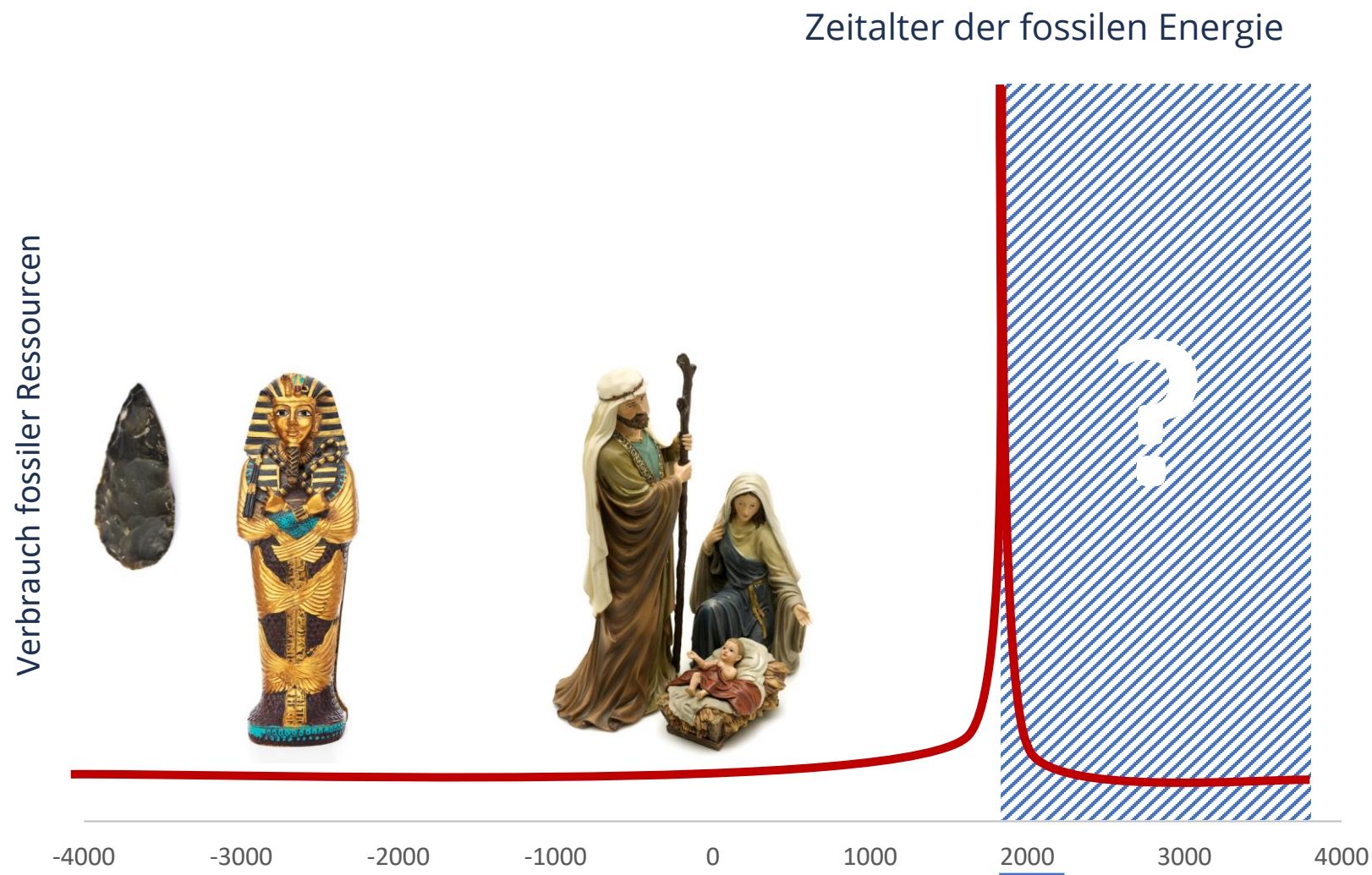


Maximilian Fichtner

# Die Zukunft der Antriebe im postfossilen Zeitalter

HS Aalen

20.03.2025



📖 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 Hinkley Point C in Großbritannien:  
ca. 14,8 Cent/kWh.

