

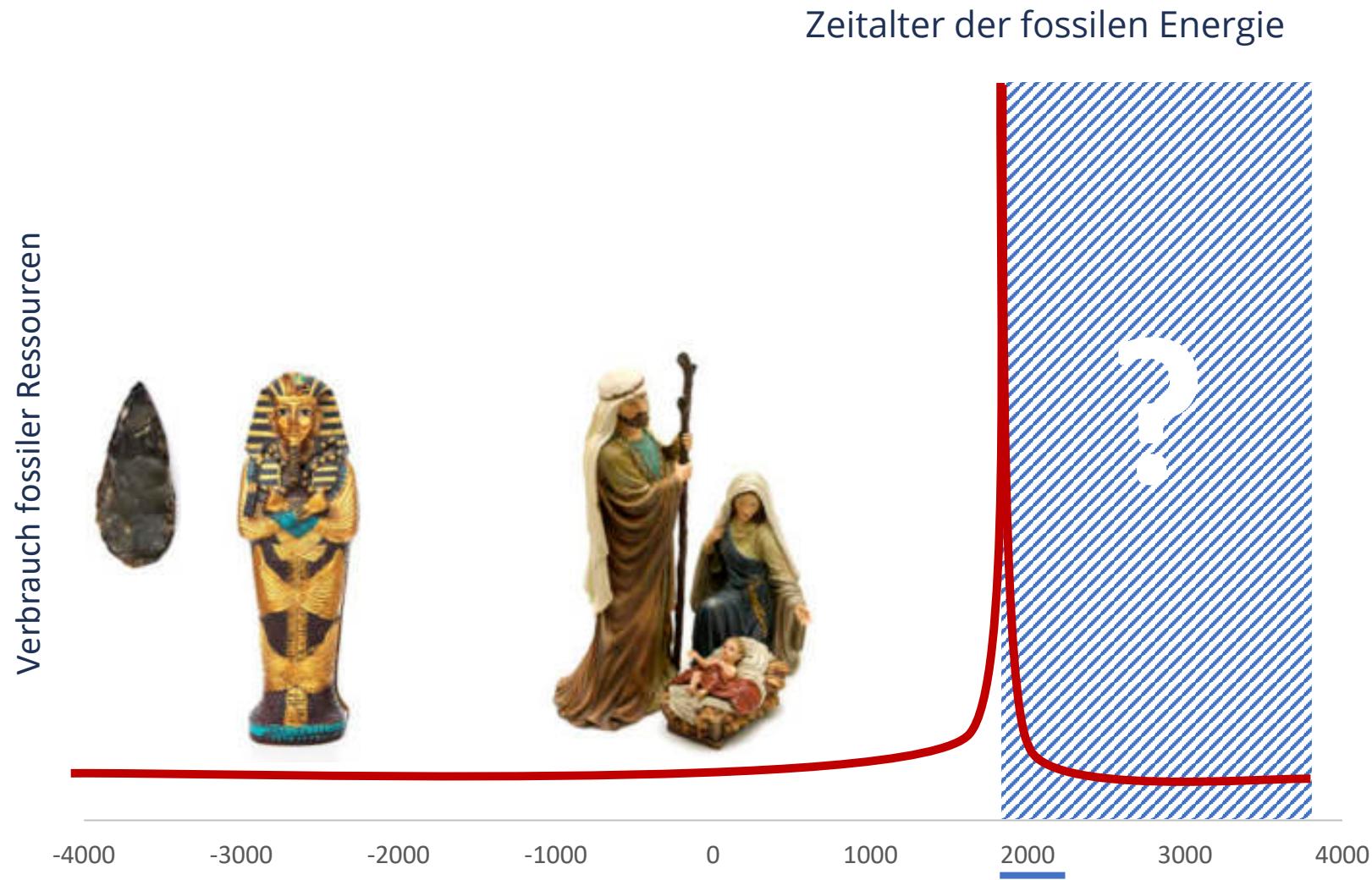
Maximilian Fichtner

Energiespeicherung im postfossilen Zeitalter

ABSI Jahrestagung
Wildpoldsried
07.03.2025

HIU HELMHOLTZ
INSTITUTE
ULM
Electrochemical Energy Storage

Verbrauch fossiler Energieträger auf historischer Zeitskala...



IAEA und Nuclear Energy Agency

Uranpreis (U_3O_8): derzeit 80 USD/lb (454 g)

Uranressourcen:

2,1 Mio t (World Energy Council, 2022)

Uranverbrauch:

60.000 t/Jahr

→ **Uran-Ressourcen für 35+ Jahre verfügbar**



<https://www.asso-sherpa.org/health-of-uranium-miners-at-areva-sites-in-gabon-and-niger>

Mittlere Laufzeit eines AKW

43 Jahre

- es gehen immer mehr AKW altersbedingt vom Netz.
- AKW Anteil im Strommix global: von 17% (2000) auf 9% (2022) gesunken.
- es würden **bis 2050 270 neue Reaktoren gebraucht**, nur um den gegenwärtigen Anteil von Kernkraft zu halten.
- das entspricht 11 neuen Reaktoren pro Jahr! (2024: 6 neue AKW)

Frankreich: Rechnungshof für sofortigen Stopp aller Atomkraftprojekte

Wenn die französische Regierung ihrer Energiepolitik wirtschaftliche Überlegungen zugrunde legt, dürfte es vorbei sein mit der Atom-Nation. Der Rechnungshof hat sich bereits dafür ausgesprochen, alle Kernkraftprojekte zu stoppen.



Christian Kahle, 16.01.2025 15:55 Uhr

Stromkosten

Strompreis aus neuem AKW Hinckley Point C in Großbritannien:
ca. 14,8 Cent/kWh.

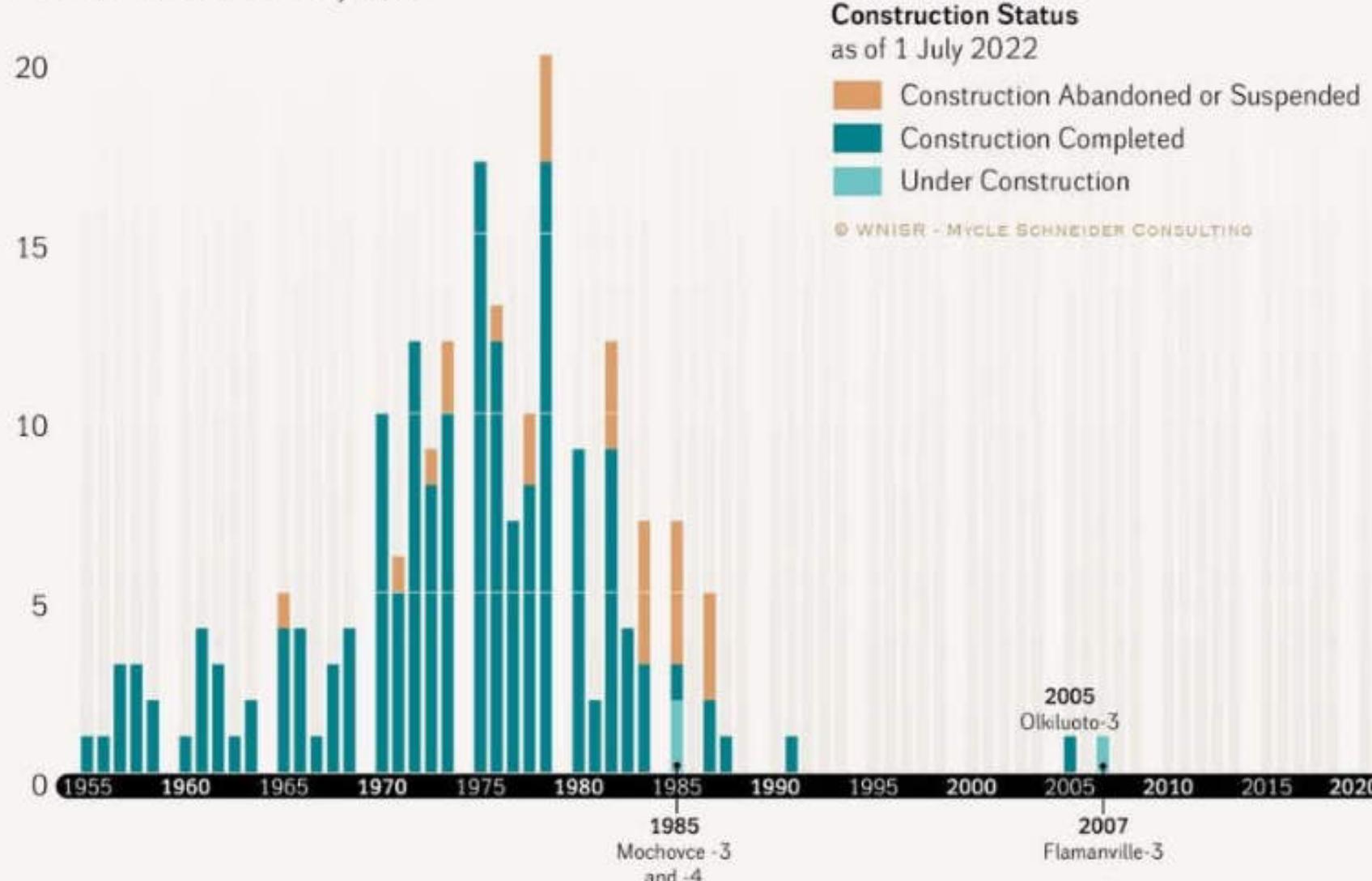
Dagegen baseload Preis am Markt: 6,2 Cent/kWh

