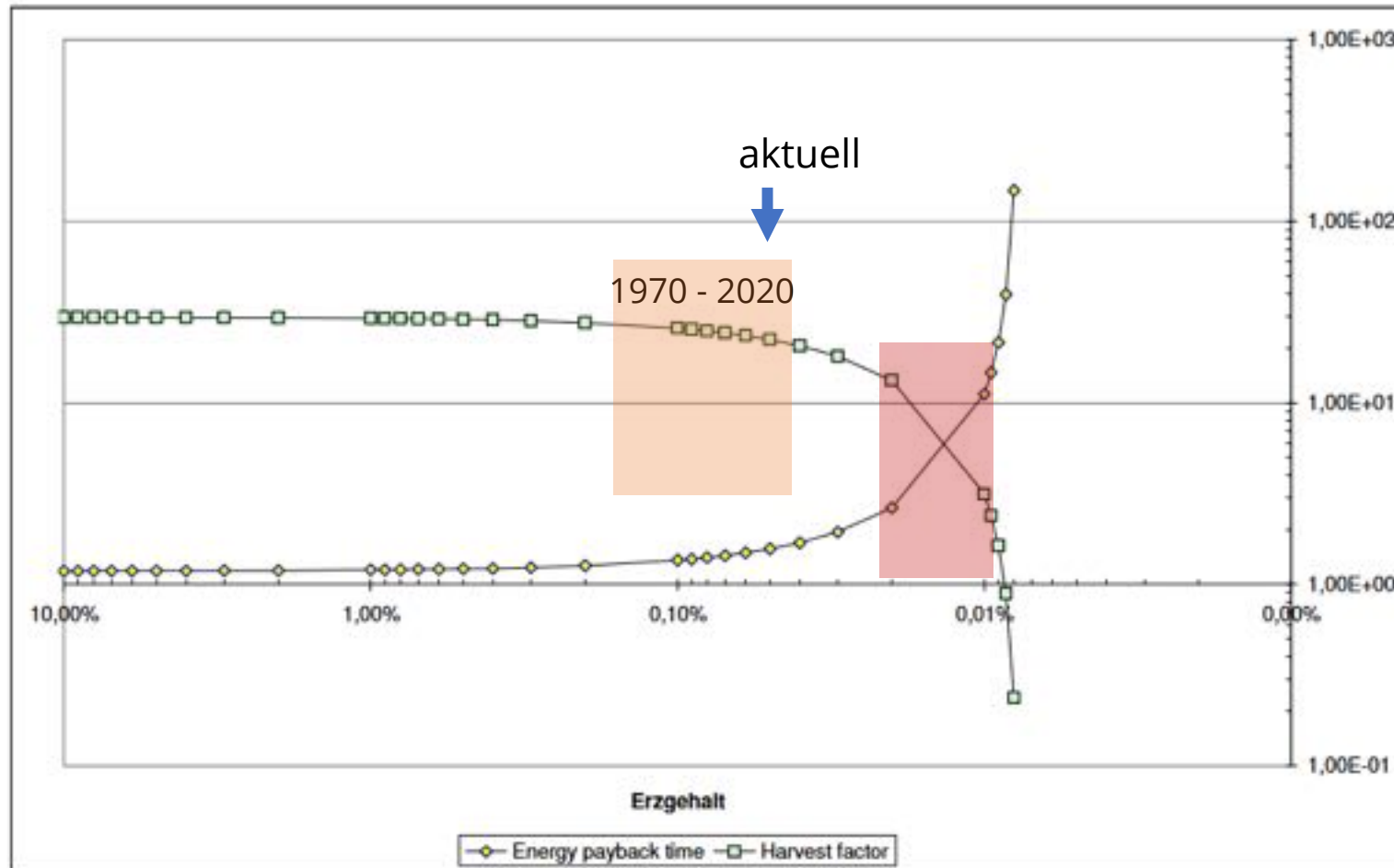


Maximilian Fichtner

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

Colloquium Fundamentale
KIT

18.12.2025

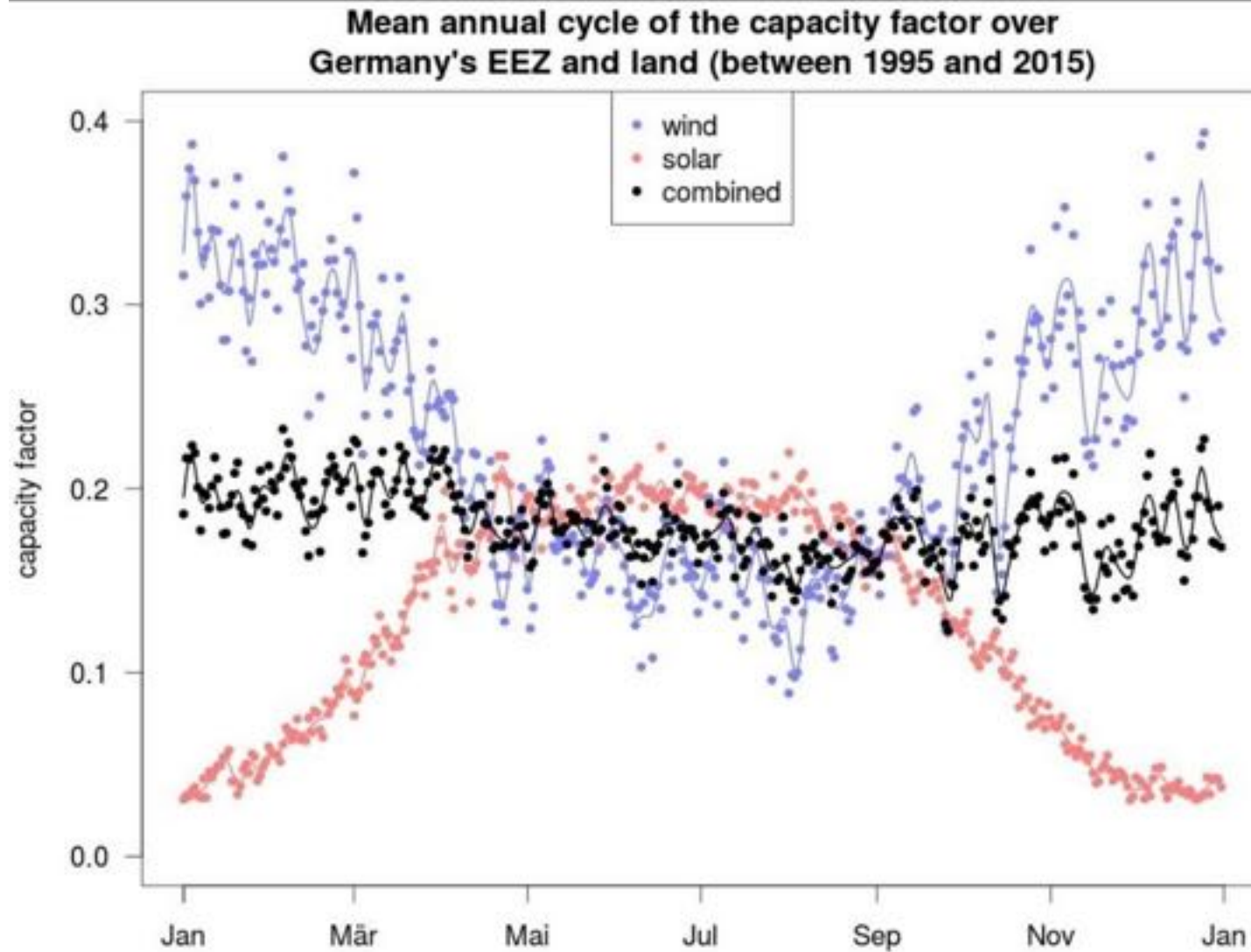


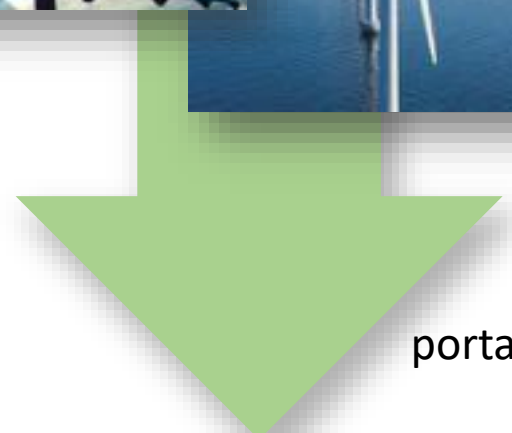
Bei Uran Erzgehalten von 0,1 bis 2 % liegt der Energieaufwand für die Erzeugung einer kWhel bei 2 bis 4 %. Bei sinkendem Erzgehalt (**0,01 % und 0,02 %**) steigt dieser Energieaufwand auf 14–54 %. Daraus entstehen **CO₂-Emissionen in der Höhe von 82–210 g/kWh**.

