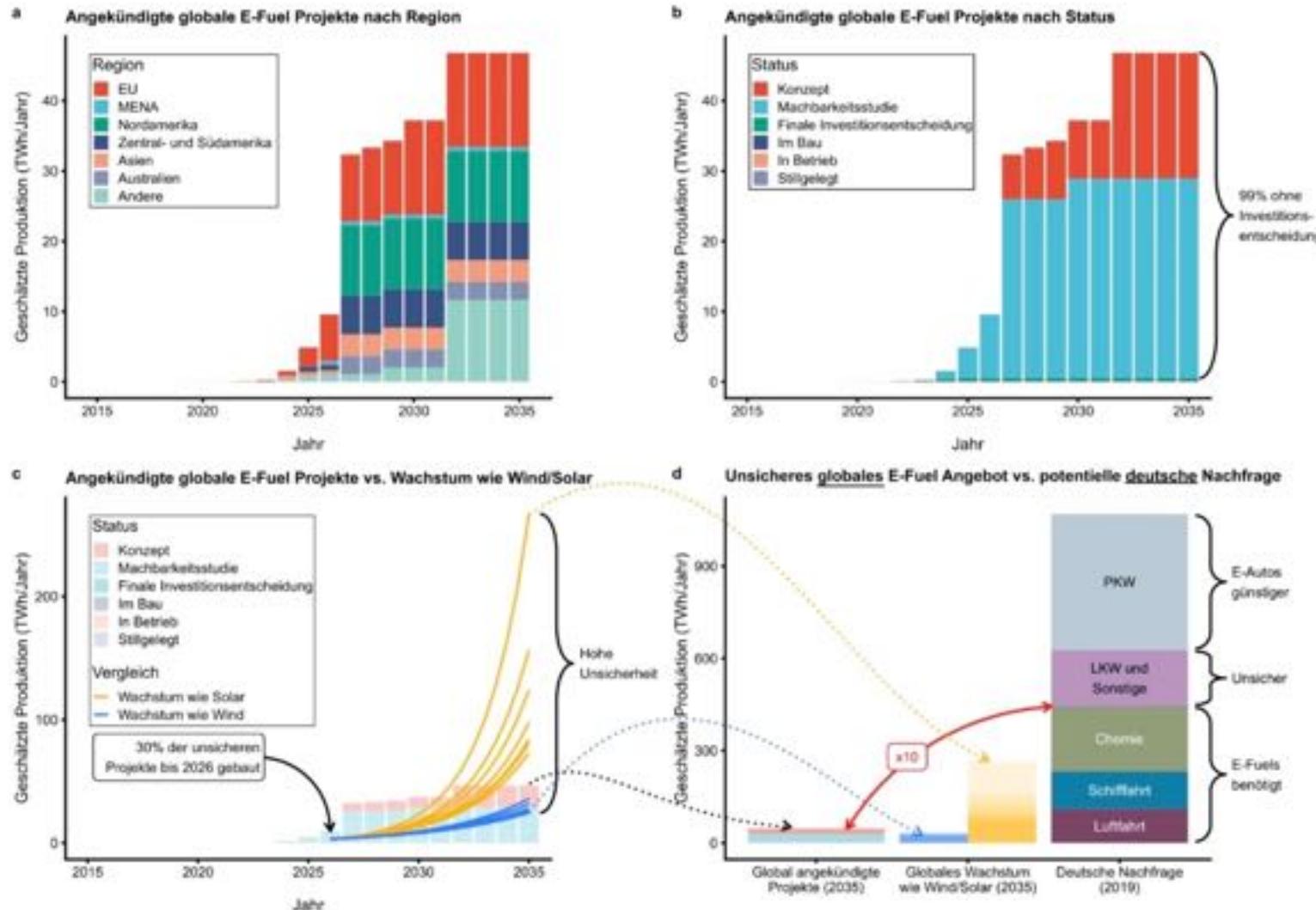


Die Produktion von **1 Liter e-Diesel** aus CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub> benötigt 23 - 27 kWh elektrische Energie (LBSt, 2020)

Ein Diesel-PKW verbraucht 6-7 L Diesel auf 100 km → gesamt **160-170 kWh** benötigt für 100 km Reichweite

- Mit dieser Energiemenge kann ein E-Auto **800-1000 km** weit fahren (mit e-Diesel PKW: **100 km**)
- Nach wie vor lokale Emissionen (Ruß, NO<sub>x</sub>, Lärm)
- Sehr teuer (Tankfüllung für 300-400 EUR o. Steuer/ ca. 1000 EUR mit Steuer)

# Potential von E-fuels: was ist geplant bis 2035?



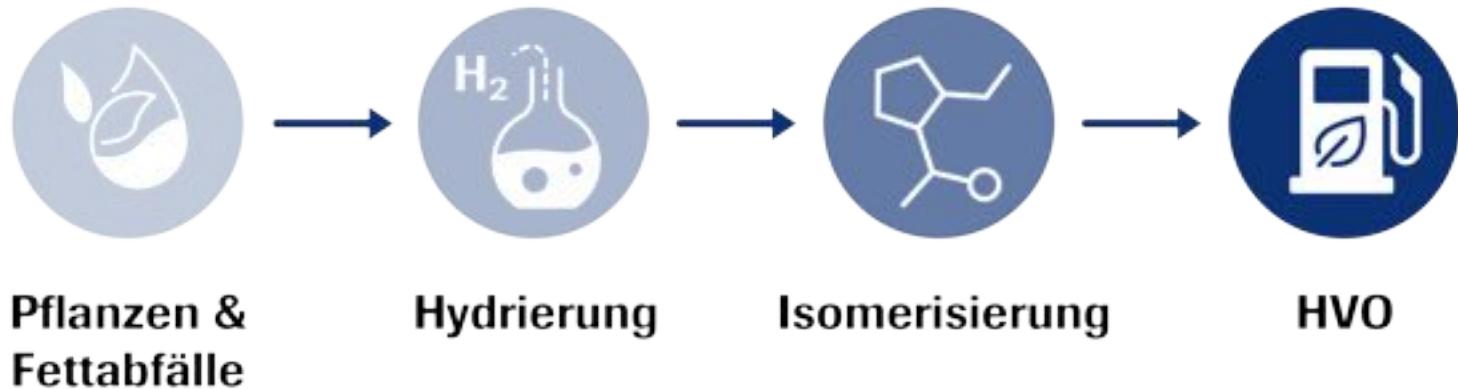
**Abbildung 1:** (a) global angekündigte E-Fuel-Projekte (flüssige strombasierte Kohlenwasserstoffe) nach Region und (b) nach Projektstatus. (c) Hochlaufszenarien mit historischen Wachstumsraten<sup>5</sup> von Windkraft und Solar-Photovoltaik. (d) Vergleich der globalen Ankündigungen und Hochlaufszenarien (für 2035) mit dem Bedarf Deutschlands<sup>6</sup> an flüssigen Kohlenwasserstoffen (2019). Daten: IEA, AG Energiebilanzen, Destatis.

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



Der **Rohstoff UCO (Used Cooking Oil)** wird bereits seit Jahrzehnten eingesammelt und zur CO<sub>2</sub> Reduktion von thermischen und chemischen Prozessen verwendet.

Nimmt man ihn dort weg und macht statt dessen HVO100 daraus, spart das kein CO<sub>2</sub>.

Laut Studie im Auftrag der Umwelthilfe

## Ökodiesel ist offenbar gar nicht so öko

Das Versprechen von HVO100: Altes Frittenfett tanken und gleichzeitig das Klima schützen.  
Seit Mai 2024 kann man den alternativen Kraftstoff in Deutschland nutzen. Doch einer neuen Untersuchung zufolge spart er gar kein CO<sub>2</sub>.