- ca. **8 Cent/kWh Subvention** über die gesamte Laufzeit
- In Summe ca. 100 Mrd GBP Subvention

<https://eandt.theiet.org/2024/01/31/uk-set-refuse-request-hinkley-c-loan-guarantees>

Construction Starts of Nuclear Reactors in the EU27

in Units, from 1955 to 1 July 2022



Speicherung von Erneuerbarer Energie

(i2.wp.com)



stationary / home



(www.bauen.de)

portable



(www.hp.com)

mobile



(www.mungali.com)

Treibhausgasemissionen verschiedener Antriebe / Lebenszyklus-Analysen

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

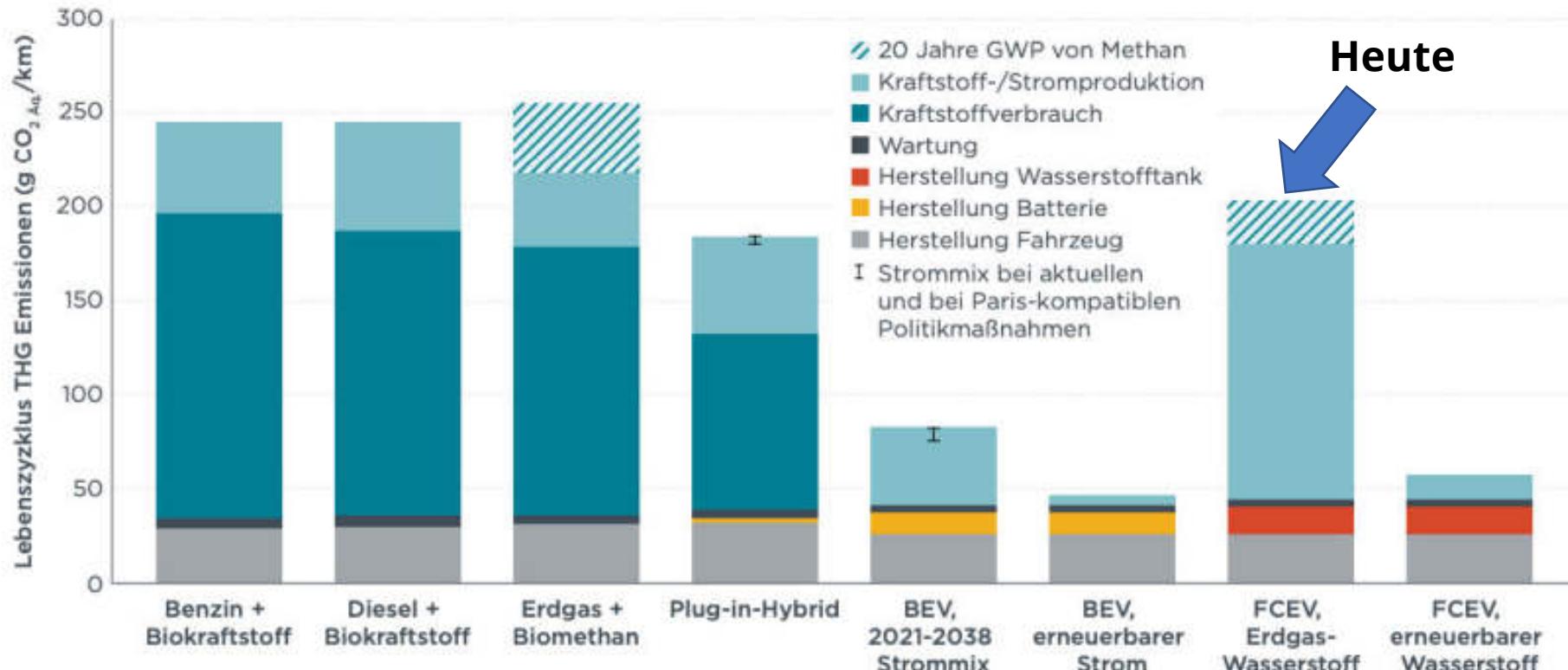


Abbildung 1. Lebenszyklus-Treibhausgas (THG)-Emissionen von durchschnittlichen neuen Benzin-, Diesel- und Erdgasfahrzeugen, Plug-in-Hybrid-Elektrofahrzeugen, Batterie-Elektrofahrzeugen (BEV) und Brennstoffzellen-Elektrofahrzeugen (FCEV) in der Kompaktklasse, die 2021 in Europa zugelassen werden. Die 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

Treibhausgasemission bei Batterieproduktion und Strommix

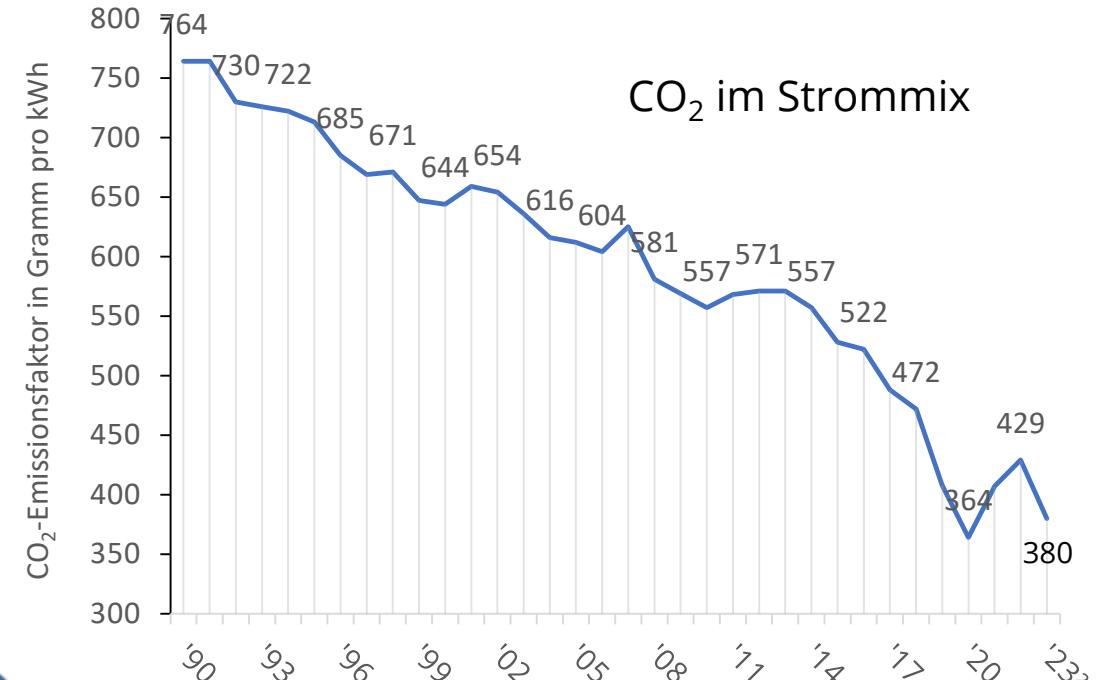
Carbon dioxide footprint
of battery production