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

Abbildung 4: Energieüberschuss in Abhängigkeit vom Erzgehalt

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





Stationär



(<https://www.fpr-newenergy.com/>)

portabel

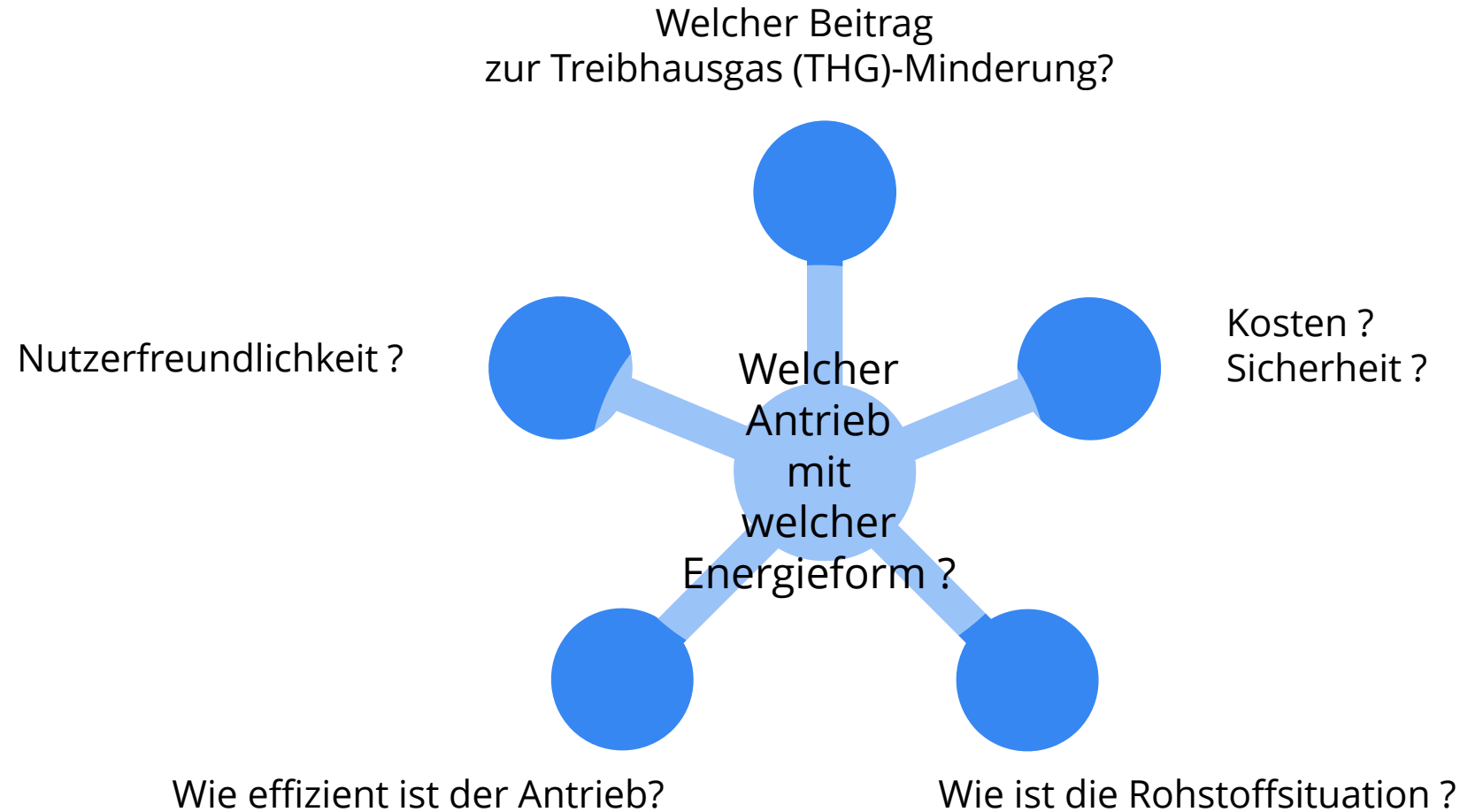


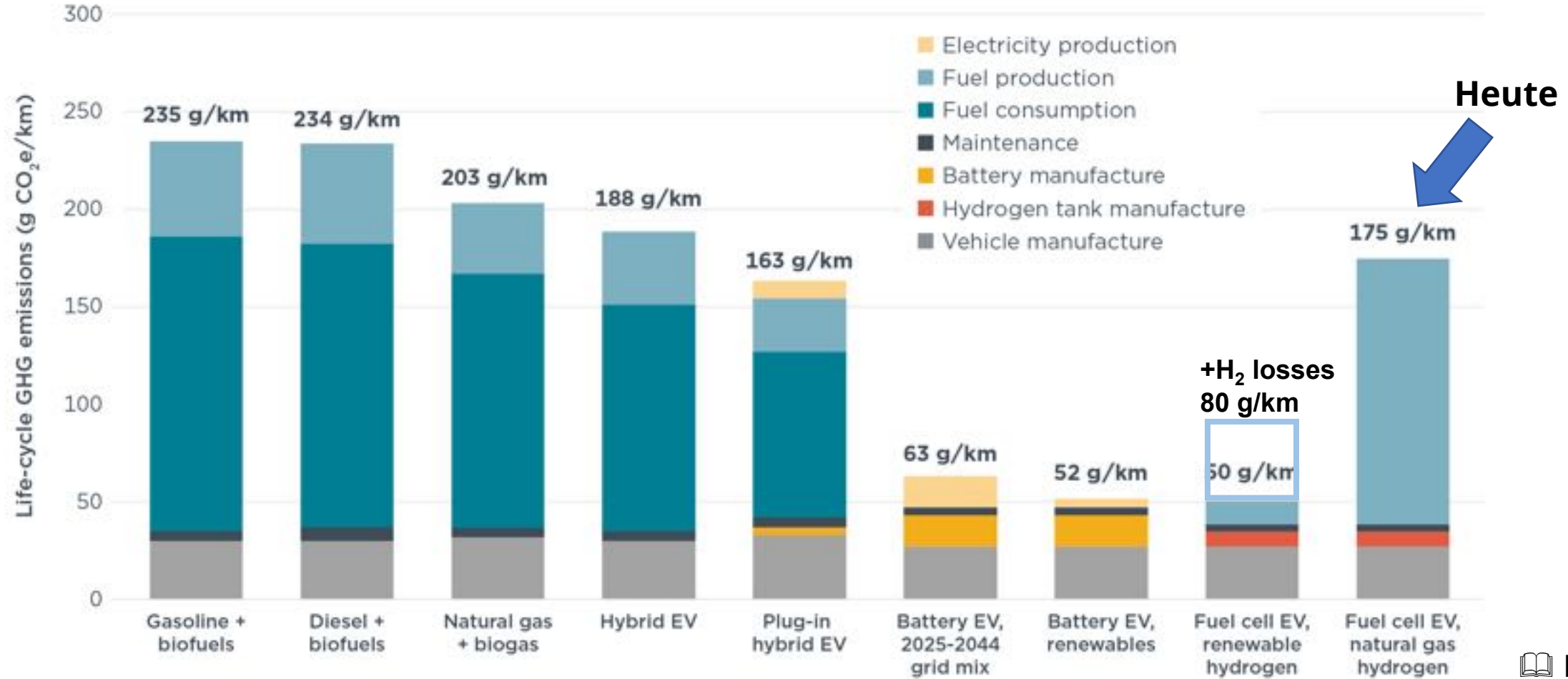
(www.hp.com)

mobil



(www.mungali.com)





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

Lebenszyklusanalysen

📖 ICCT (2021)

📖 ICCT (2025)