360 PS



560 PS



made with mematic

Bewegte Teile:  
ca. 1300

Nicht gezeigt:  

- Getriebe
- Transmission
- Tanksystem
- Auspuffanlage

Bewegte Teile:  
ca. 40

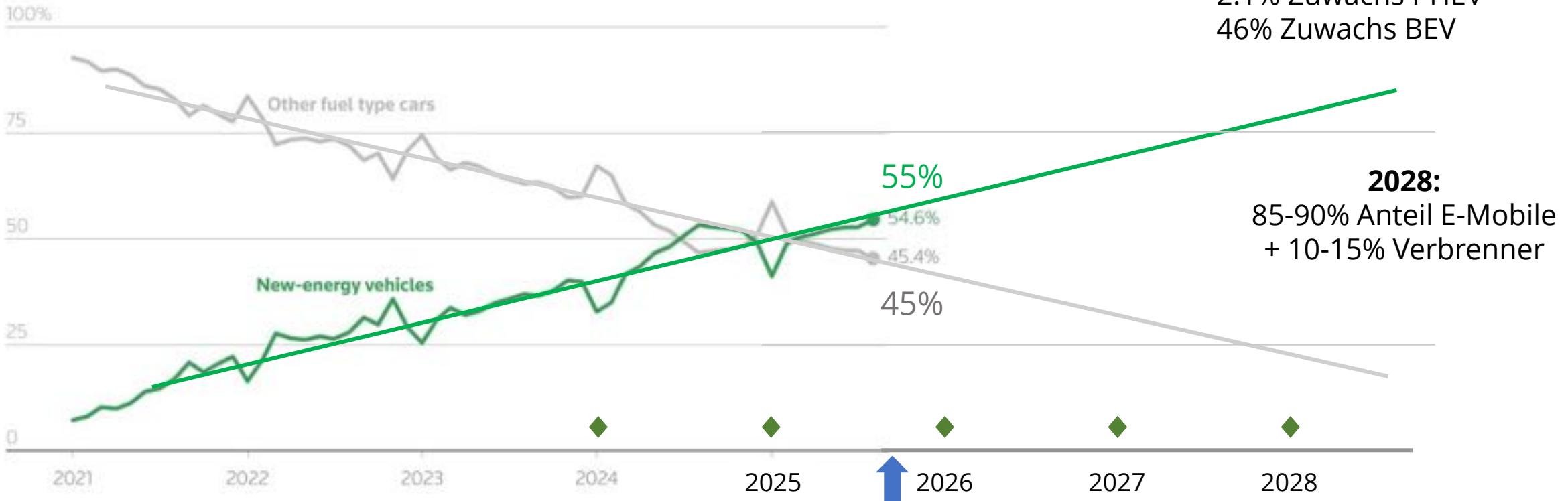
Nicht gezeigt:  

- Batterie

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

NEV: New Energy Vehicles, mit BEV, PHEV, FCEV, Stand Aug. 2025

Letzte 12 Monate:  
2.1% Zuwachs PHEV  
46% Zuwachs BEV

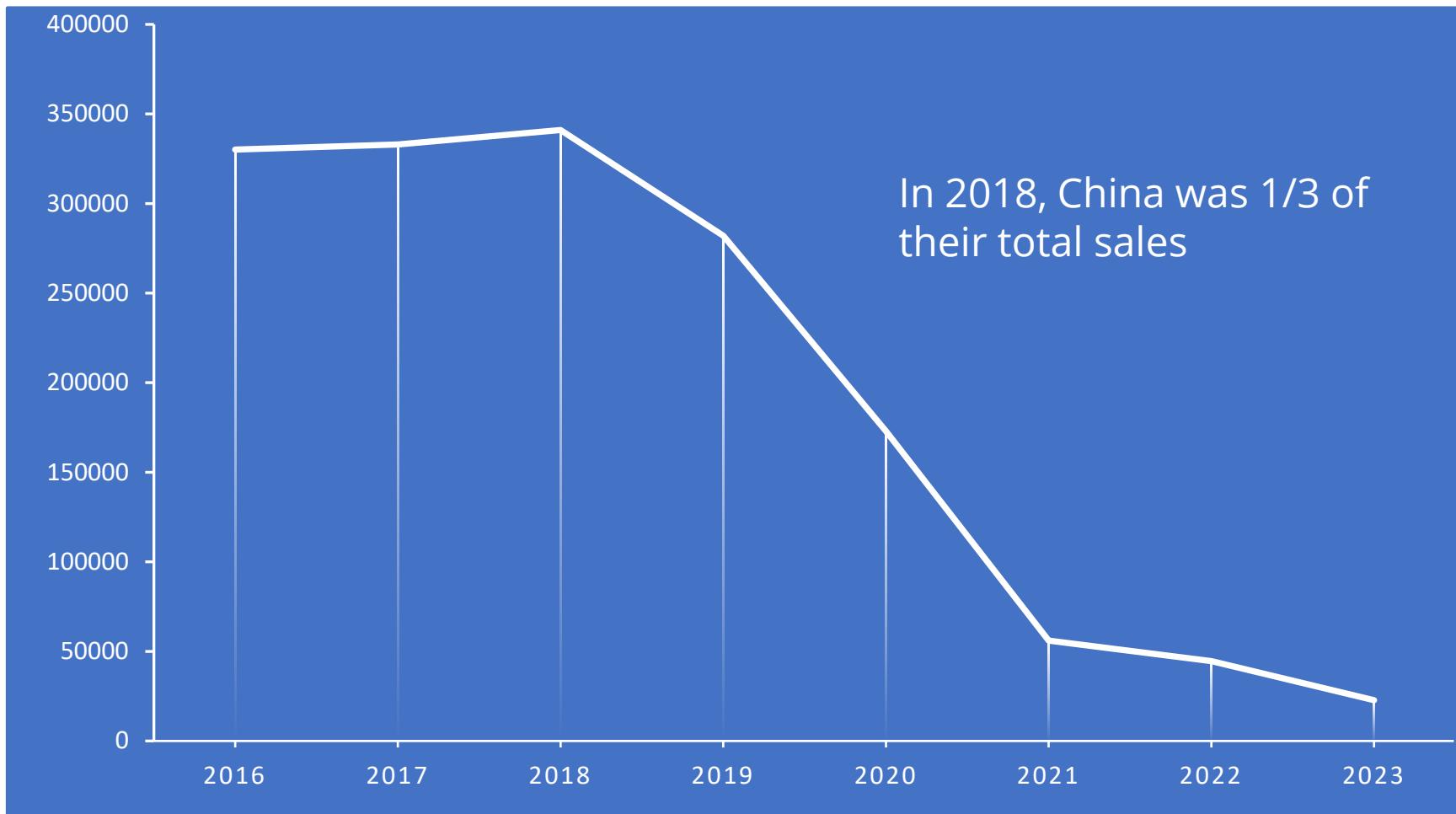


Source: CPCA | REUTERS, Sep. 8, 2025 | By Sumanta Sen

The line chart shows the share of new energy vehicle sales and sales of other fuel type cars in China. The sales share of new energy vehicles was the highest ever for any month in August 2025.