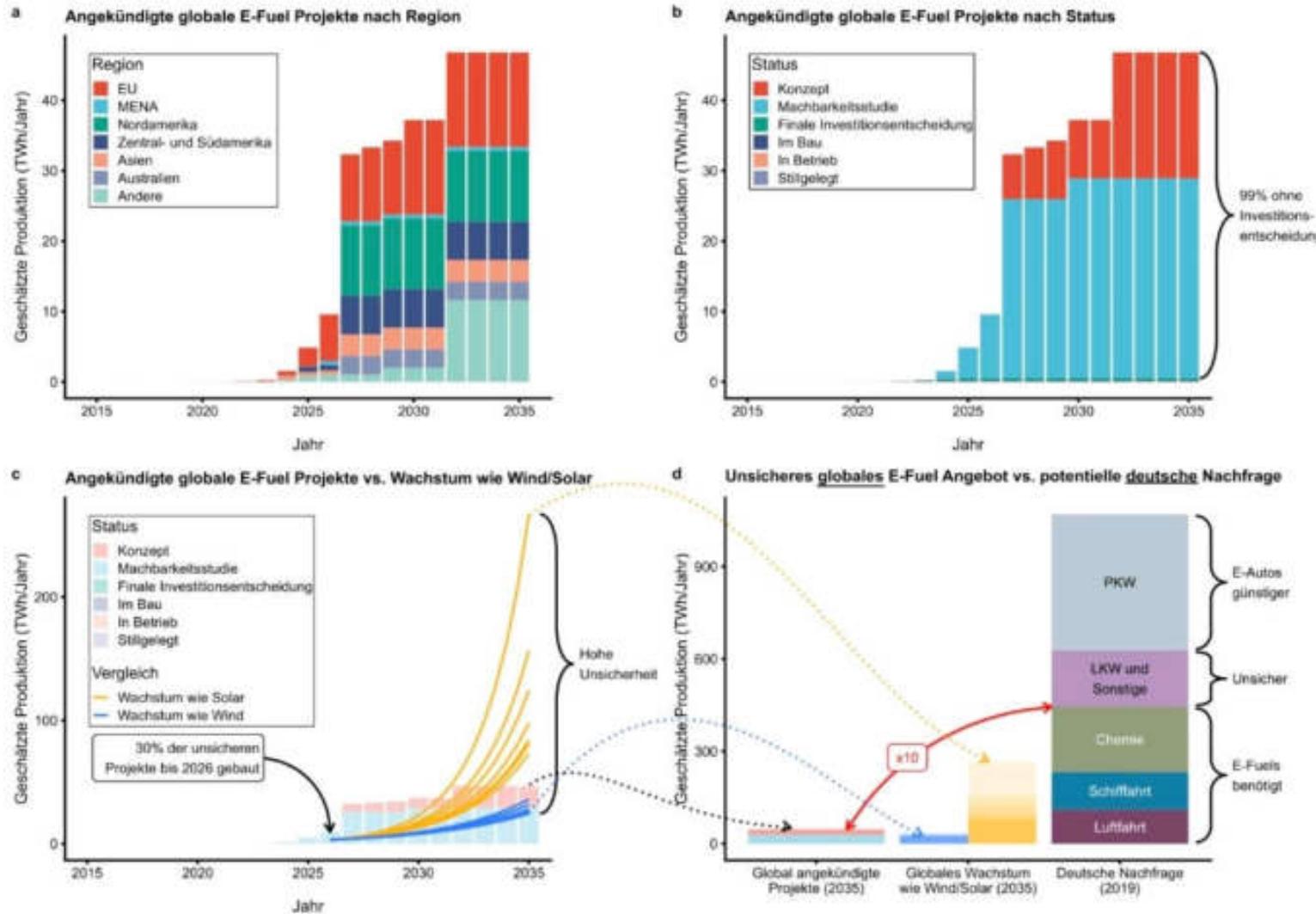
EU 2020:
100-150 kg CO₂ / kWh

Northvolt aktuell:
30 kg CO₂ / kWh

geplant 2025:
10 kg CO₂ / kWh



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) Hochlaufzonen mit historischen Wachstumsraten⁵ von Windkraft und Solar-Photovoltaik. (d) Vergleich der globalen Ankündigungen und Hochlaufzonen (für 2035) mit dem Bedarf Deutschlands⁶ an flüssigen Kohlenwasserstoffen (2019). Daten: IEA, AG Energiebilanzen, Destatis.

360 PS



Nicht gezeigt:

- Getriebe
- Transmission
- Tanksystem
- Auspuffanlage

Bewegte Teile:
ca. 1300

560 PS

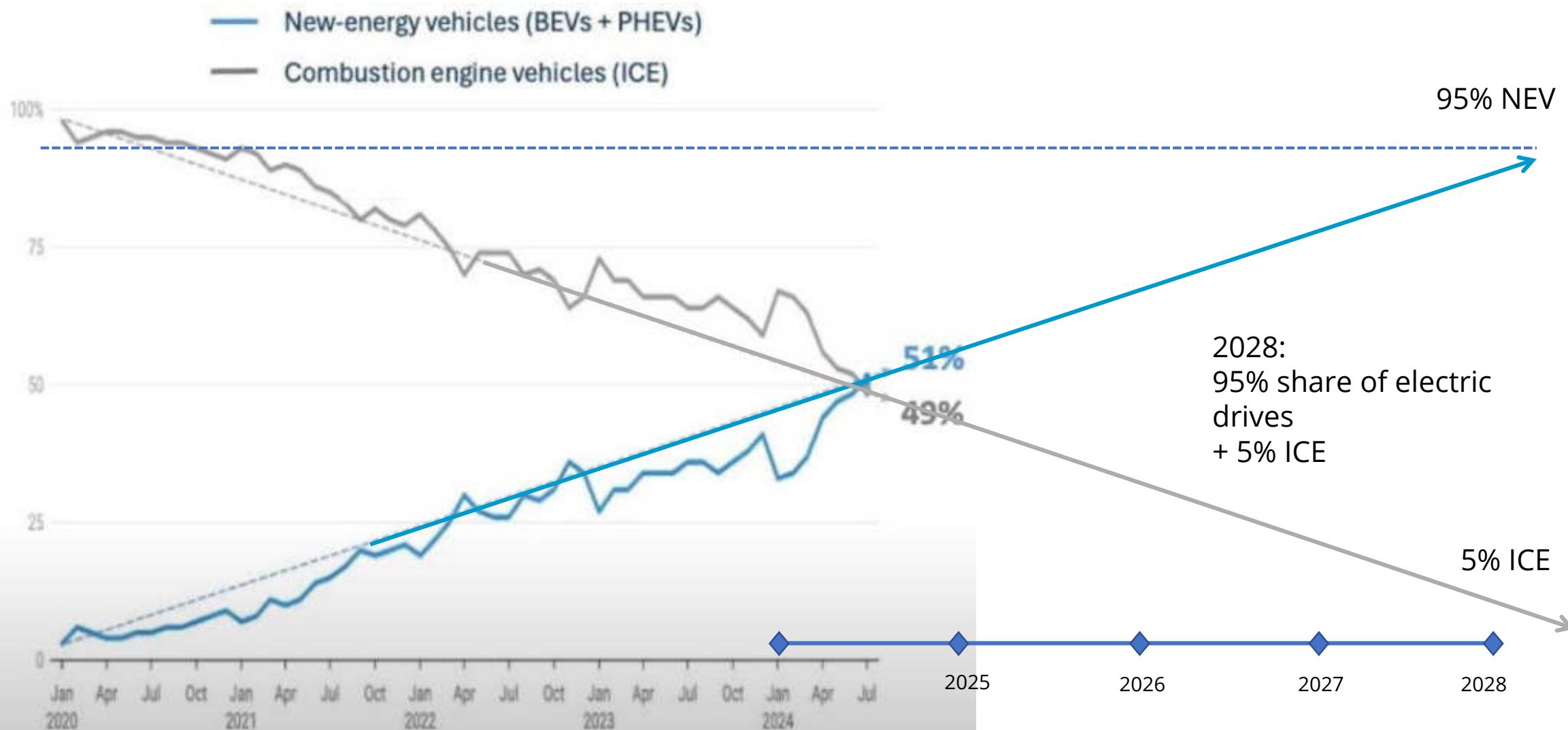


Bewegte Teile:
ca. 40

Nicht gezeigt:

- Batterie
- Leistungselektronik

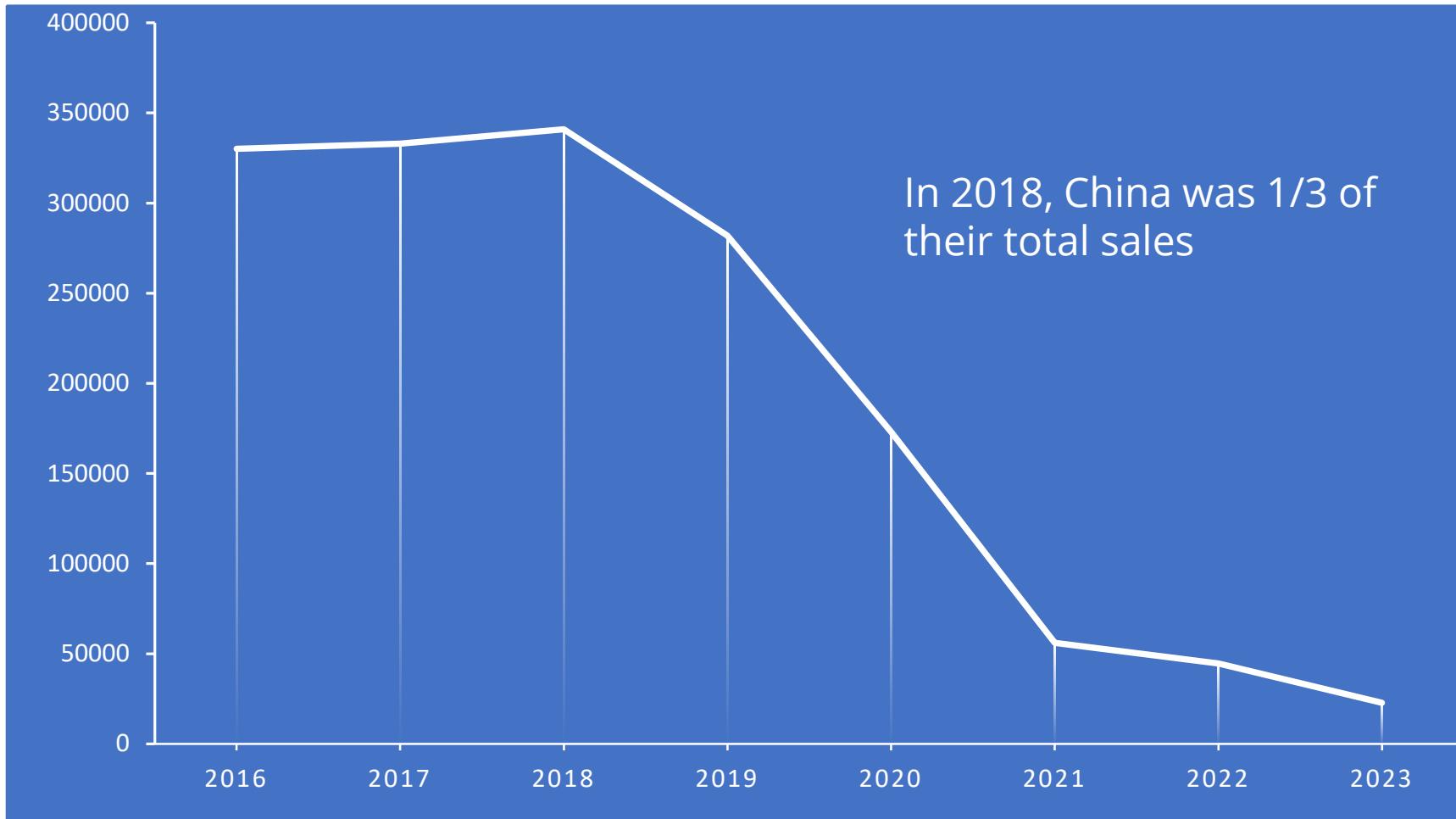
Anteil Elektro-PKW am Gesamt-PKW-Verkauf in China