CO₂äq
über Lebensdauer

PKW mit
Verbrennungsmotor

E-Auto

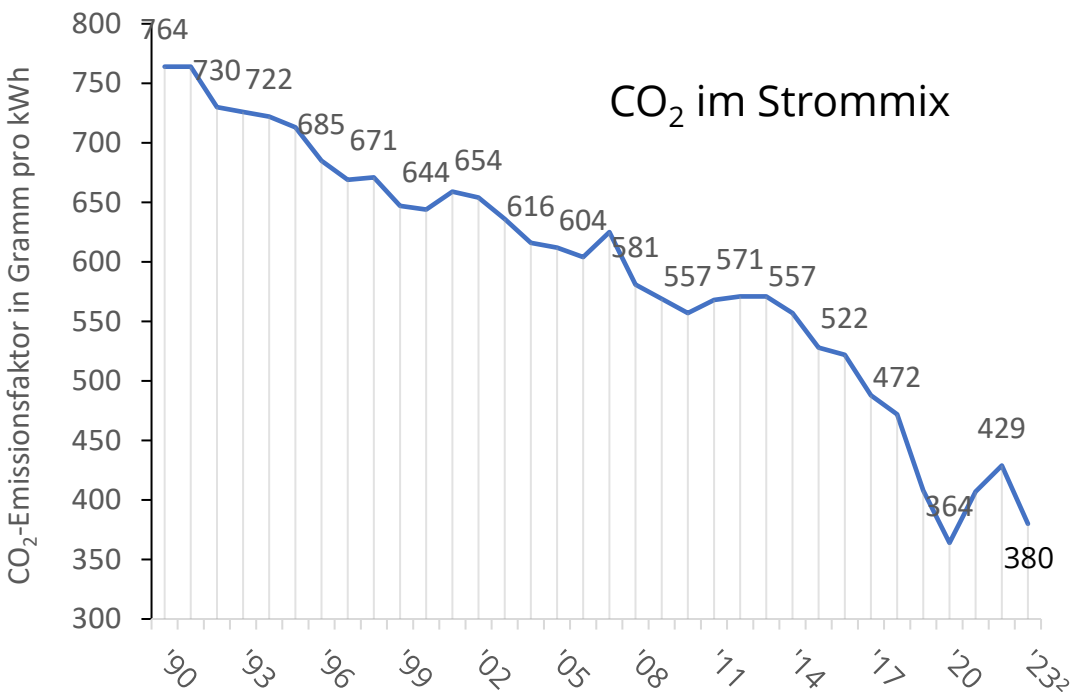
-49%

2021

E-Auto

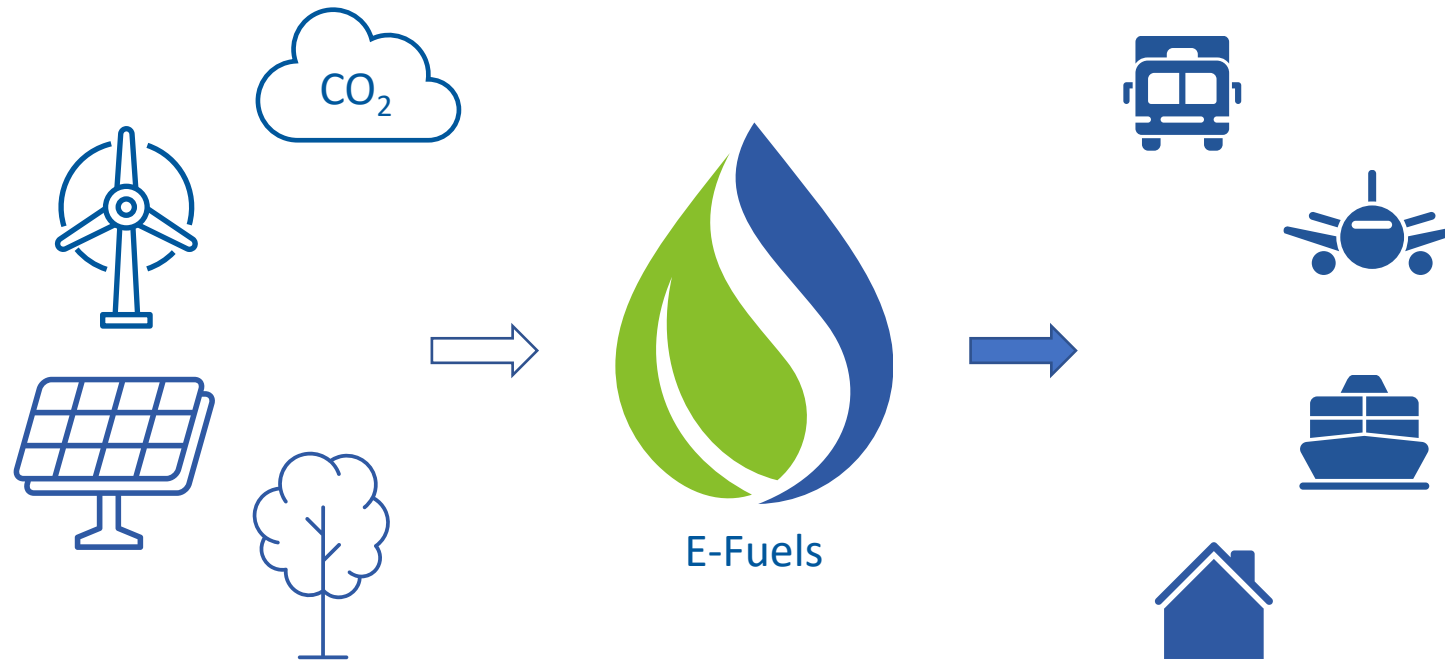
-73%

2025



E-Fuels

Synthese aus CO₂, Wasserstoff (H₂), und elektrischer Energie



Die Produktion von **1 Liter** e-Diesel aus CO₂ und H₂ 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_x, Lärm)

→ Sehr teuer (Tankfüllung für 300-400 EUR o. Steuer/ ca. 1000 EUR mit Steuer)

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

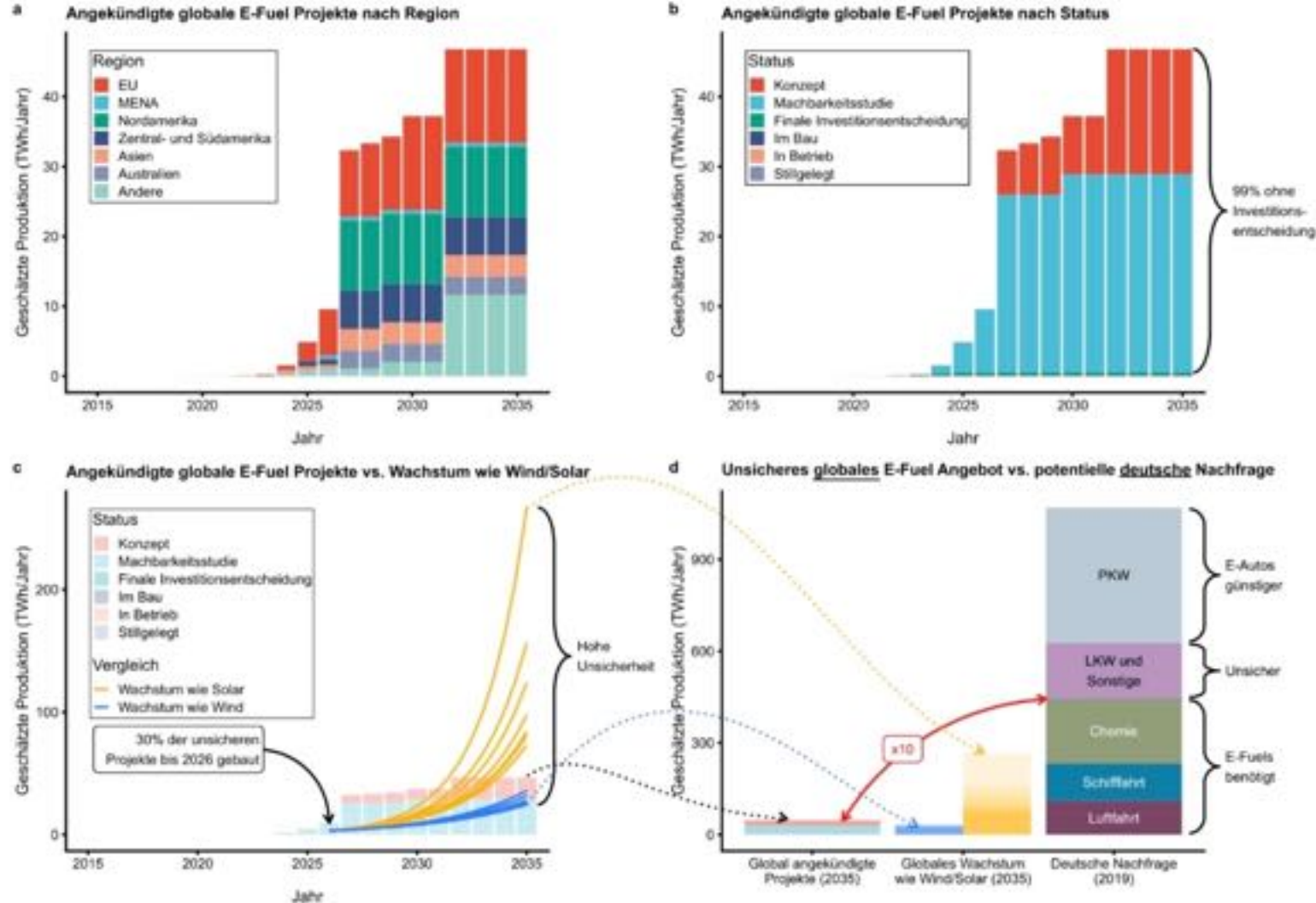
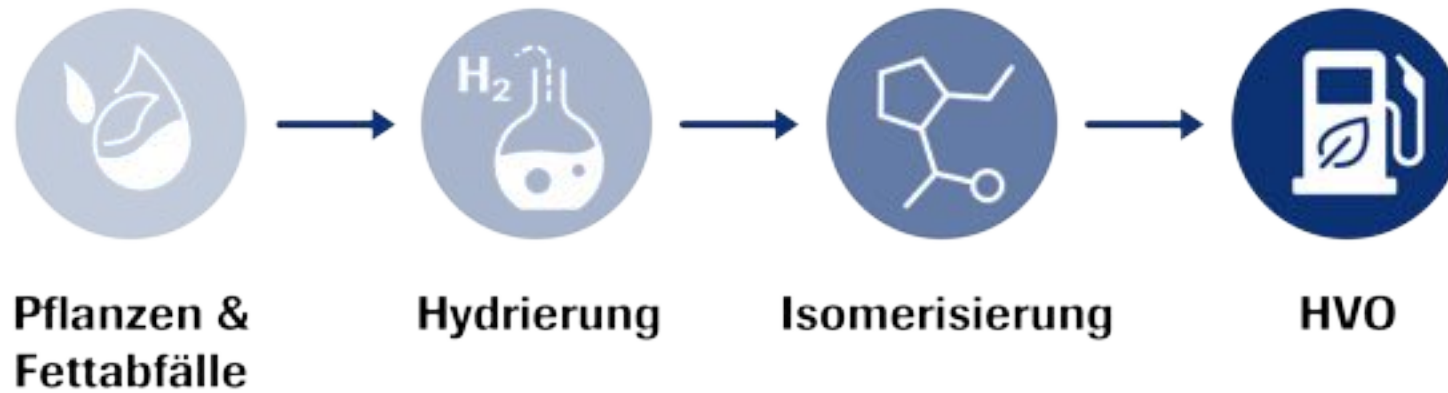


Abbildung 1: (a) global angekündigte E-Fuel-Projekte (flüssige strombasierte Kohlenwasserstoffe) nach Region und (b) nach Projektstatus. (c) Hochlaufszenerarien mit historischen Wachstumsraten⁵ von Windkraft und Solar-Photovoltaik. (d) Vergleich der globalen Ankündigungen und Hochlaufszenerarien (für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

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 CO₂ Reduktion von thermischen und chemischen Prozessen verwendet.

Nimmt man ihn dort weg und macht statt dessen HVO100 daraus, spart das kein CO₂.

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 CO₂.