## Verkauf von Verbrennern (SKODA) 2016 – 2023 in China

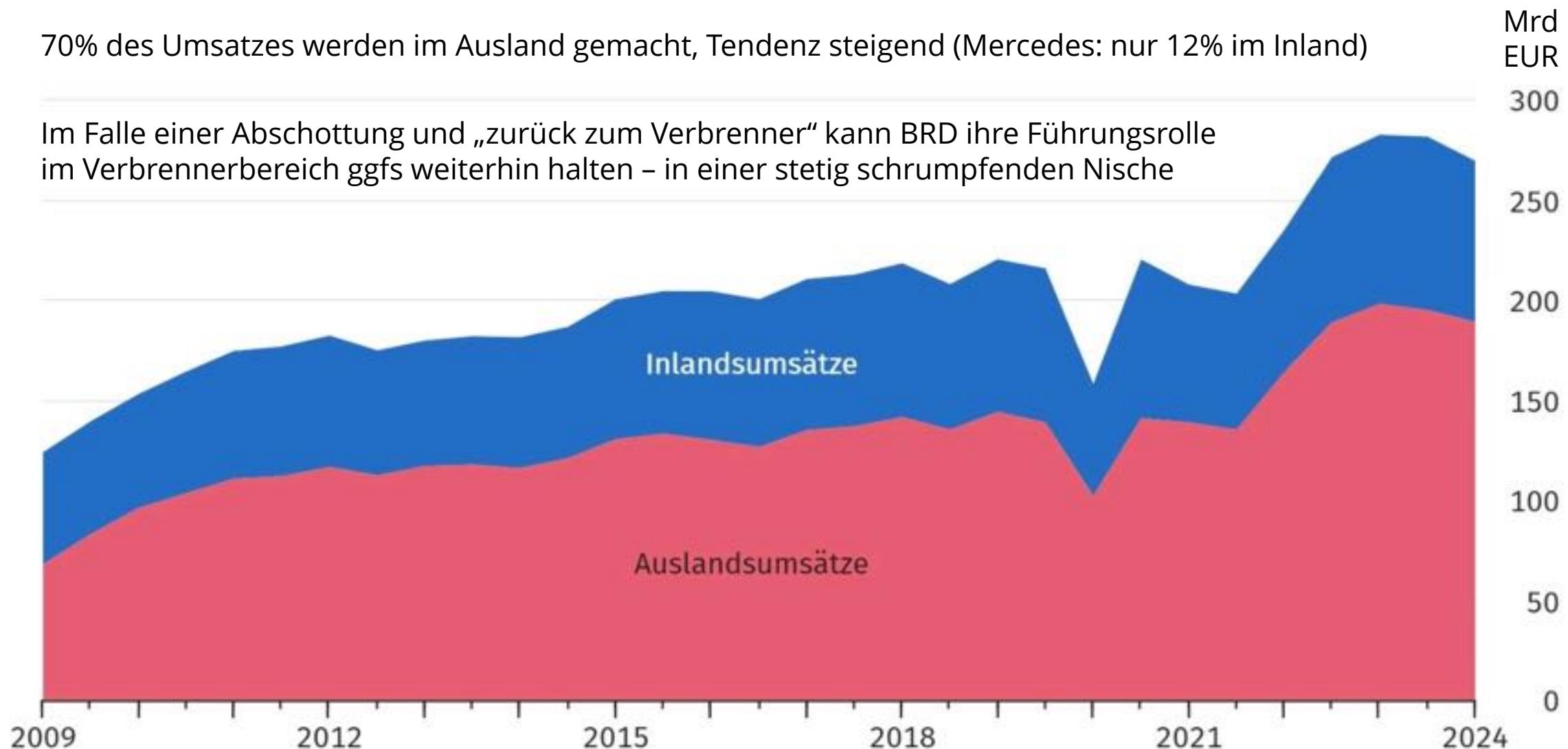
The beginning dusk of ICE cars

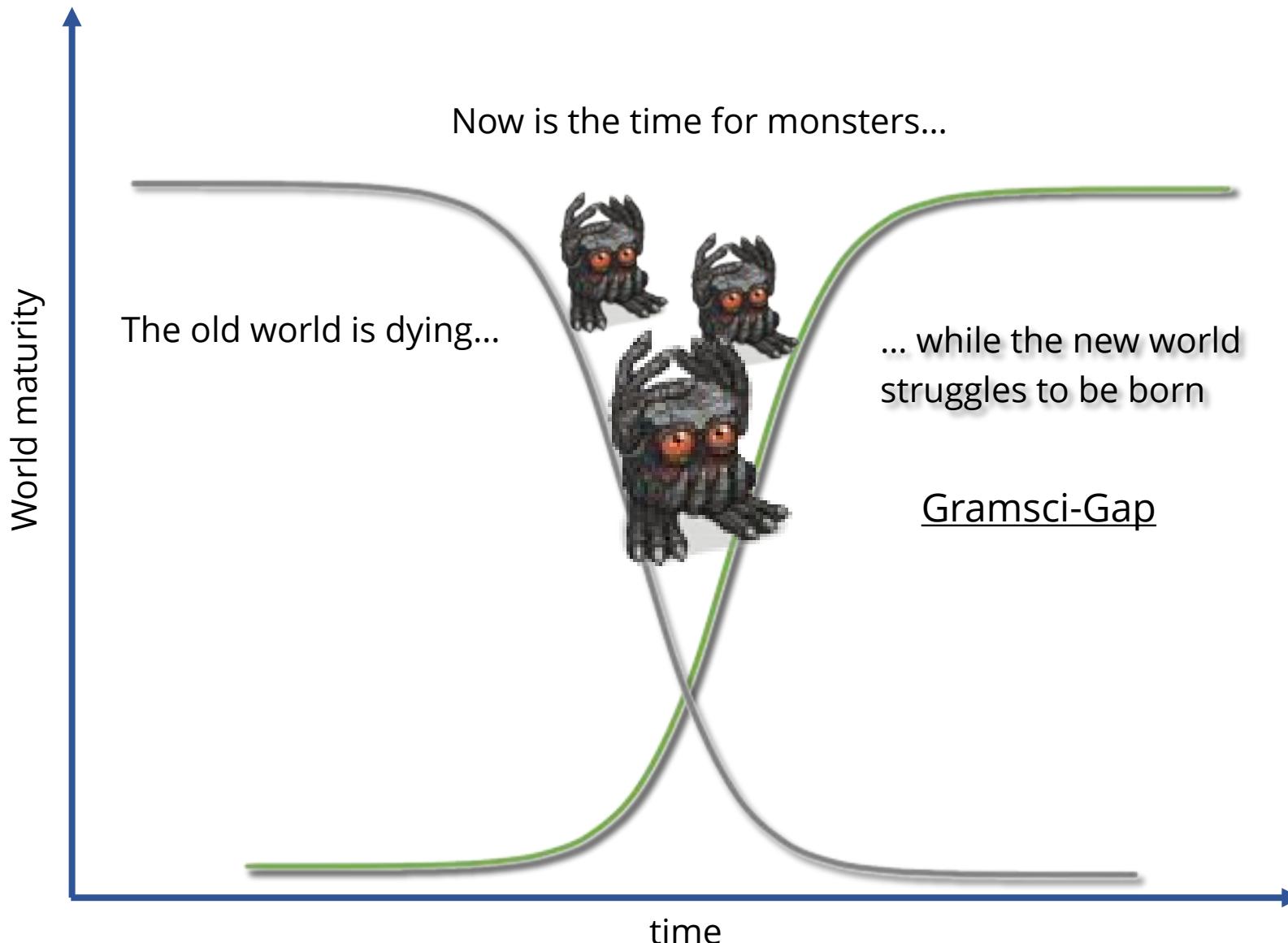


## Umsätze der Automobilindustrie

70% des Umsatzes werden im Ausland gemacht, Tendenz steigend (Mercedes: nur 12% im Inland)

Im Falle einer Abschottung und „zurück zum Verbrenner“ kann BRD ihre Führungsrolle im Verbrennerbereich ggf. weiterhin halten – in einer stetig schrumpfenden Nische