Data source: China Passenger Car Association
Chart: Carbon Brief

Verkauf von Verbrennern (SKODA) 2016 – 2023 in China

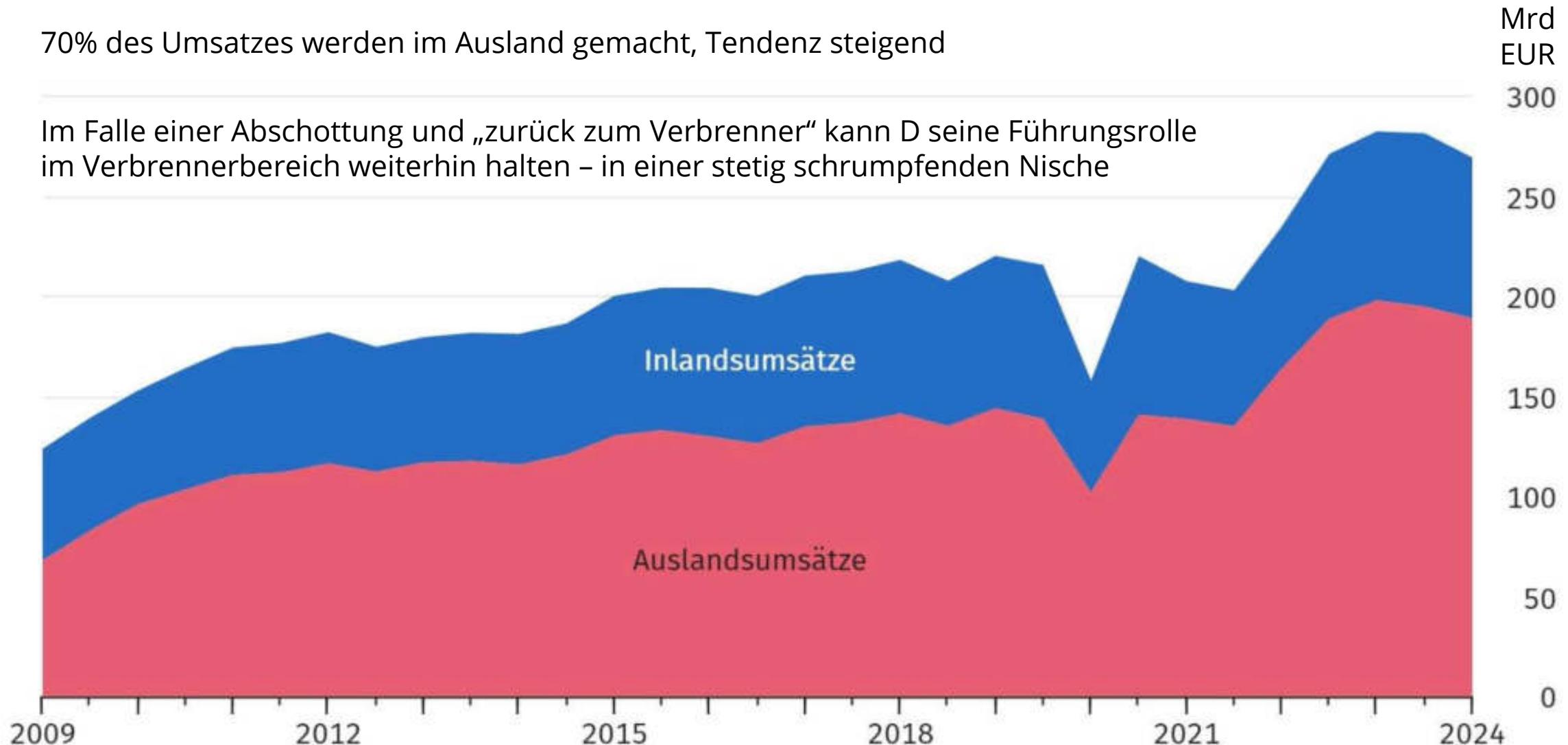
The beginning dusk of ICE cars



Umsätze der Automobilindustrie

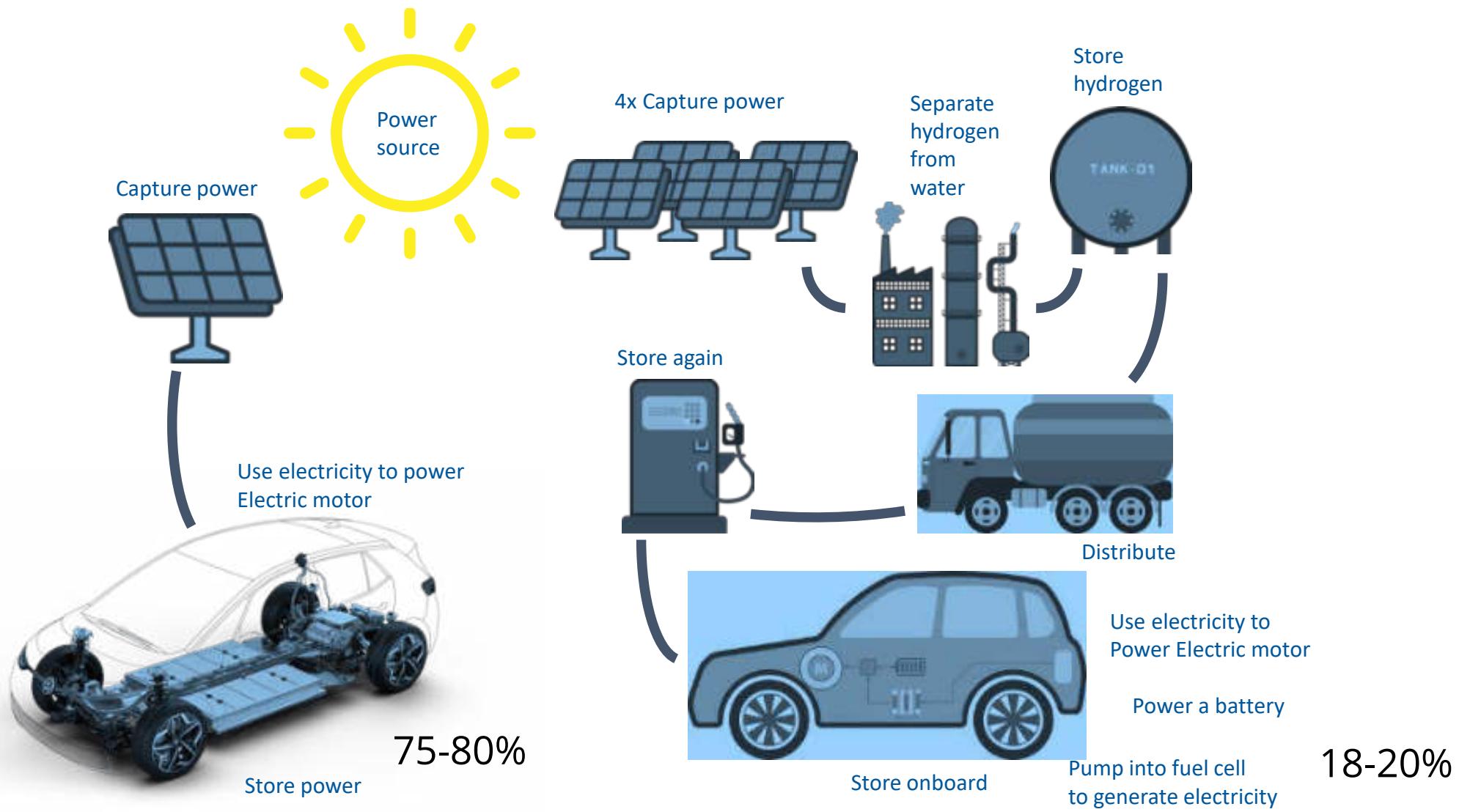
70% des Umsatzes werden im Ausland gemacht, Tendenz steigend

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



Batterieelektrischer Antrieb

H₂ Antrieb mit Brennstoffzelle

Antriebsarten im Vergleich / Energiebedarf

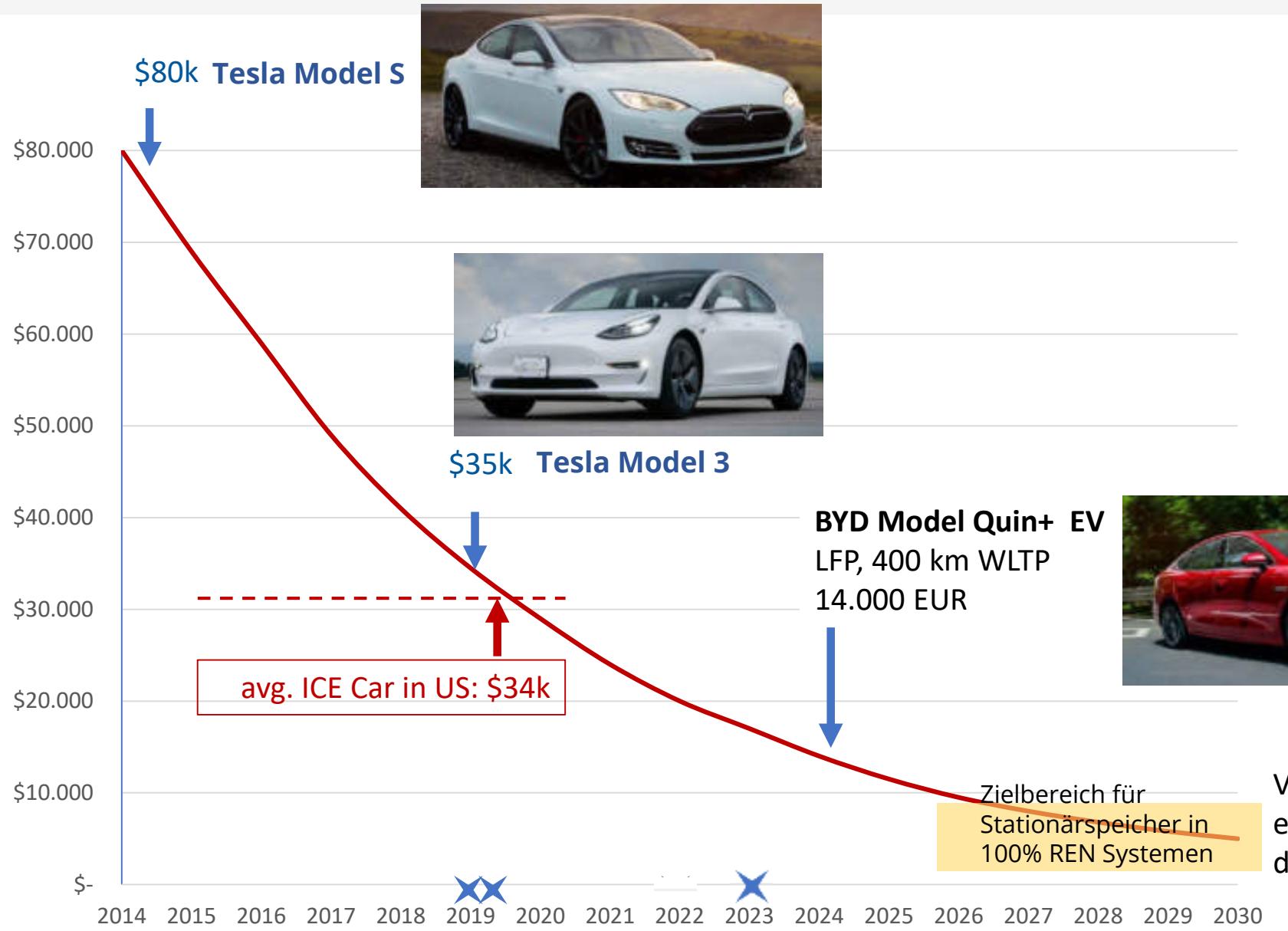
Energiequelle	Energieträger	Drive	lokal emissionfrei	1 Windrad versorgt...
3 MW 2000 h/a	Strom e.g. 1 wind turbine	 Elektroauto mit Batterie (BEV)	ja	 1600 Fahrzeuge
3 Megawatt 2000 h/year	Wasserstoff	 Elektroauto mit Brennstoffzelle (FCEV)	ja	 600 Fahrzeuge
Ref: VDE	eFuel	 Auto mit Verbrennungs- motor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