360 PS



Bewegte Teile:
ca. 1300

Nicht gezeigt:

- Getriebe
- Transmission
- Tanksystem
- Auspuffanlage

560 PS



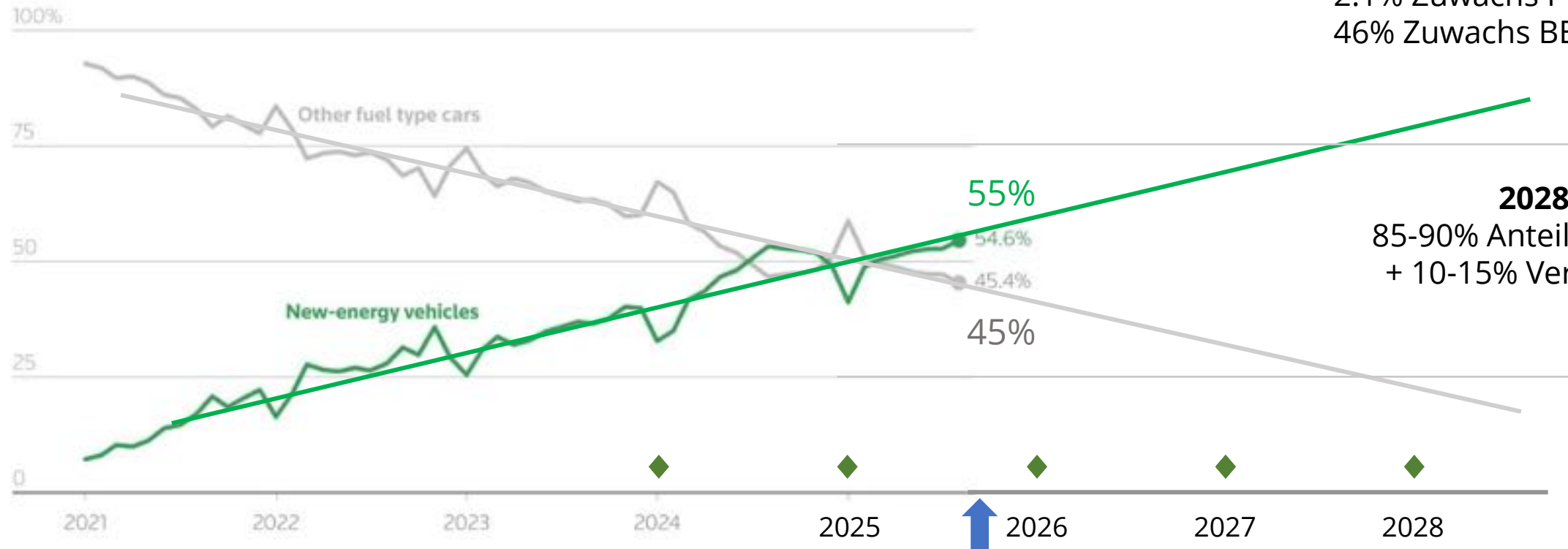
Bewegte Teile:
ca. 40

Nicht gezeigt:

- Batterie

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

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



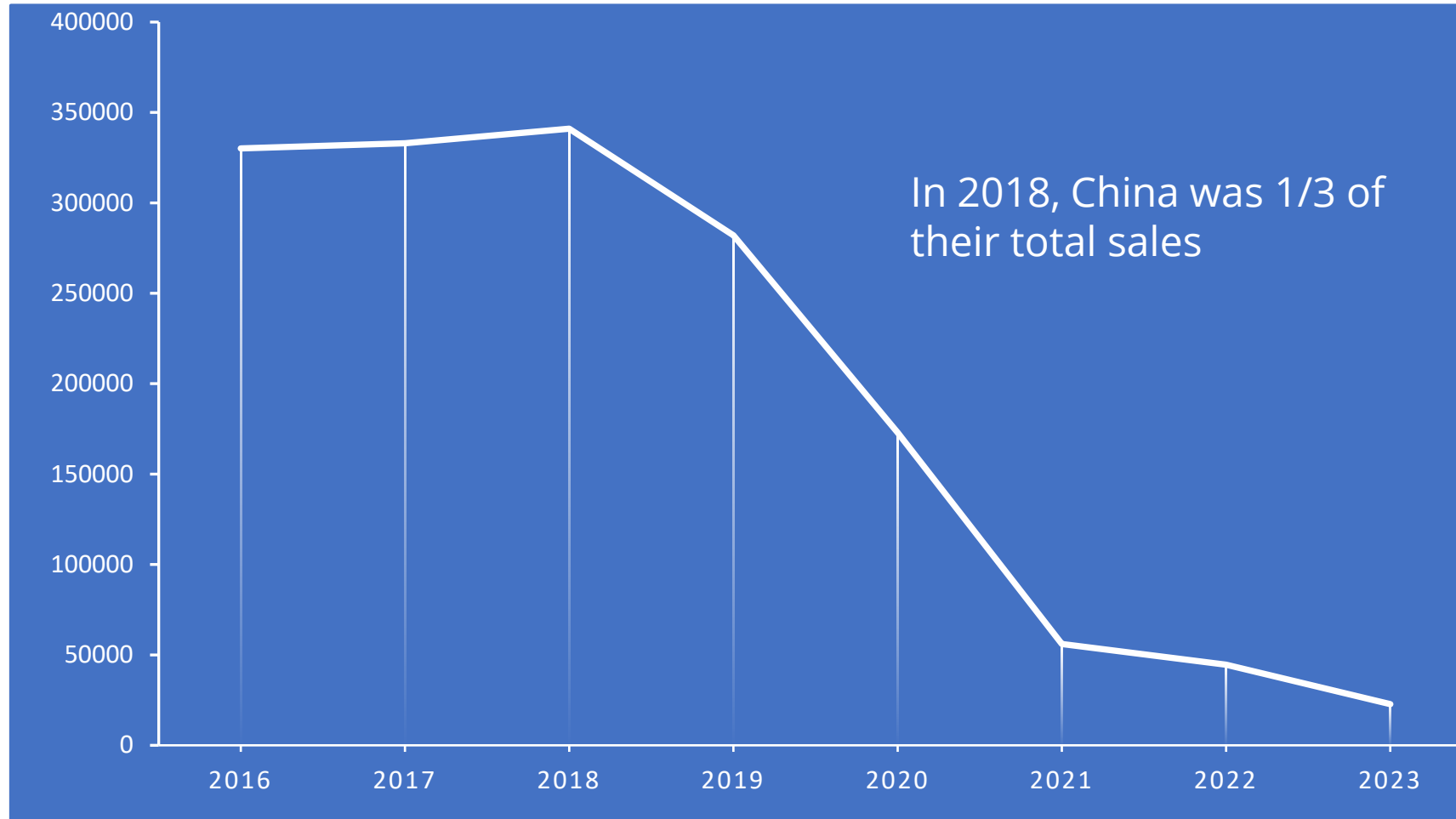
Letzte 12 Monate:
2.1% Zuwachs PHEV
46% Zuwachs BEV

2028:
85-90% Anteil E-Mobile
+ 10-15% Verbrenner

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

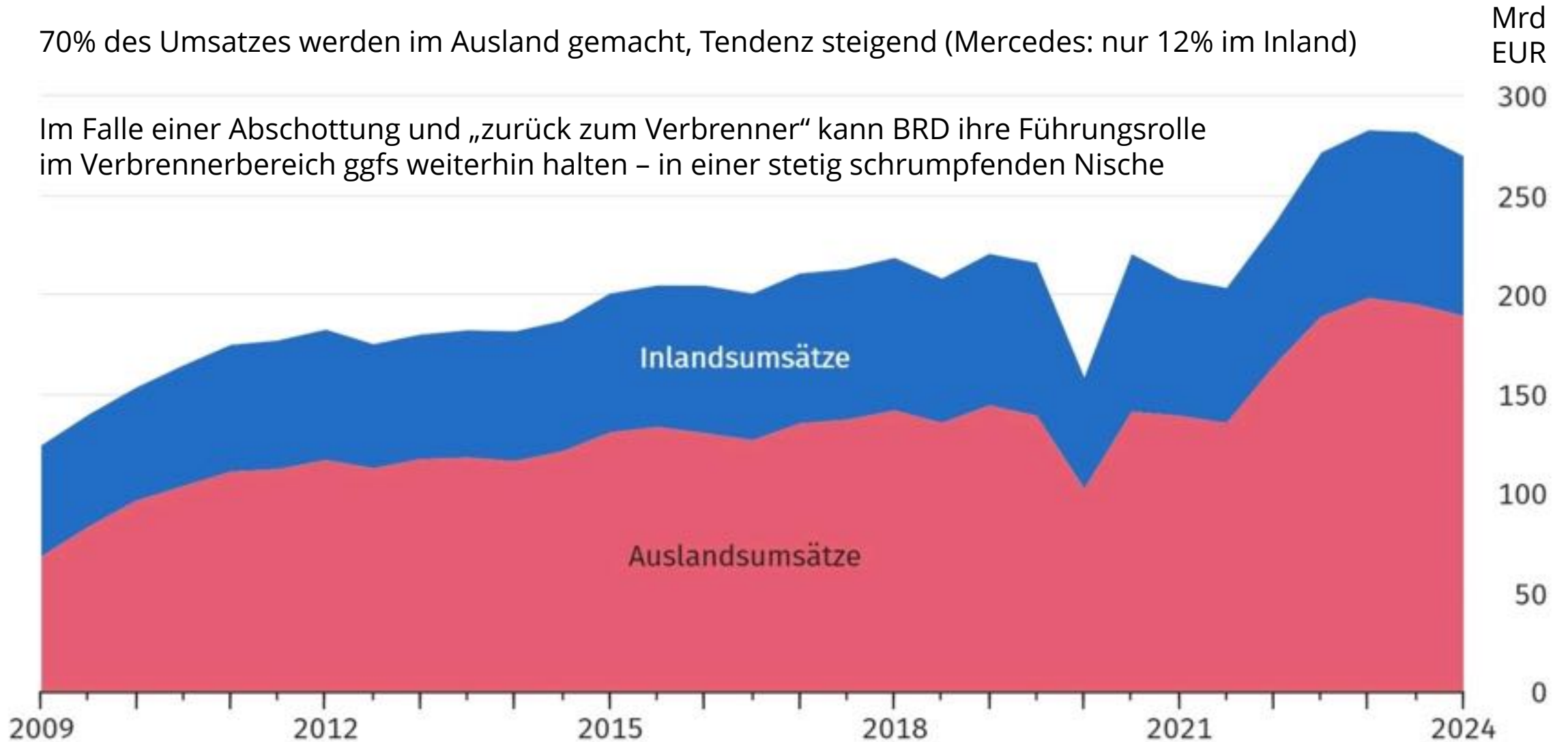
The line chart shows the share of new energy vehicle sales and sales of other fuel type cars in China. The sales share of new energy vehicles was the highest ever for any month in August 2025.