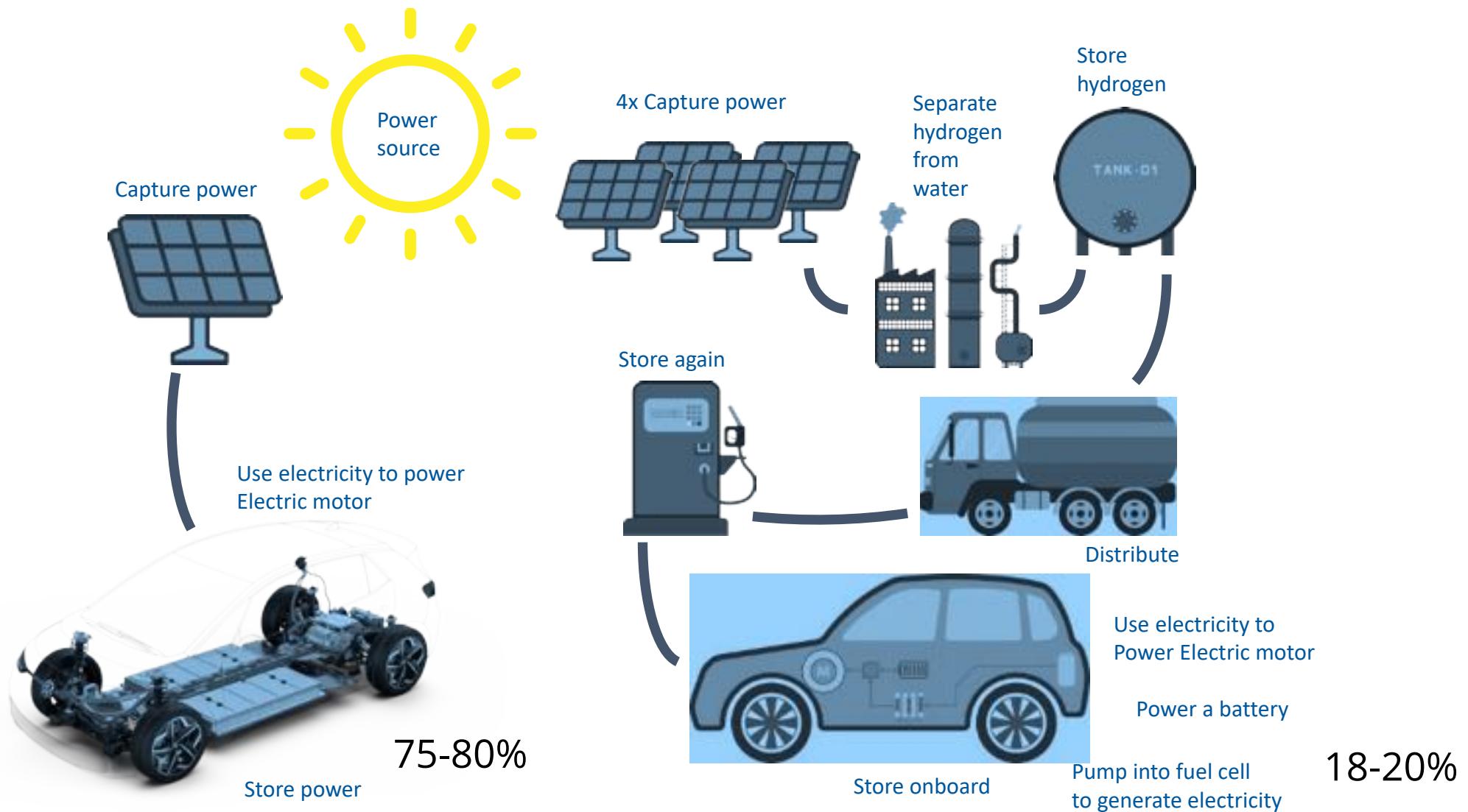


Soll z.B.

- der Autobauer oder Zulieferer weiterhin im Verbrennerbereich Produkte anbieten, um sich zu finanzieren, oder soll er
- voll auf die neue Welt setzen, um dieses Tal schnell zu durchschreiten?

# Elektrische Antriebe

# Elektrische Antriebe als effizienteste Art des Antriebs



Batterieelektrischer Antrieb

H<sub>2</sub> Antrieb mit Brennstoffzelle

# Antriebsarten im Vergleich / Energiebedarf

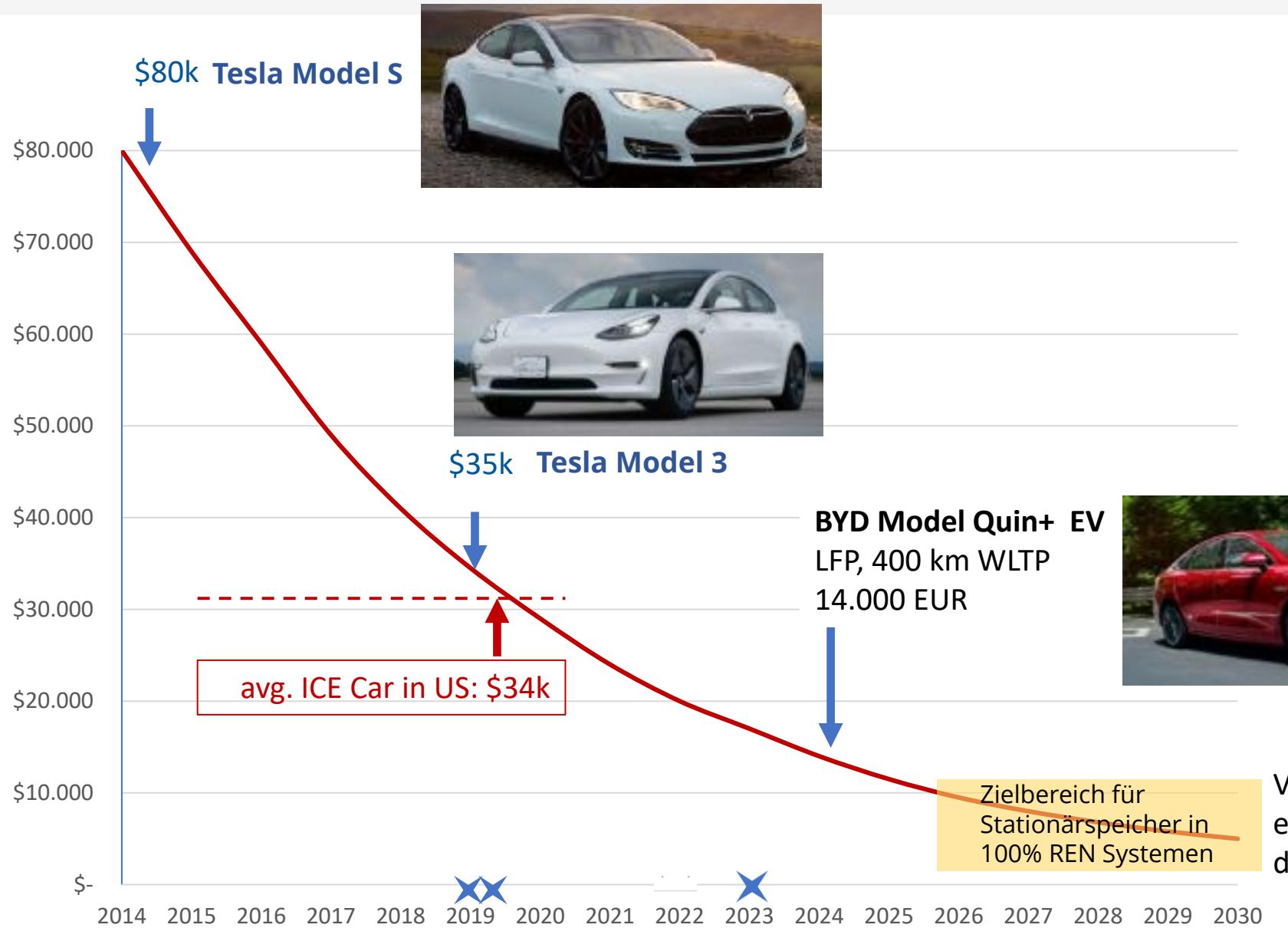
Energiequelle	Energieträger	Drive	lokal emissionfrei	1 Windrad versorgt...
3 MW 2000 h/a	Strom  e.g. 1 wind turbine  3 Megawatt 3000 h/year	 Elektroauto mit Batterie (BEV)	ja	 1600 Fahrzeuge
	Wasserstoff	 Elektroauto mit Brennstoffzelle (FCEV)	ja	 600 Fahrzeuge
Ref: VDE	eFuel	 Auto mit Verbrennungsmotor (ICE)	nein	 250 Fahrzeuge

**Strom:**  
**1600 PKW**

**Wasserstoff:**  
**600 PKW**

**e-Fuel:**  
**250 PKW**

# Kostenkurve für Batteriefahrzeuge mit 350-400 km Reichweite



**Vergleich H<sub>2</sub>:**  
Hyundai Nexo (500 km)  
80 TEUR im Verkauf  
120 TEUR in der Produktion

**Verbrauchskosten:**  
ca. 20 EUR/100 km in D (ohne Steuer)

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



**TOYOTA**

TOYOTA  
Model bZ3X  
**from 15.000 USD**

First vehicle with the Momenta 5.0 Intelligent Driving System.