Verbrauchskosten:
ca. 20 EUR/100 km in D,
ca. 30 EUR/100 km in A

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



BYD

BYD
2024 混动冠军系列

「电比油低」
7.98万元起

10200 EUR



秦 PLUS | 驭逐舰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

**VINFAST
VF 6**



27.220 € **OMODA 5**



22.000 €



**Ford
Puma EV**



25.000 €



**Skoda
Elroq**



32.900 €

**Citroën
ë-C3**



24.000 €

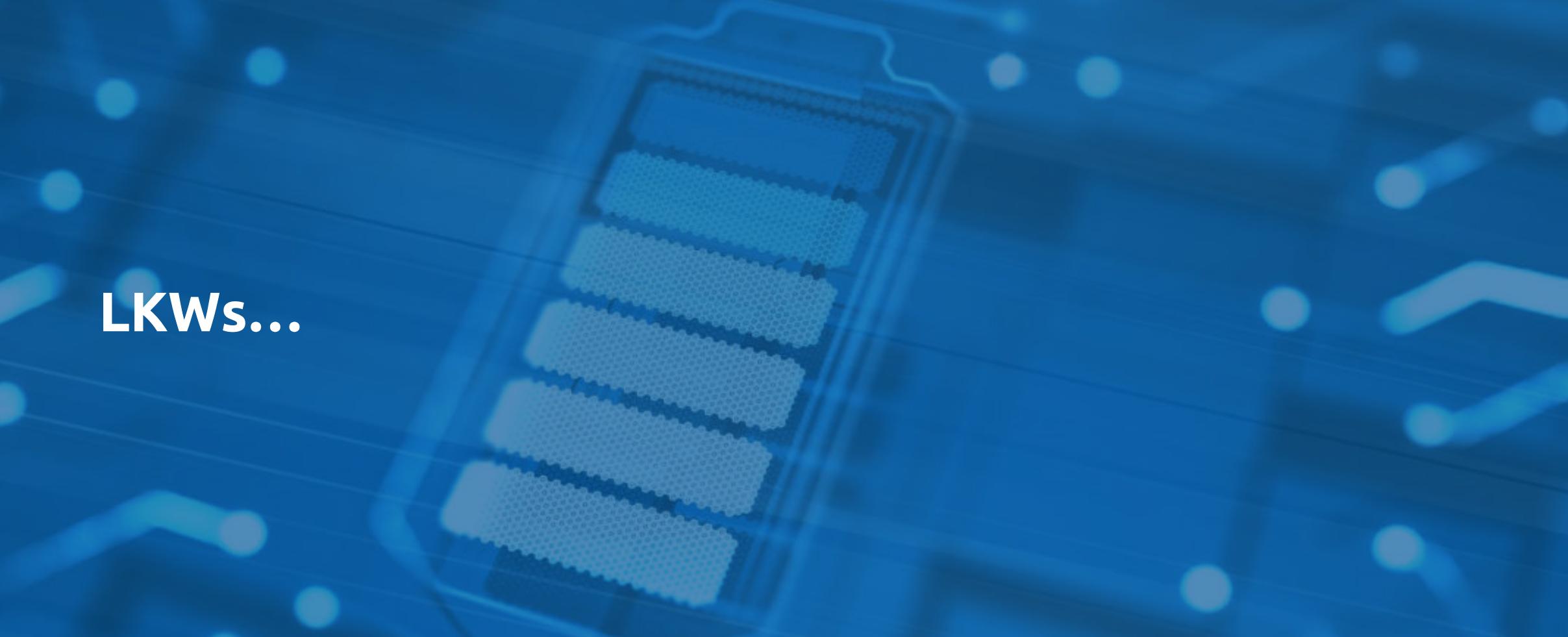


18.070 €

Quelle: ADAC, 2024

Reichweitenangst: Neue Batteriefahrzeuge mit > 650 km Reichweite ab 2024





LKWs...

H₂ für Schwerlastverkehr

wird konkurrenzfähig bei Kosten < 4-5 EUR/ kg H₂¹⁾

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**



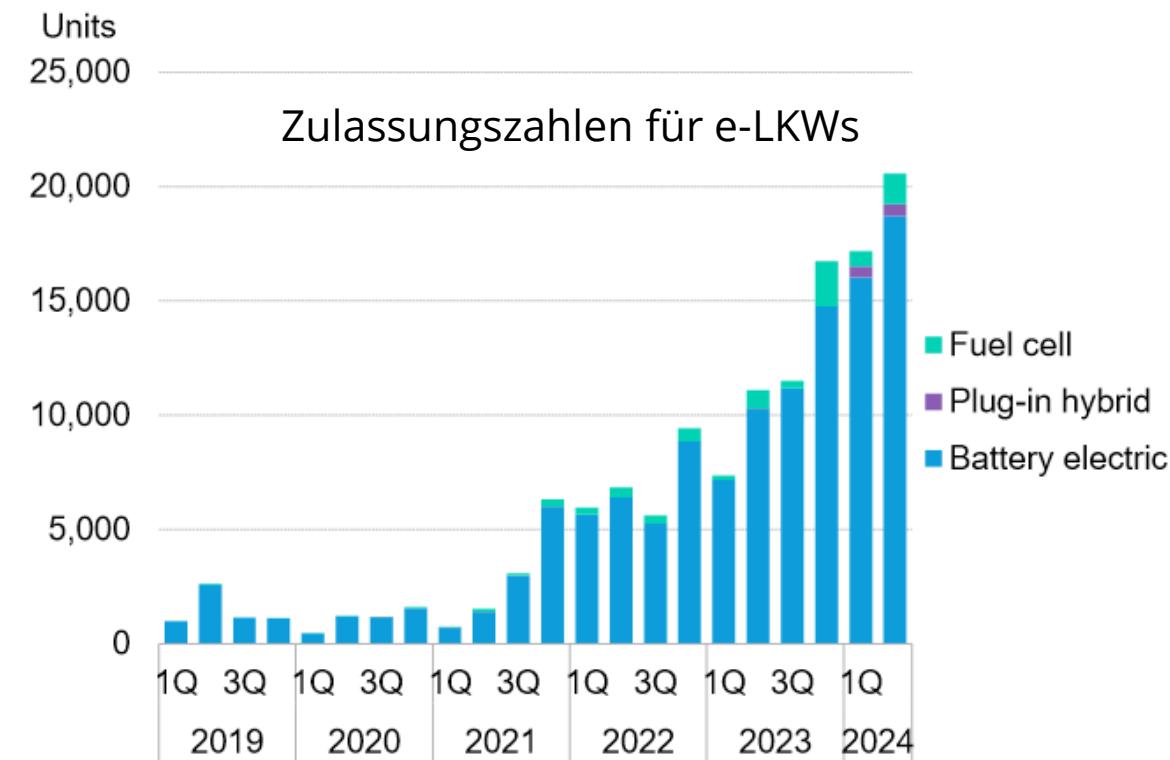
FCEV Truck: 8 kg H₂/100 km²⁾

→ **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)



¹⁾ P3 Automotive, 2023

²⁾ NIKOLA, 2023, eigene Angaben

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

Source: BloombergNEF

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

H2-Busse vs. BEV Busse

2x teurer im Invest

6x teurer im Betrieb

“

Hydrogen buses were €150,000-200,000 more expensive to buy than their electric counterparts.

Operation of the hydrogen buses would cost €3m per year, compared to €500,000 with electric ones — or €0.95 per km versus €0.15.

”

Julie Frêche, VP Transport
Montpellier Méditerranée Métropole
Speaking to La Tribune

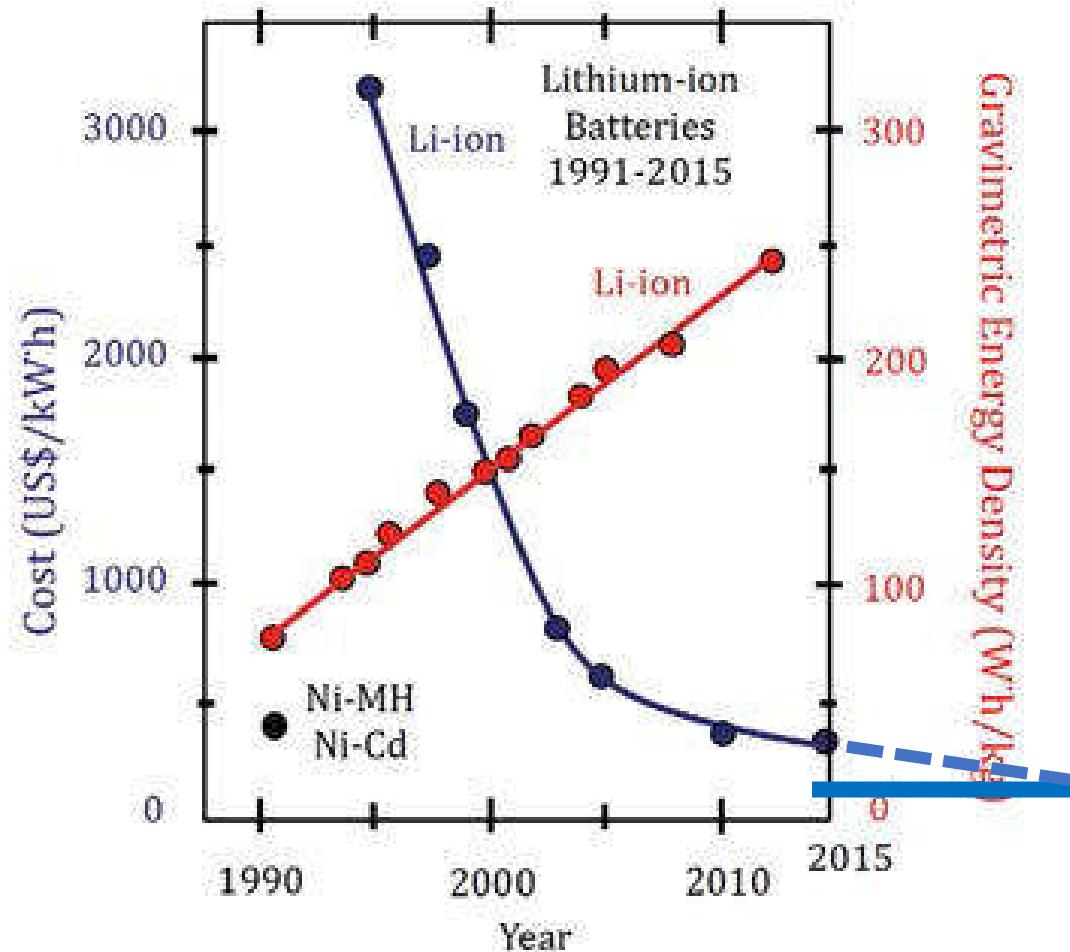


Image: Van Hool

Aktuelle Entwicklungen

Wie geht es weiter?