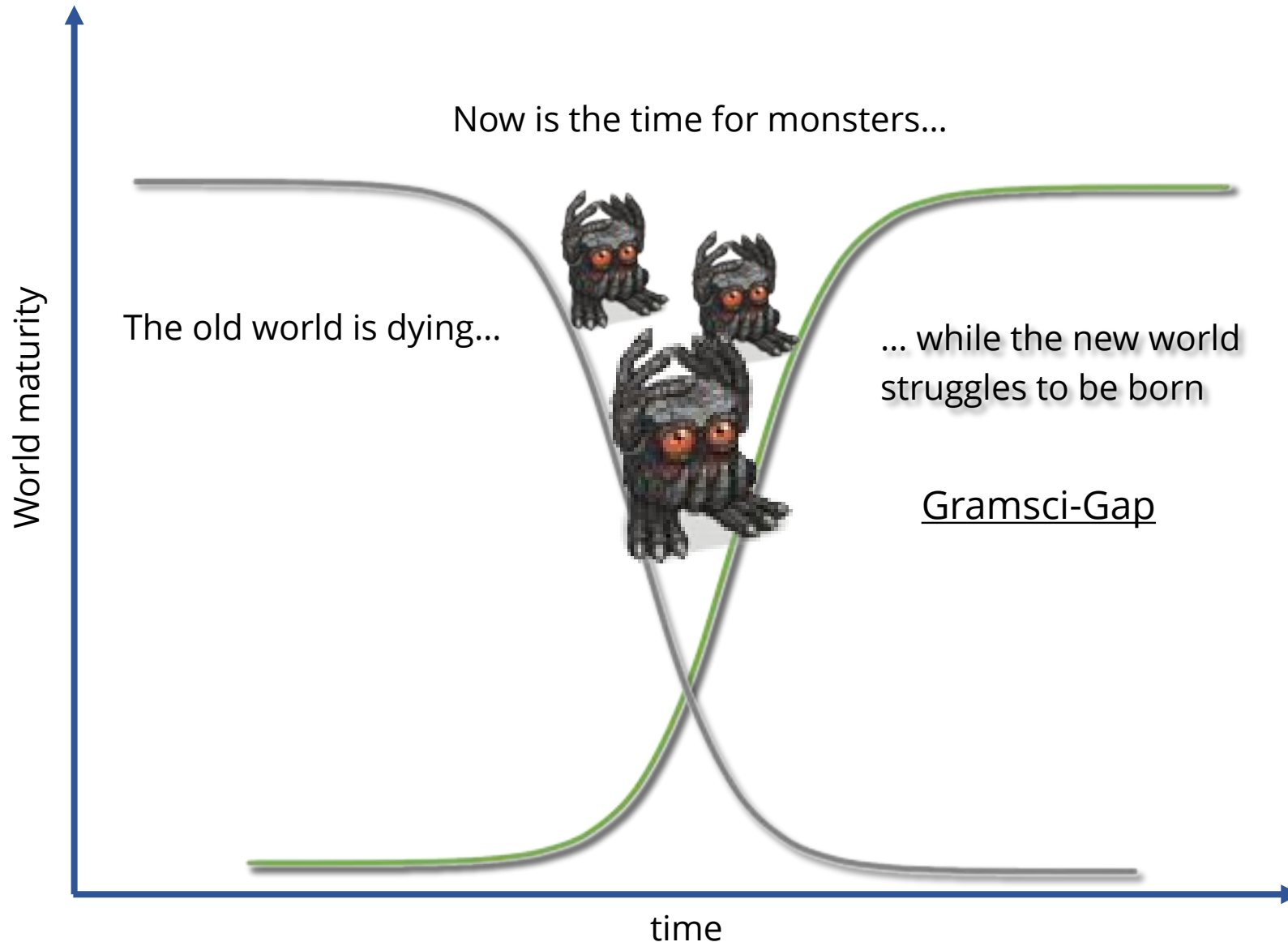
The beginning dusk of ICE cars



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 ggfs weiterhin halten – in einer stetig schrumpfenden Nische



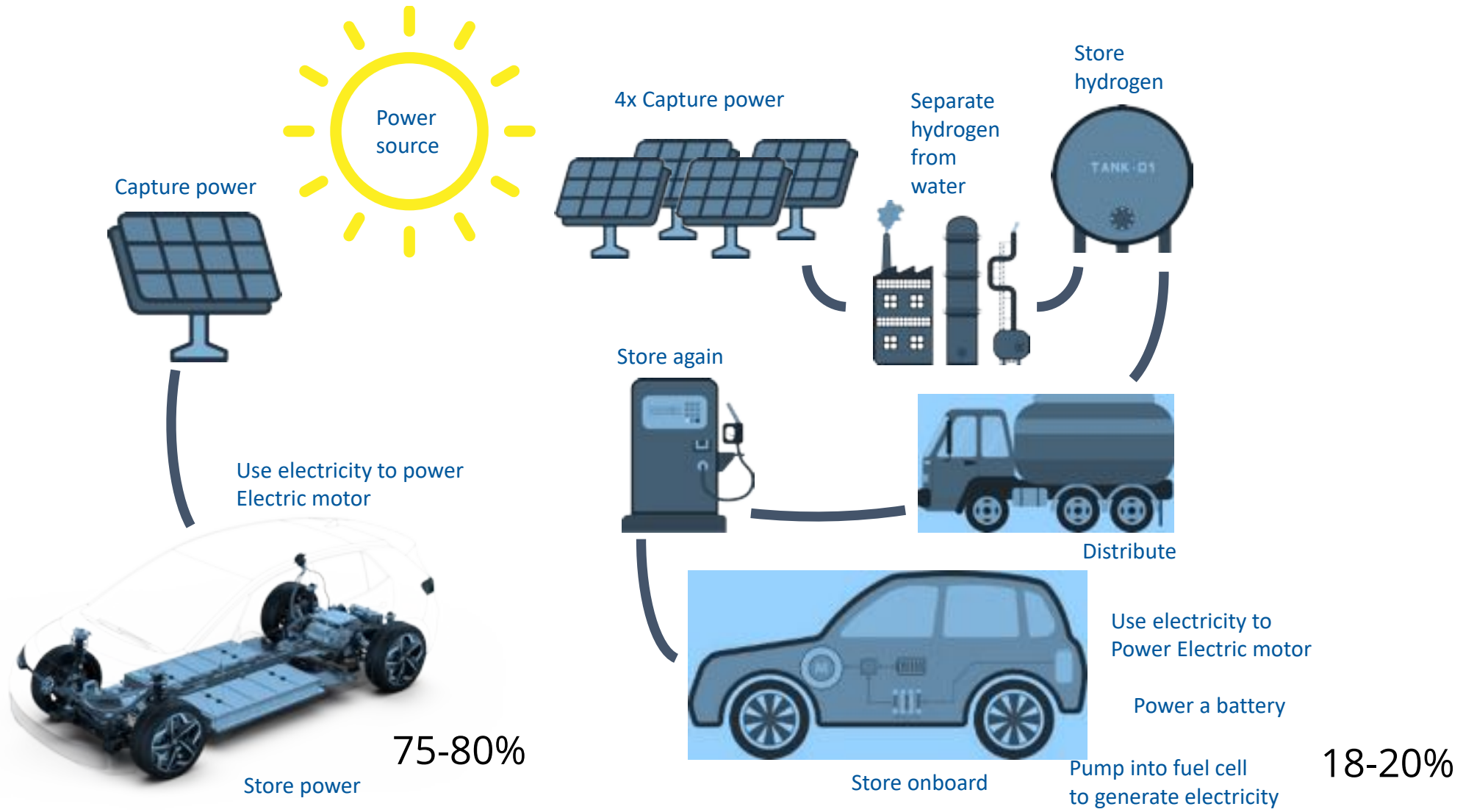


Soll z.B.