Powered by [NVIDIA Drive AGX Orin X](#), it comes with 25 ADAS features, such as parallel parking, remote control parking, high-speed pilot, light traffic assist, and blind spot monitoring.

## BYD

比亚迪  
BYD

「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



「油“比”电强」  
**7.58万元起**



## CHANGHAN



「电比油低！低！低！」  
**7.39万元起**



◎ 雪球：搏击沧海横流

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



## Aion UT Super

Gemeinschaftsprojekt von  
JD.com, CATL, GAC

**5.500 EUR +  
Miet-Akku (54 kWh) für 50 EUR/Monat**

Preisdifferenz zu H<sub>2</sub>-PKW: Faktor 10

# Neue Batteriefahrzeuge für unter 30.000 EUR ab 2024 in Europa

VINFEST  
**VF 6**



**27.220 €** COMODA 5



Ford  
**Puma EV**



**25.000 €**

Skoda  
**Elroq**



**32.900 €**

Citroën  
**ë-C3**



**24.000 €**

HYUNDAI  
**Casper EV**



**18.070 €**

Quelle: ADAC, 2024

# Reichweitenangst: Neue Batteriefahrzeuge mit > 650 km Reichweite ab 2024



...

Ref.: ADAC 2024

# Schwerlast

Busse und LKWs...

CATL: Batterien für Elektrofahrzeuge mit 1,5 Millionen km Garantie!  
4.4.2024 Damit wird eine Garantie von rund 15 Jahren Laufleistung für E-Busbatterien möglich.

## Garantie:

- **1,5 Mio. Kilometer**
- **15 Jahre Betriebsdauer**

Neue Lithium-Eisenphosphat-Batterie (LFP) vor allem für Busse und E-LKWs.

Die ultranglebige Batterie soll in ersten 1.000 Zyklen volle Reichweite gewährleisten bzw. sich nicht verschlechtern.

Das heißt, dass die Batterie (Reichweite von 500 km) bei E-Bussen möglich machen soll, **bis zu etwa 500.000 km keine Kapazitätsverluste** haben wird.



© YUTONG / E-Bus von Yutong im Extremkälteeinsatz bei - 33 Grad in Norwegen

# BEV/FCEV-trucks: Kosten/km und weltweite Zulassungszahlen

## H<sub>2</sub> für Schwerlast

Wird konkurrenzfähig bei < 4-5 EUR/ kg H<sub>2</sub><sup>1)</sup>

Derzeit: in BRD 16,05 -17,75<sup>2)</sup> EUR/ kg H<sub>2</sub> („Grauer“ H<sub>2</sub>)

- Faktor 1/4 (1/6) für Grünen H<sub>2</sub> wird schwer zu erreichen.
- Kosten für Batterien sinken
- Die Lenkzeiten sind identisch

40-ton Truck: 30 L Diesel/100 km

→ **0,45 EUR/km**



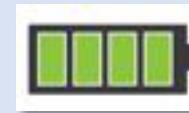
FCEV Truck: 8 kg H<sub>2</sub>/100 km<sup>3)</sup>

→ **1,40 EUR/km** in D (ohne Steuer)



40-ton BEV Truck: 90 kWh/100 km<sup>4)</sup>

→ **0,35-0,40 EUR/km** (abh. von Tarif)