Entwicklung der Li-Ionenbatterie



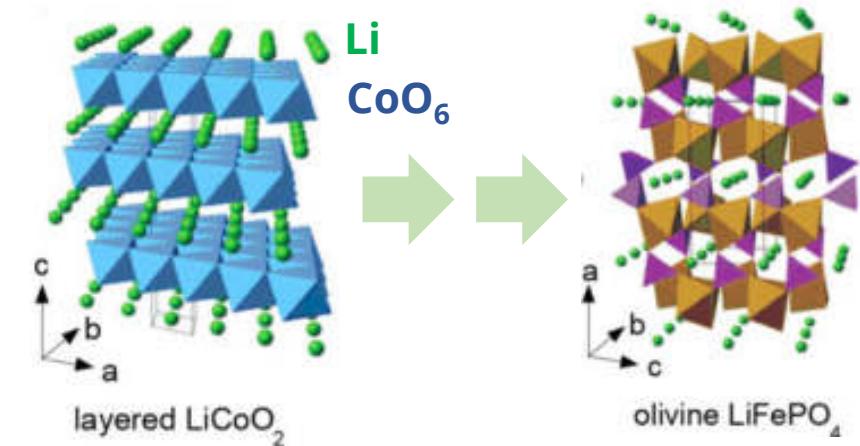
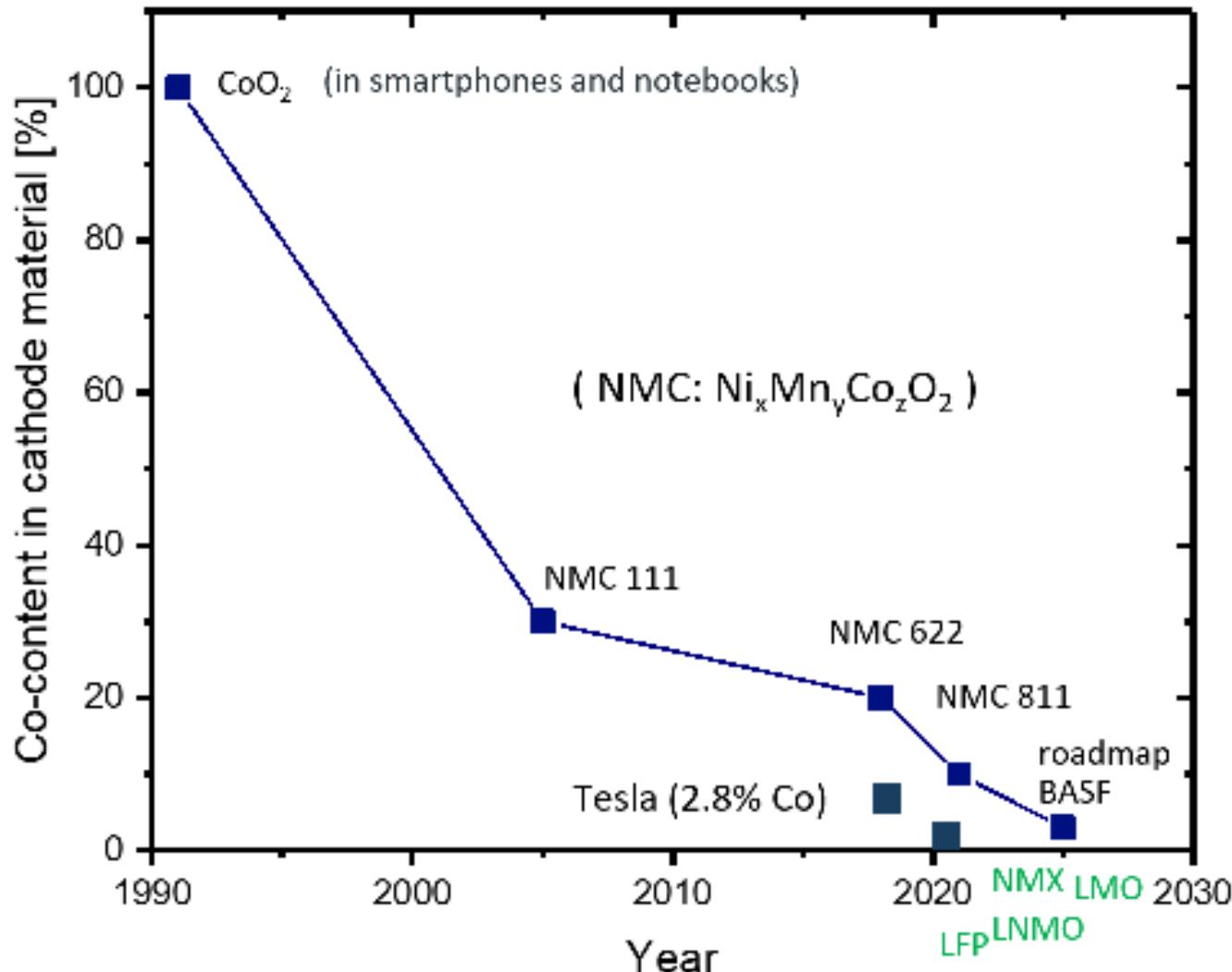
Seit der Markteinführung:
Energiedichte: x4
Kosten $\div 18$

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

Kostenziel
für 2024

Allgemeiner Trend: Reduktion kritischer Rohstoffe; hier: Kobalt

Cathode: Kobalt-Gehalt im Pluspol von Batterien.