- 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



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

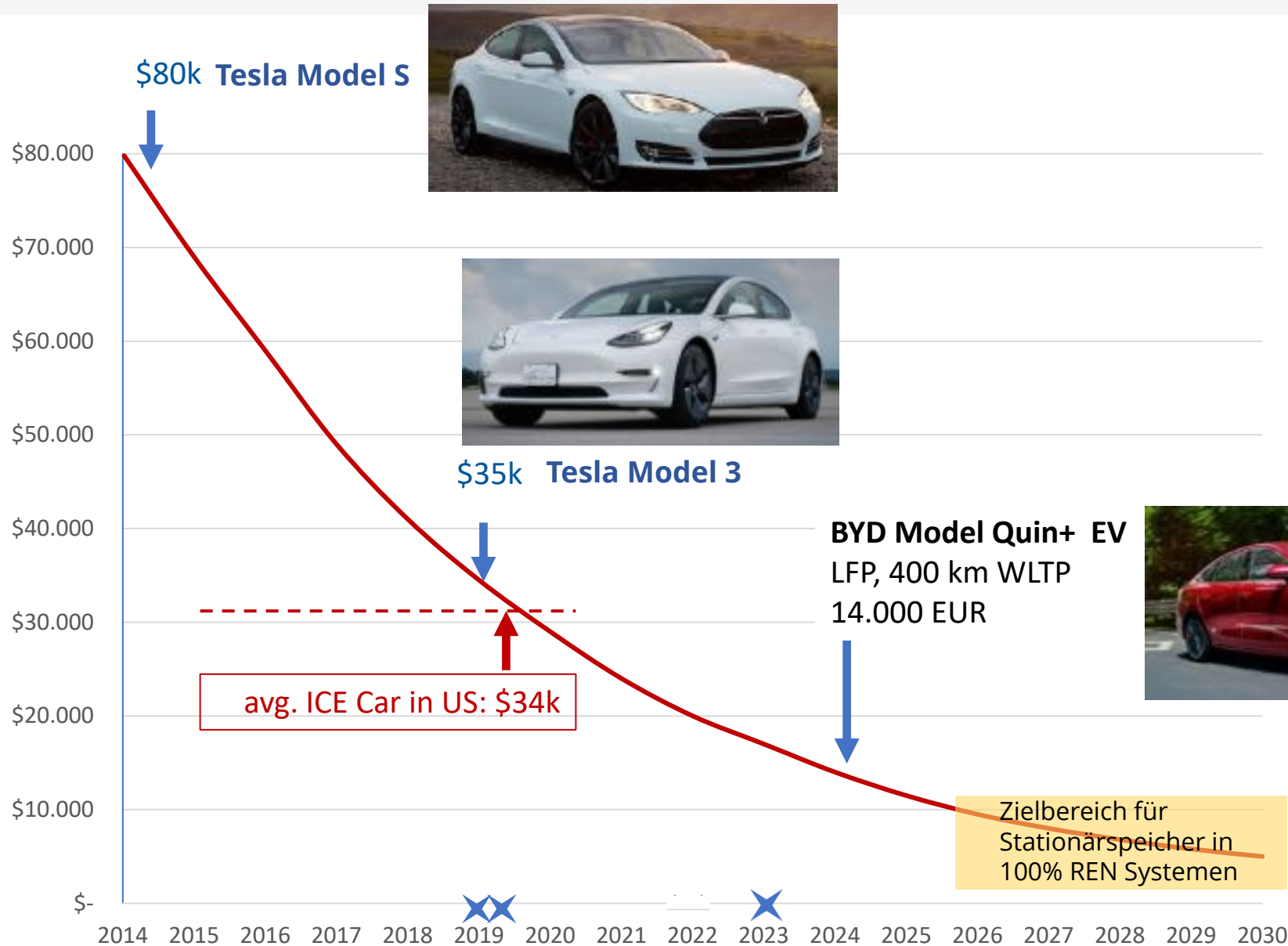
Energiequelle	Energieträger	Drive	lokal emissionfrei	1 Windrad versorgt... PKW mit 20.000 km / Jahr
 e.g. 1 wind turbine 3 Megawatt 3000 h/year	Strom	 Elektroauto mit Batterie (BEV)	ja	 1600 Fahrzeuge
	Wasserstoff	 Elektroauto mit Brennstoffzelle (FCEV)	ja	 600 Fahrzeuge
	eFuel	 Auto mit Verbrennungs- motor (ICE)	nein	 250 Fahrzeuge

Strom:
1600 PKW

Wasserstoff:
600 PKW

e-Fuel:
250 PKW

Kostenkurve für Batteriefahrzeuge mit 350-400 km Reichweite



Vergleich H₂ :

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
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

BYD 2024 欧洲市场合作伙伴

「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.



Aion UT Super

Gemeinschaftsprojekt von
JD.com, CATL, GAC

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

Preisdifferenz zu H₂-PKW: Faktor 10

Neue Batteriefahrzeuge für unter 30.000 EUR ab 2024 in Europa

<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>24.000 €</p>	<p>Citroën ë-C3</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

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 ultralanglebige 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

H₂ für Schwerlast

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

Derzeit: in BRD 16,05 -17,75²⁾ EUR/ kg H₂ („Grauer“ H₂)

→ Faktor 1/4 (1/6) für Grünen H₂ 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 H₂/100 km³⁾

→ **1,40 EUR/km** in D (ohne Steuer)