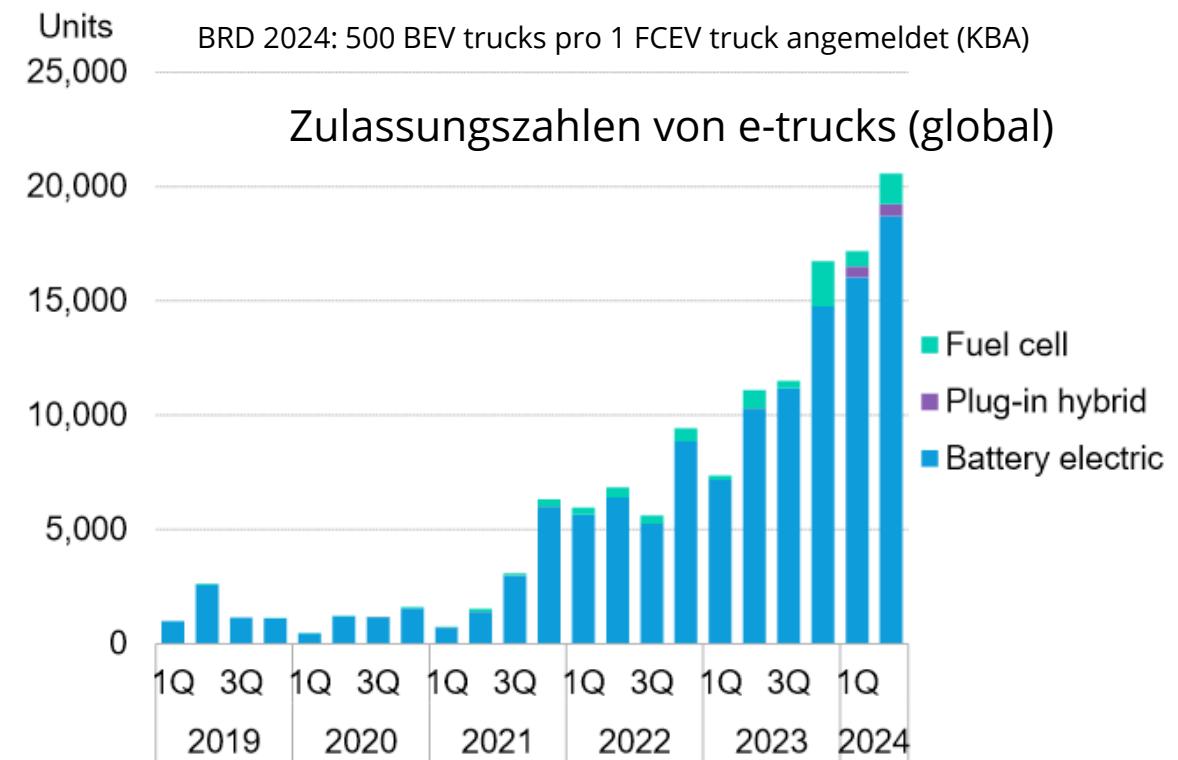


<sup>1)</sup> P3 Automotive, 2023

<sup>2)</sup> <https://h2.live/>

<sup>3)</sup> NIKOLA, 2023

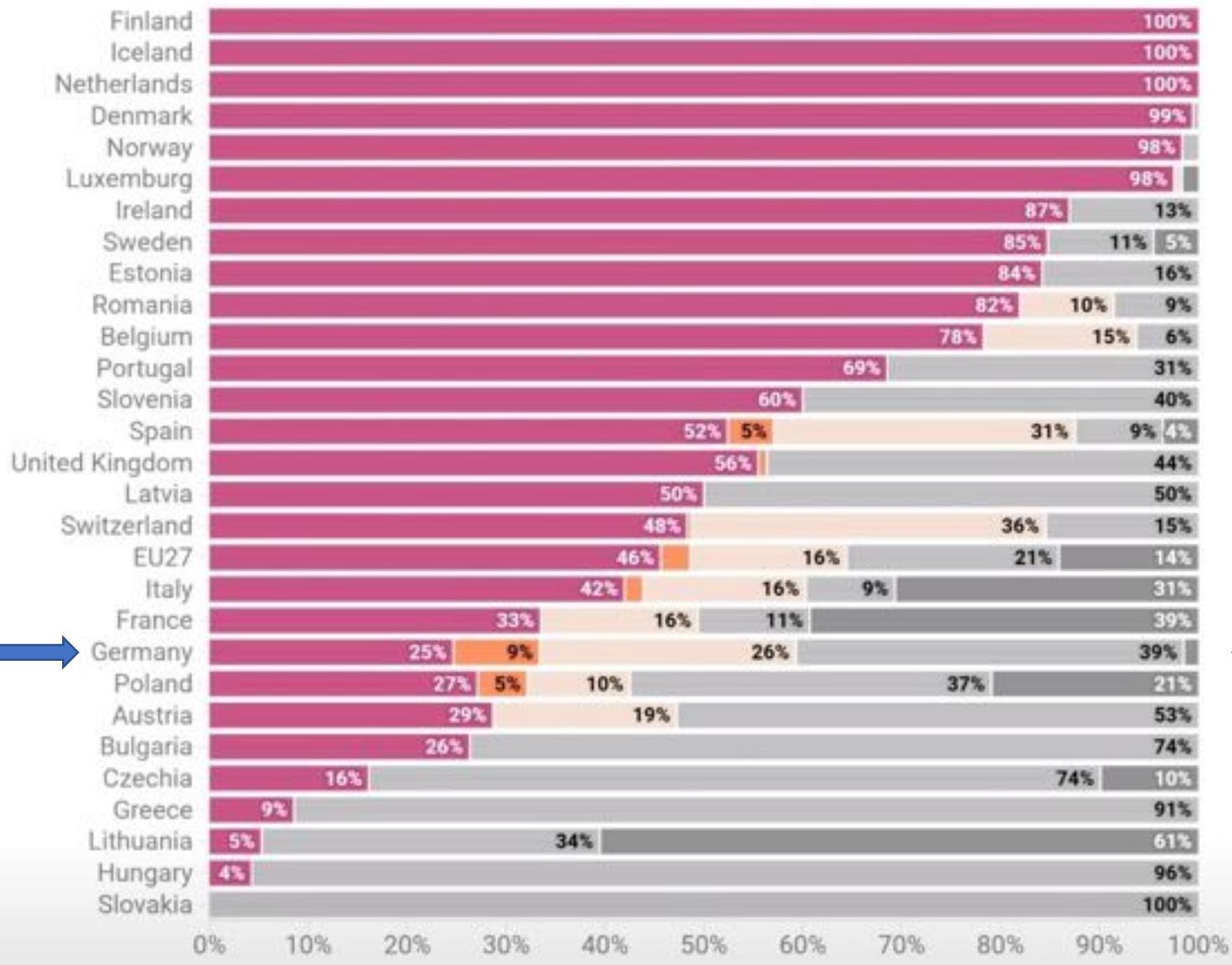
<sup>4)</sup> DAIMLER E-ACTROS 600, lt. ADAC, 5.9.2024



Source: BloombergNEF; see full list of sources in the Appendix.

# Neuzulassungen von Stadtbussen 2024

■ Battery-electric ■ Fuel cell hydrogen ■ Hybrid ■ Diesel ■ Gas

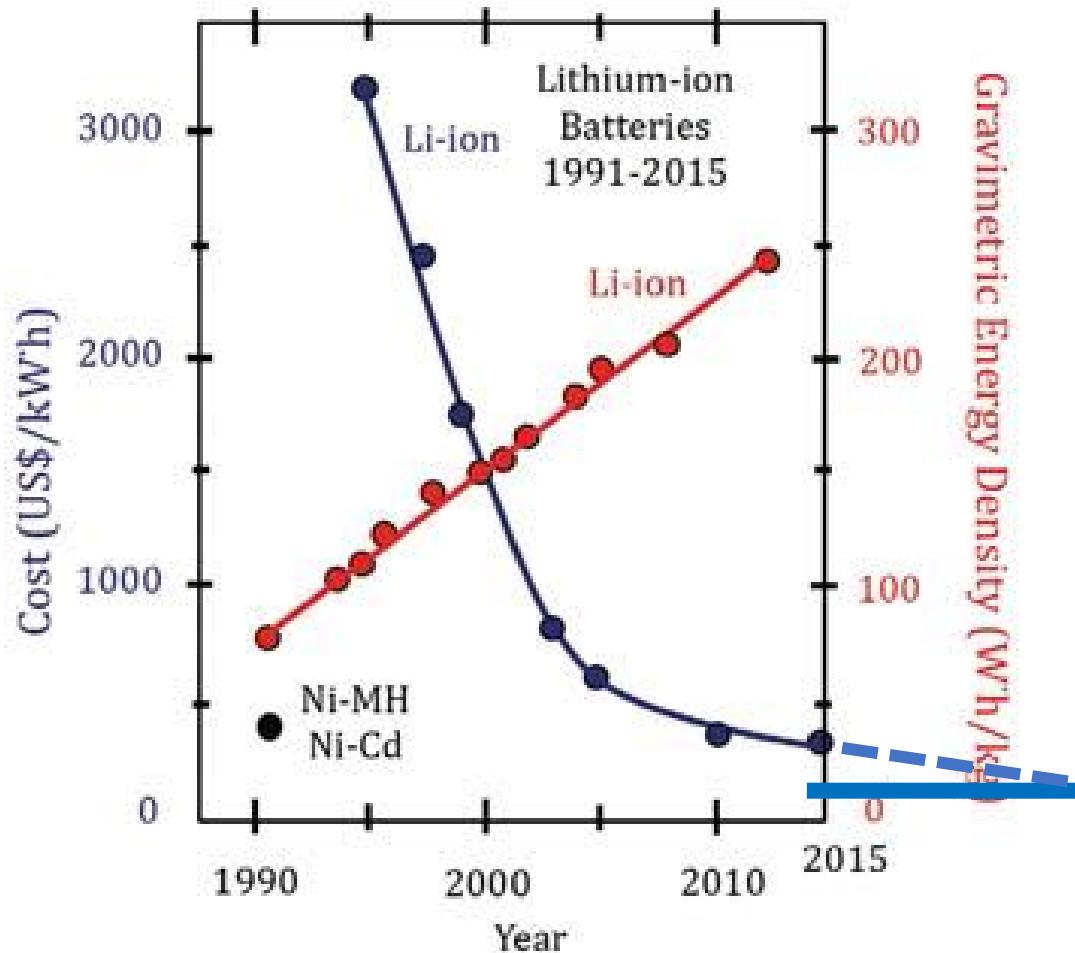


Ref: Chatrou CME Solutions (2024)  
 T&E

# Aktuelle Entwicklungen

Wie geht es weiter?