TESLA liefert derzeit > 50% ohne Co aus

LFP: LiFePO_4

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

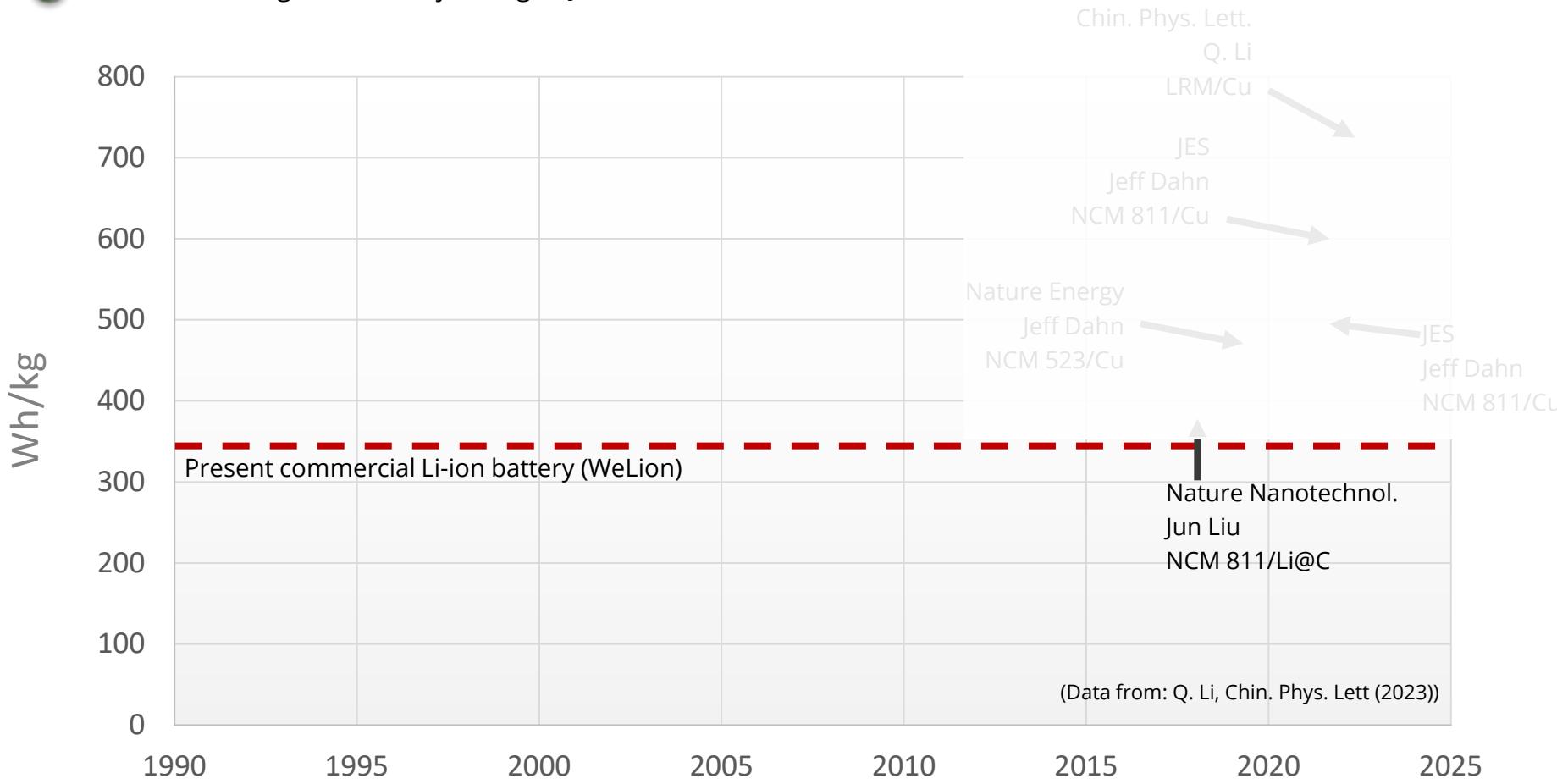
LMO: LiMnO_2

(Materials with 0% cobalt)

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

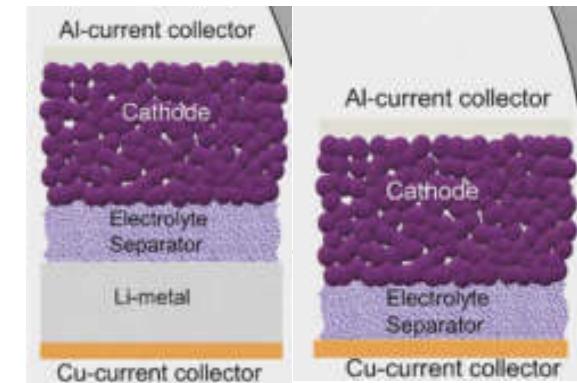


Höchste Energiedichte im jeweiligen Jahr



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**

State-of-the art 2023/24: Batterien für 50% größere 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 = LiFePO₄ → 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

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

1 km Reichweite pro Sekunde



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 !

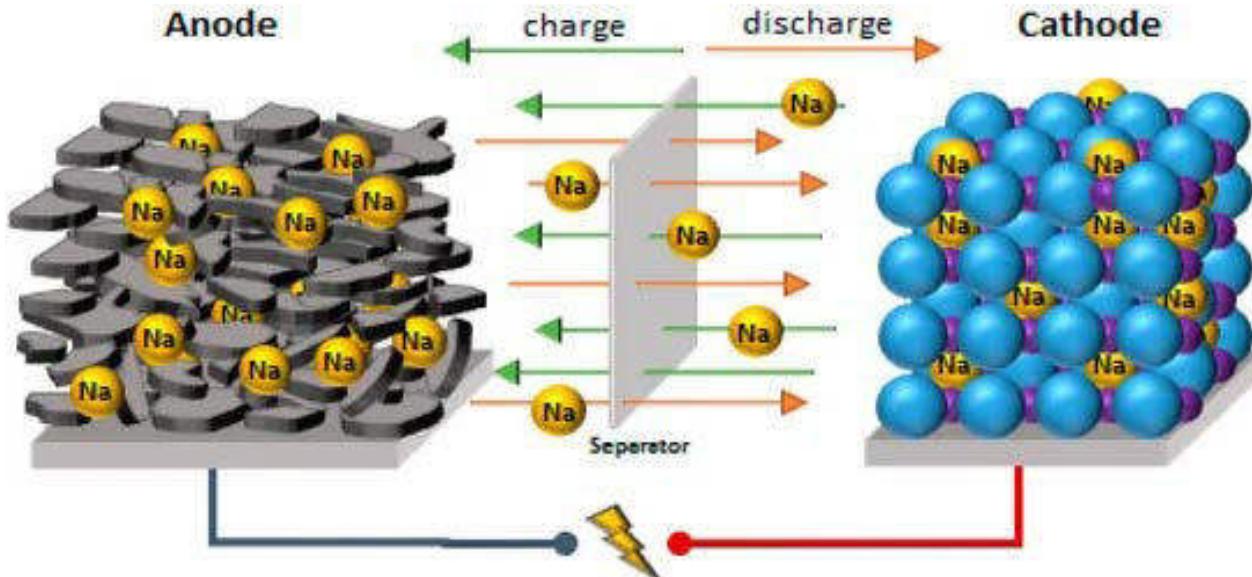
www.celest.de

www.hiu-batteries.de

www.postlithiumstorage.org

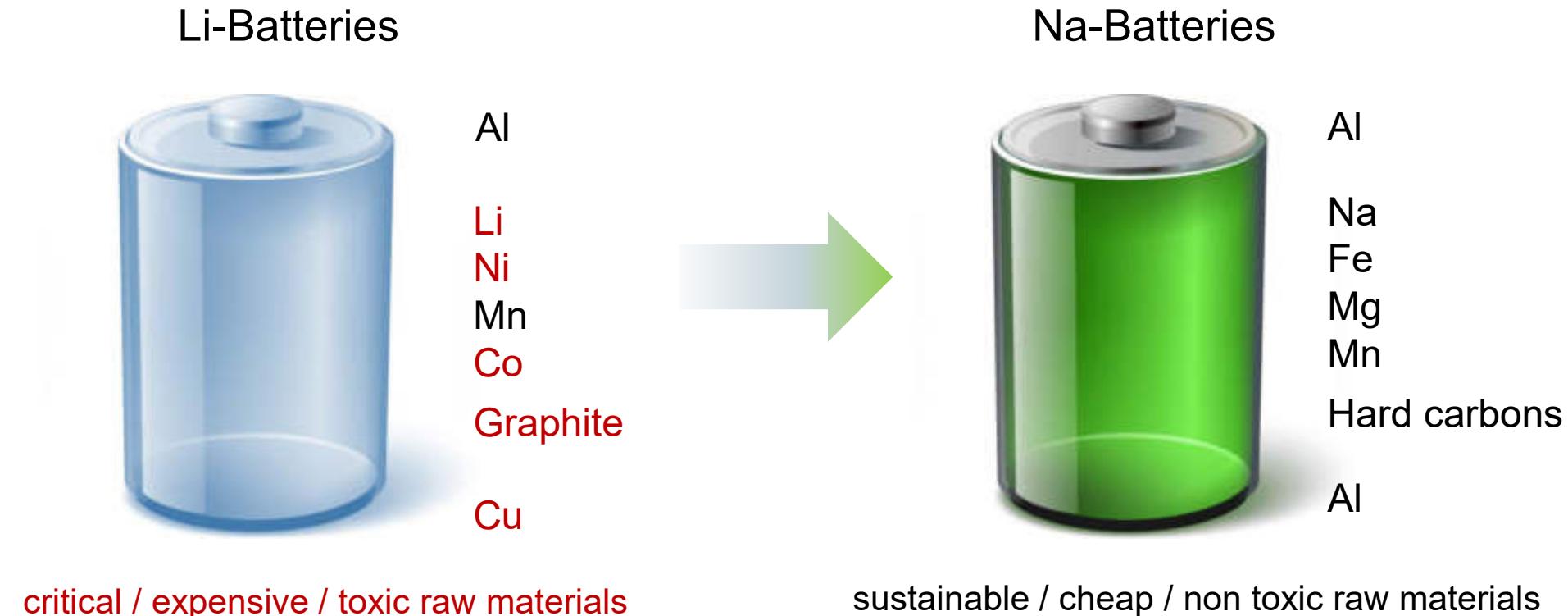


Working principle of the Na-ion battery



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

„Drop-in“ technology



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