40-ton BEV Truck: 90 kWh/100 km⁴⁾

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

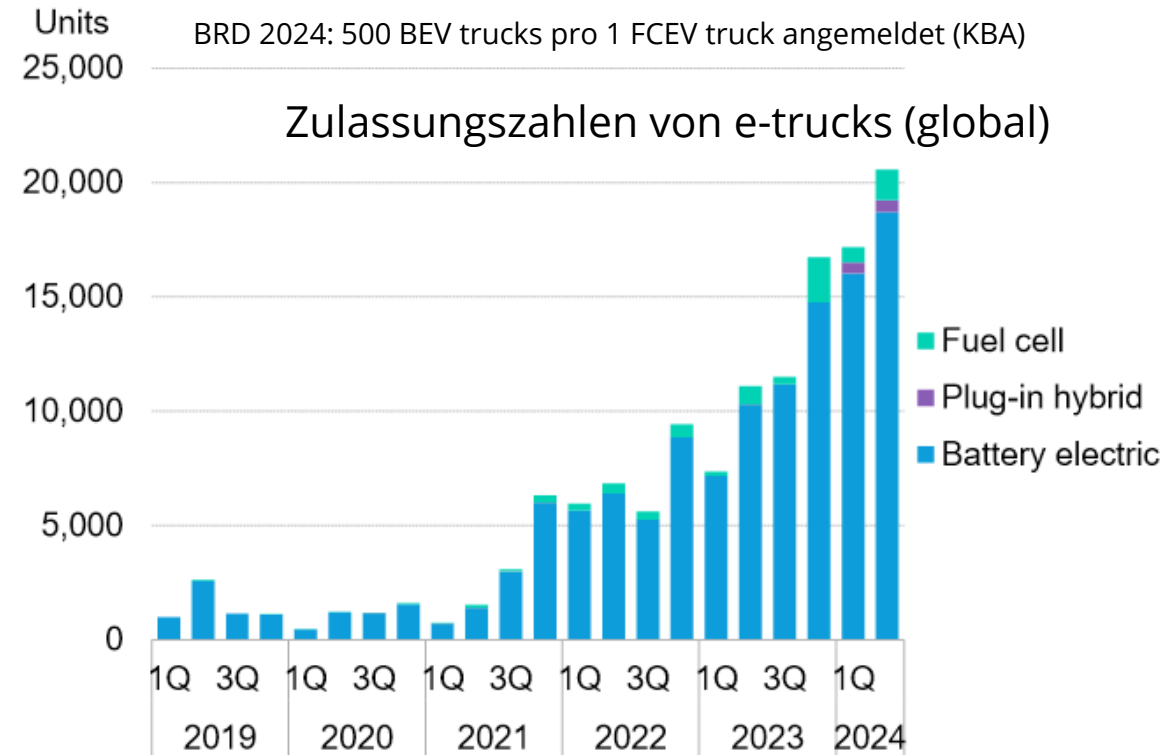


¹⁾ P3 Automotive, 2023

²⁾ <https://h2.live/>

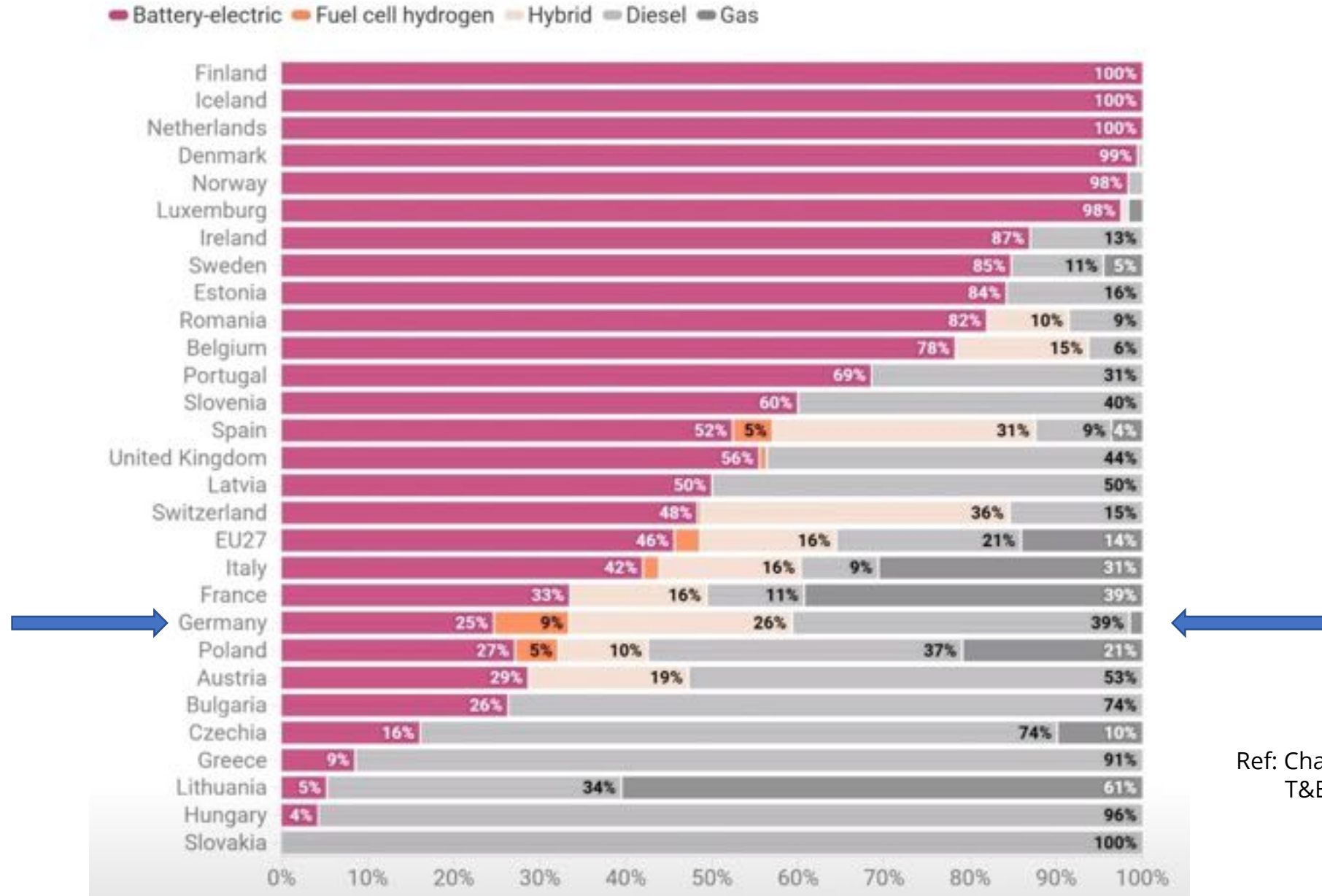
³⁾ NIKOLA, 2023

⁴⁾ DAIMLER E-Actros 600, lt. ADAC, 5.9.2024



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

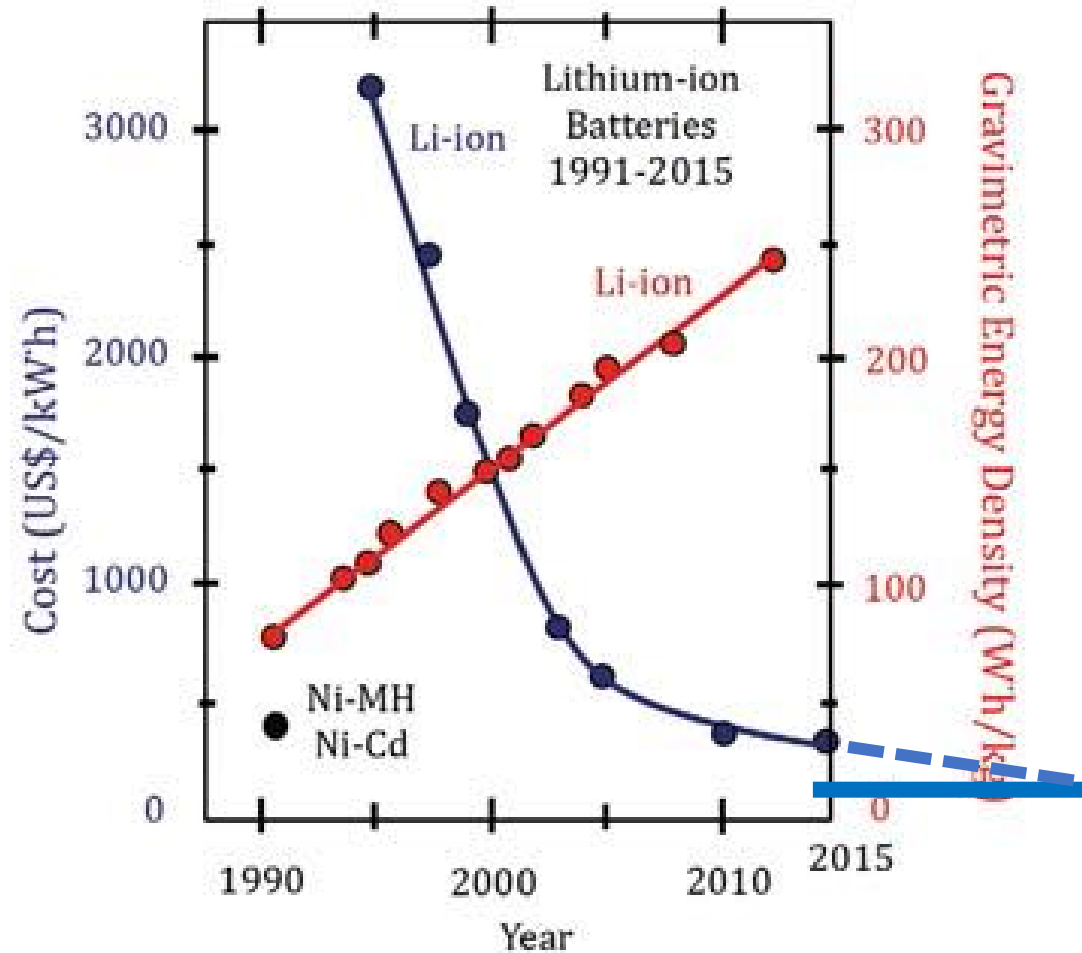
Neuzulassungen von Stadtbussen 2024



Ref: Chatrou CME Solutions (2024)
T&E

Aktuelle Entwicklungen

Wie geht es weiter?

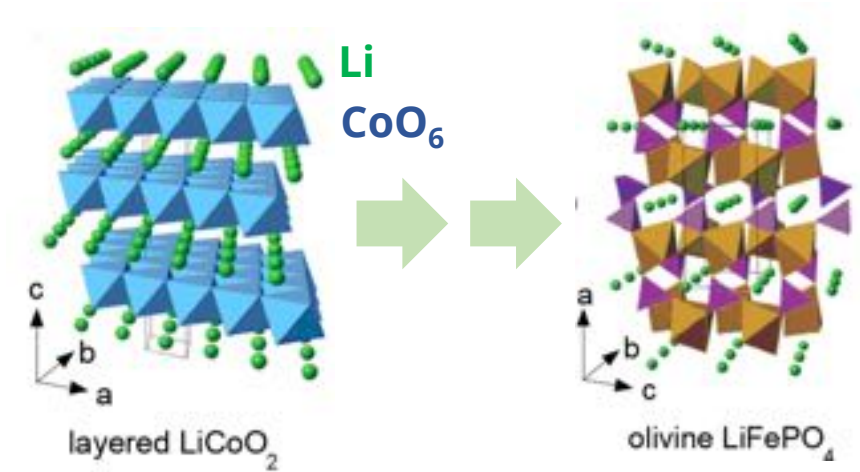
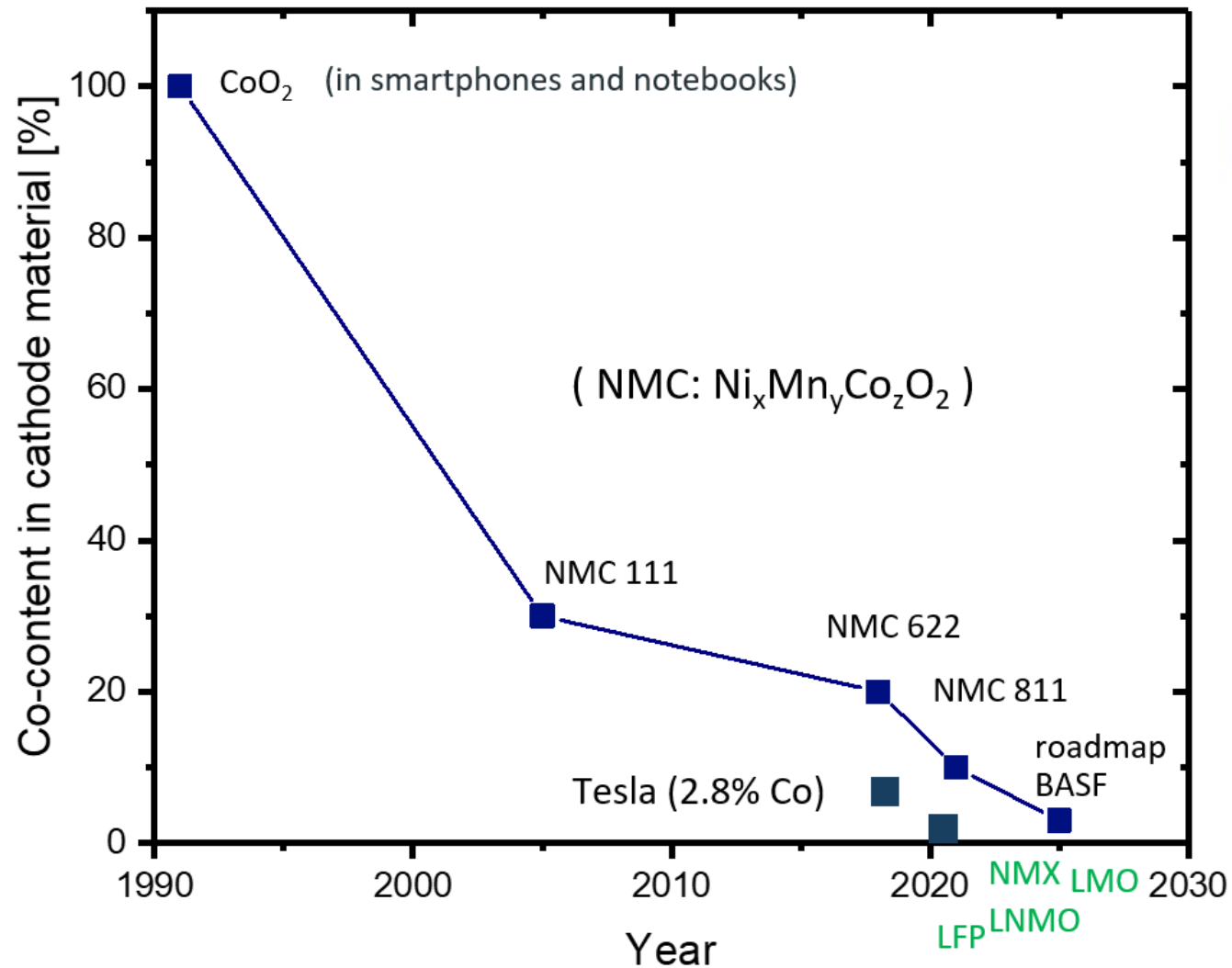


Seit der Markteinführung:
Energiedichte: x4
Kosten ÷ 40

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

Kostenziel
für 2024

Cathode: Kobalt-Gehalt im Pluspol von Batterien.