# Entwicklung der Li-Ionenbatterie

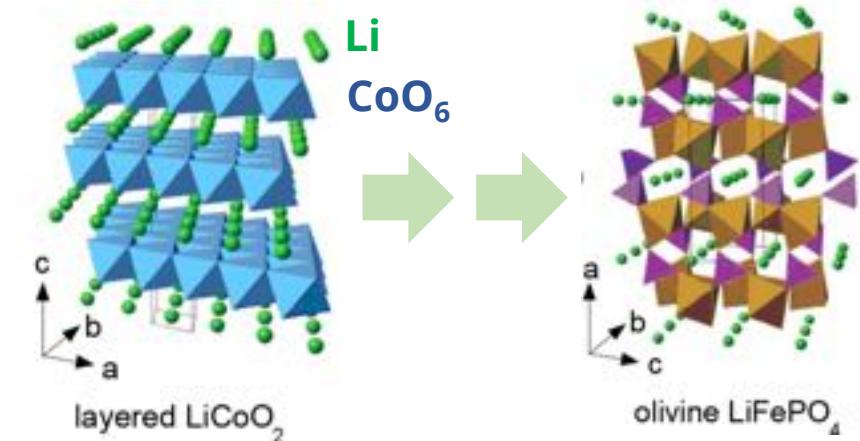
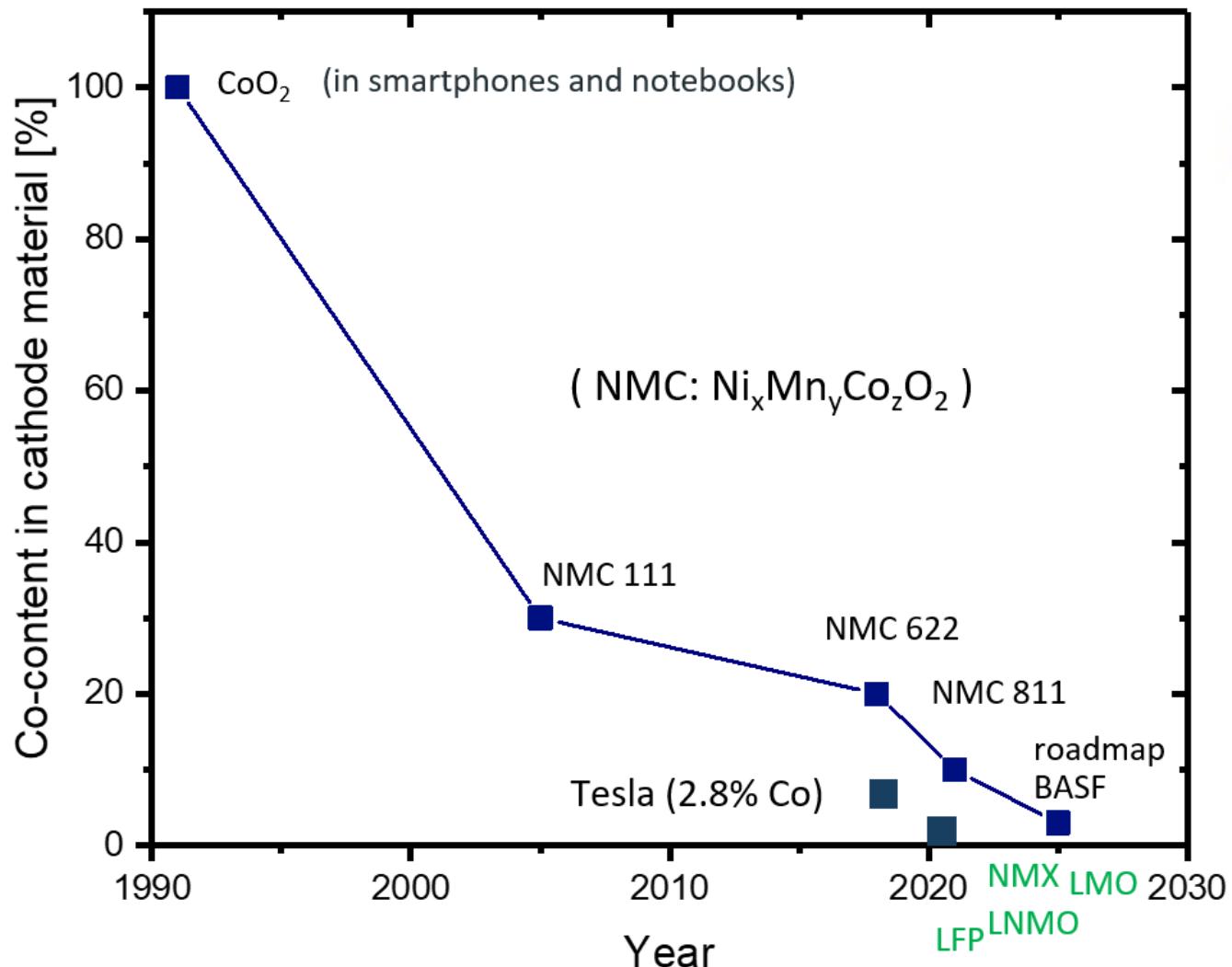


Seit der Markteinführung:  
Energiedichte: x4  
Kosten ÷ 40

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

Kostenziel  
für 2024

**Cathode:** Kobalt-Gehalt im Pluspol von Batterien.

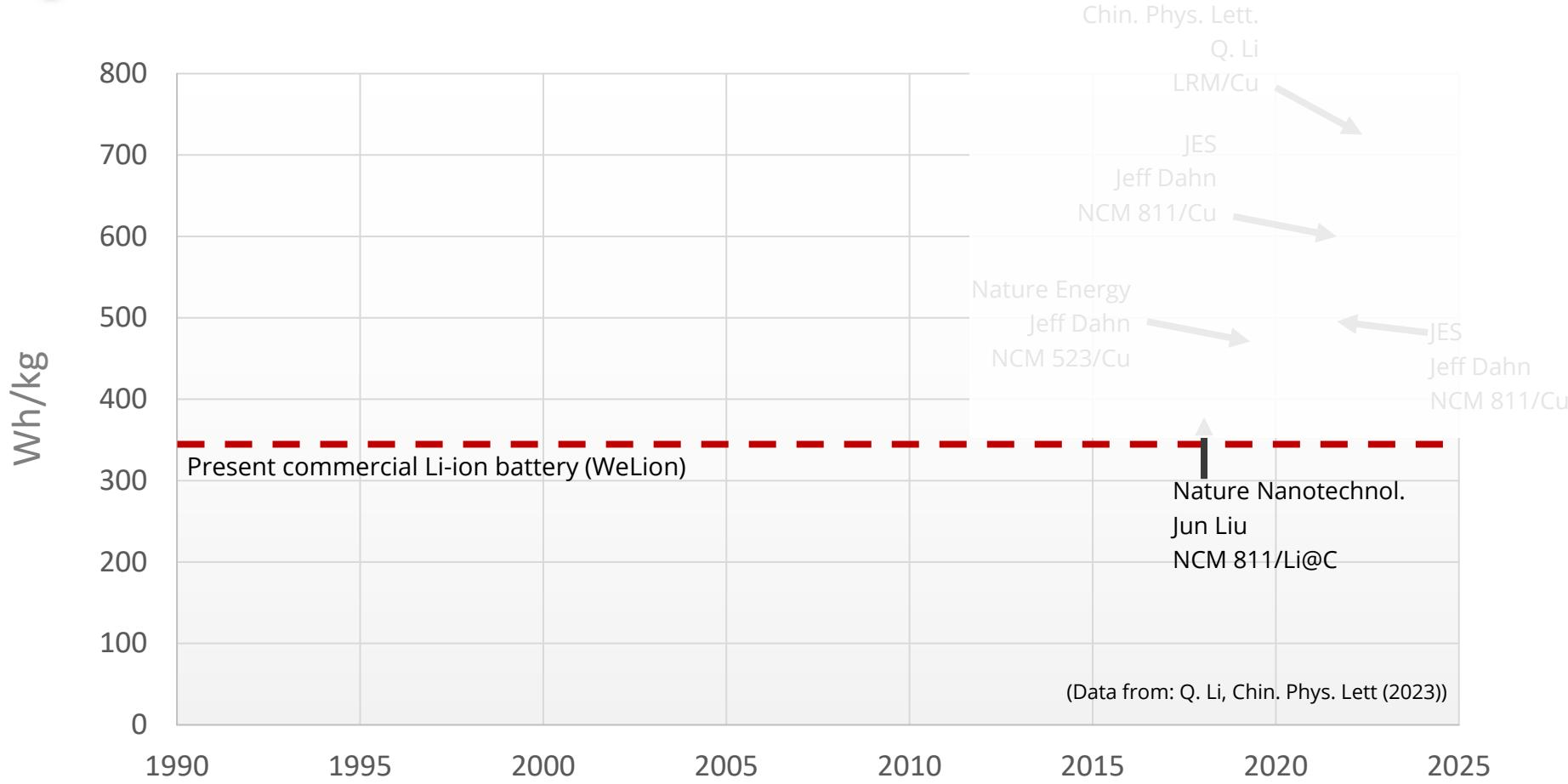


**LFP:**  $\text{LiFePO}_4$   
**NMX:**  $\text{LiNi}_{3/4}\text{Mn}_{1/4}\text{O}_2$   
**LMO:**  $\text{LiMnO}_2$   
**(Materials with 0% cobalt)**