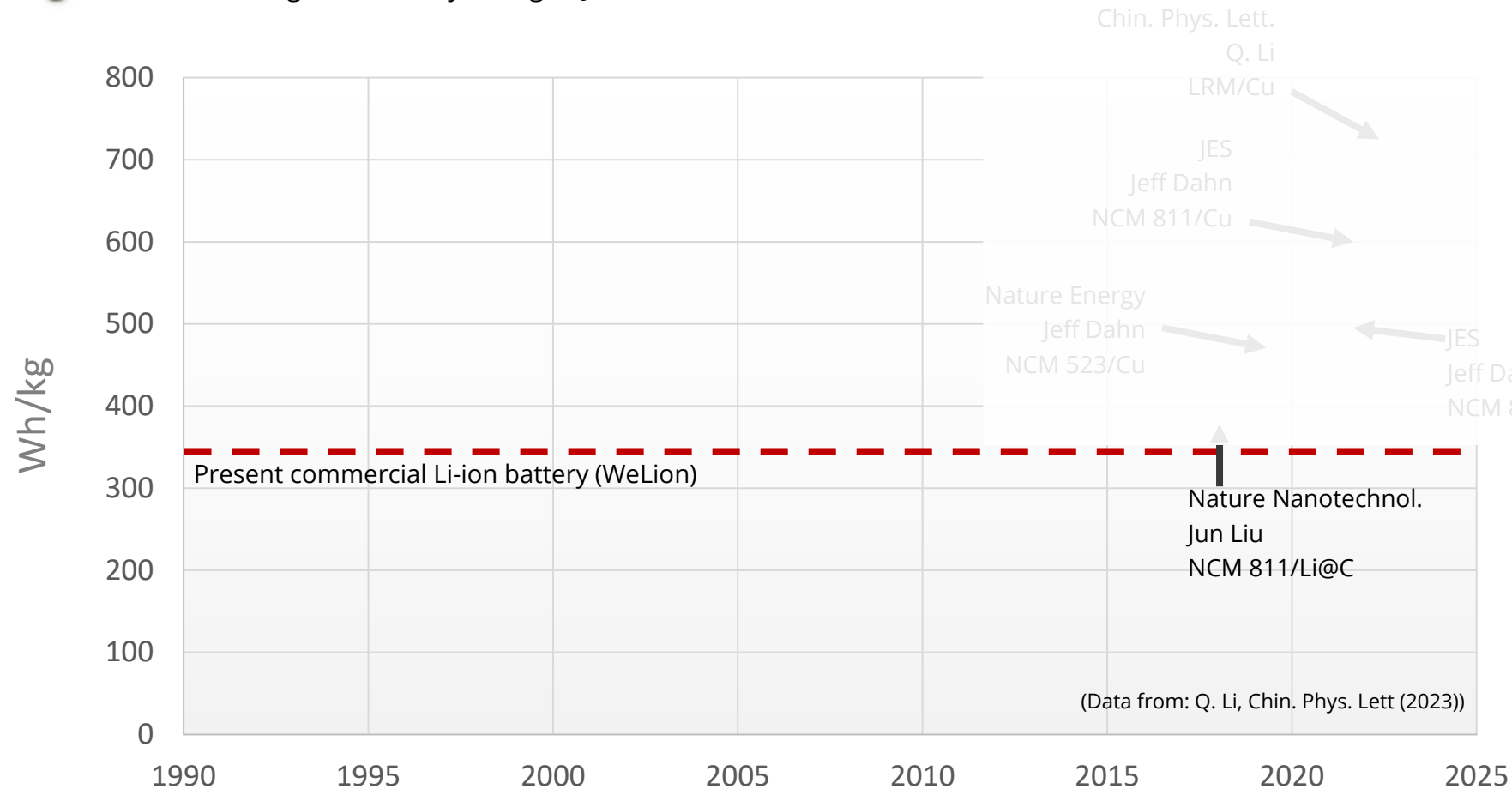
LFP: LiFePO_4
 NMX: $\text{LiNi}_{3/4}\text{Mn}_{1/4}\text{O}_2$
 LMO: LiMnO_2

(Materials
with 0% cobalt)

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

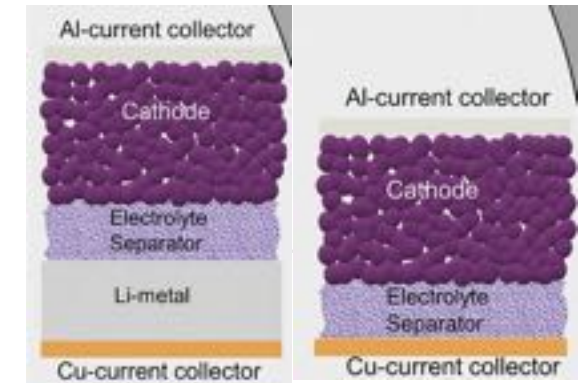


Höchste Energiedichte im jeweiligen Jahr



LMBs:
< 300 Wh/kg

AFLMBs:
< 300-500 Wh/kg



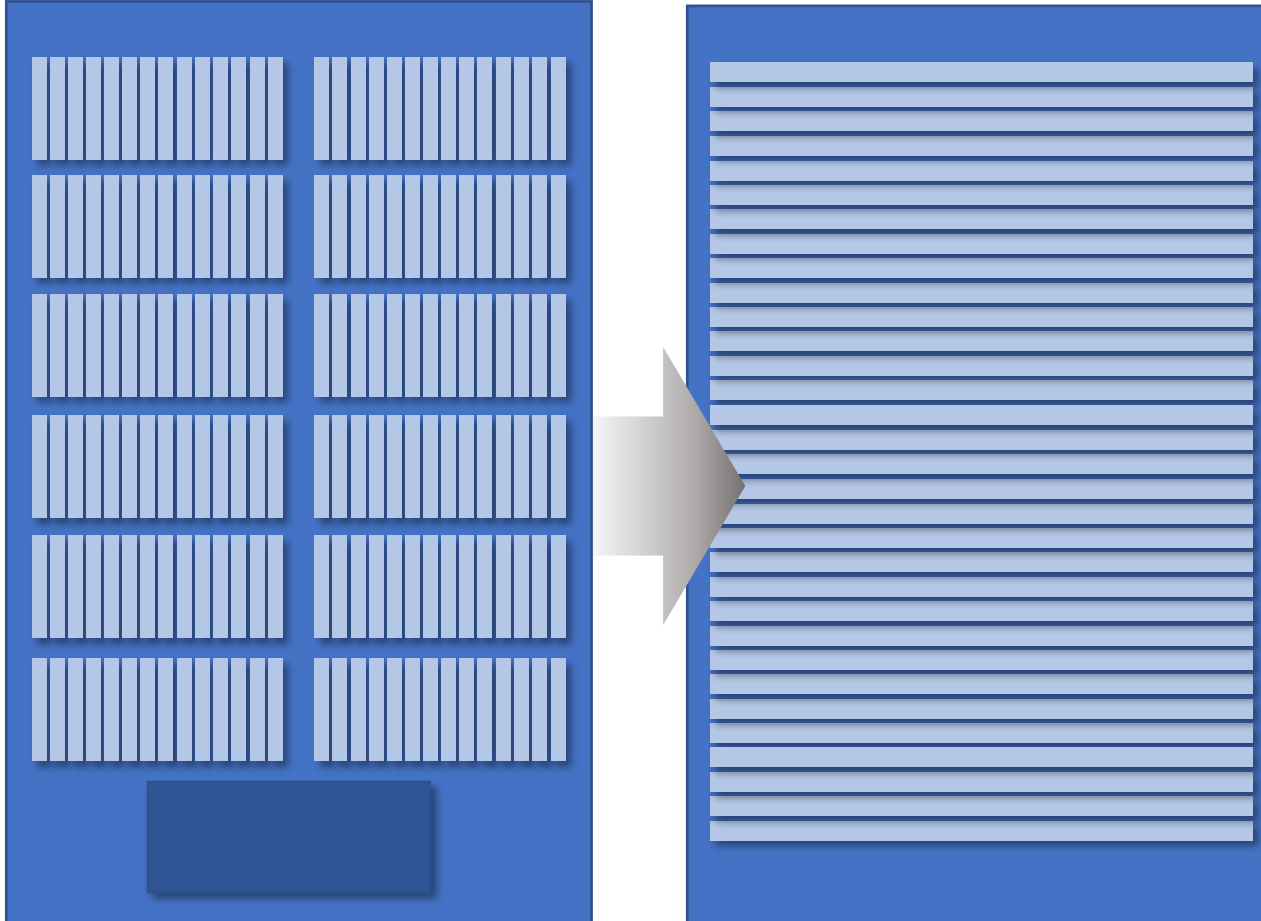
P. Molaiyan *et al.*,
Adv. Func. Mater. 34 (2024)

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_4 → 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.



BYD Model Han-L (2025)



GEELY:

Lithium-eisenphosphat Akku (LFP)

3500 Zyklen

„50 Jahre Lebensdauer“ bei 20.000 km/a

„Short Blade“ Batterie



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