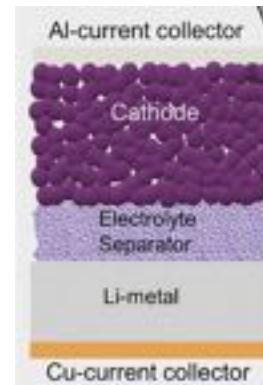
# Vergleich der Energiedichten von Li-Ionenzellen über die letzten 30 Jahre



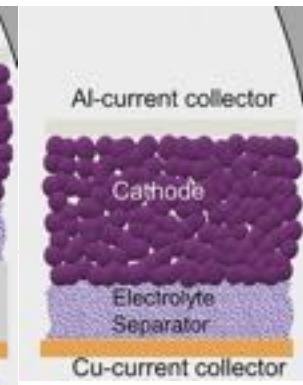
Höchste Energiedichte im jeweiligen Jahr



**LMBs:**  
< 300 Wh/kg



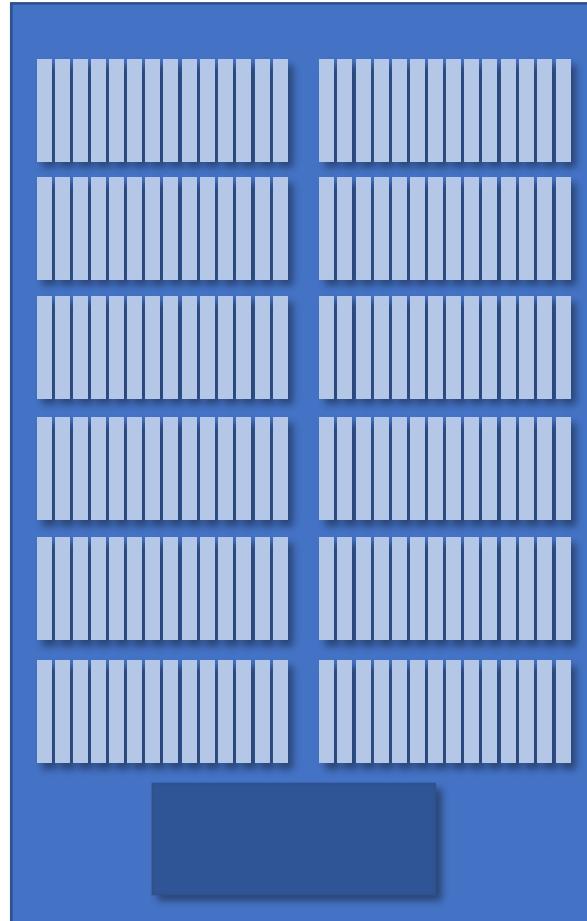
**AFLMBs:**  
< 300-500 Wh/kg



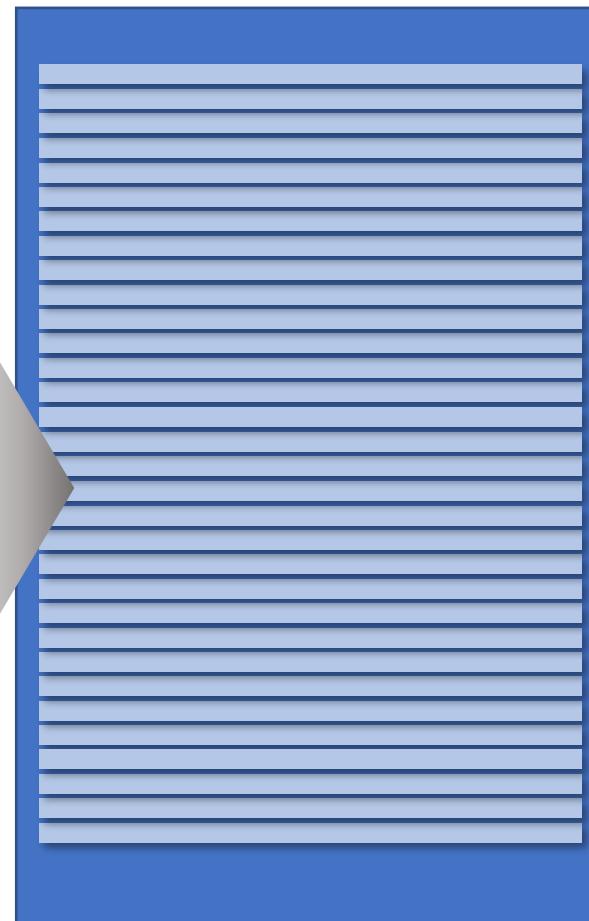
P. Molaiyan *et al.*,  
Adv. Func. Mater. 34 (2024)

**Mit neuer Technologie:  
Perspektive mit  
1900 km Reichweite**

25% active material  
Conventional design



30-35% active material  
Cell-to-Pack design



## CATL

### Cell-to-Pack (CTP) -Technologie Gen. 1

erhöht laut CATL

- Spezifische Energie um 10-15%, und
- **Energiedichte um 15-20%, und**

**Zahl der Teile für die Fertigung des Batterie  
Packs verringert sich um 40%.**

→ **Neue leichtgewichtige, „schwache“,  
Speichermaterialien finden Anwendung!**

BYD: „Blade“ battery

**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 und CATL in 2024:**

- >1000 km Reichweite (WLTP)**

# 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<sub>4</sub> → kein Co, kein Ni

Minuspol: Graphit



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

Ende 2023:

**Laderate „4C“**

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

**400 km Laden in 10 min**

bei 700 km Reichweite

Ende 2024:

**Laderate „6C“**

i.e. in 10 min beladbar

**bzw. in 8,5 min von 10% auf 80%**

**1 km Reichweite pro Sekunde**



Schnellladesystem für Elektrofahrzeuge, das  
**in nur 5 Minuten eine Reichweite von bis zu 470 km**  
ermöglicht.

Teil der neuen Super-E-Plattform, die eine  
**1.000-V-Architektur (1 MW)** und fortschrittliche  
Batterietechnologie nutzt.

**Das System soll das Laden von Elektrofahrzeugen so schnell und bequem machen wie das Tanken eines herkömmlichen Autos.**

<https://www.netzwelt.de/news/240982-echte-tesla-konkurrenz-ab-30000-us-dollar-byd-bringt-e-autos-turbo-ladung.html>



BYD Model Han-L (2025)



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.



## GEELY:

Lithium-eisenphosphat Akku (LFP)

3500 Zyklen

„50 Jahre Lebensdauer“ bei 20.000 km/a

„Short Blade“ Batterie



## 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](http://www.celest.de)

[www.hiu-batteries.de](http://www.hiu-batteries.de)

[www.postlithiumstorage.org](http://www.postlithiumstorage.org)