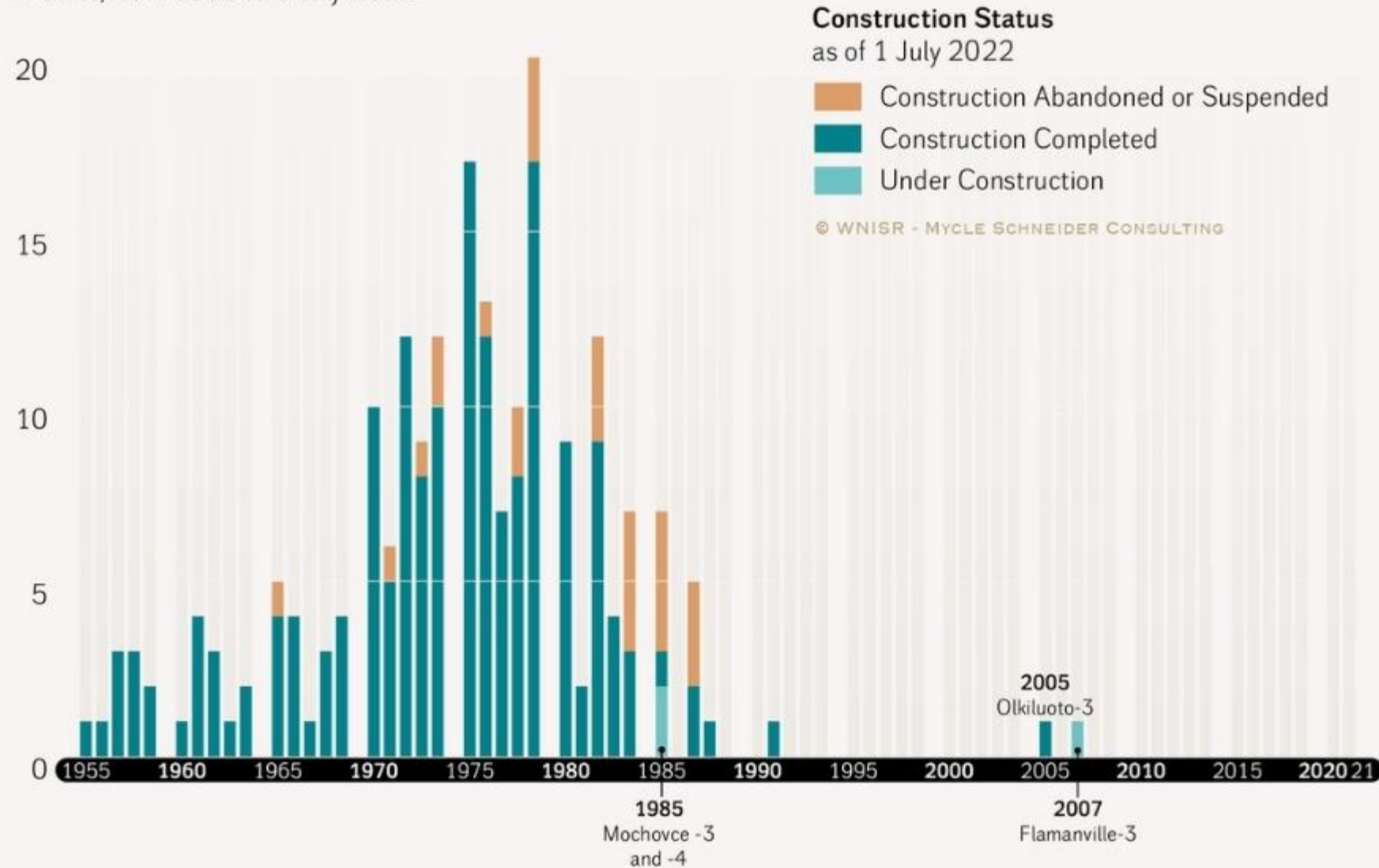
Dagegen baseload Preis am Markt: 6,2 Cent/kWh

- 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







stationary / home



(www.bauen.de)

portable

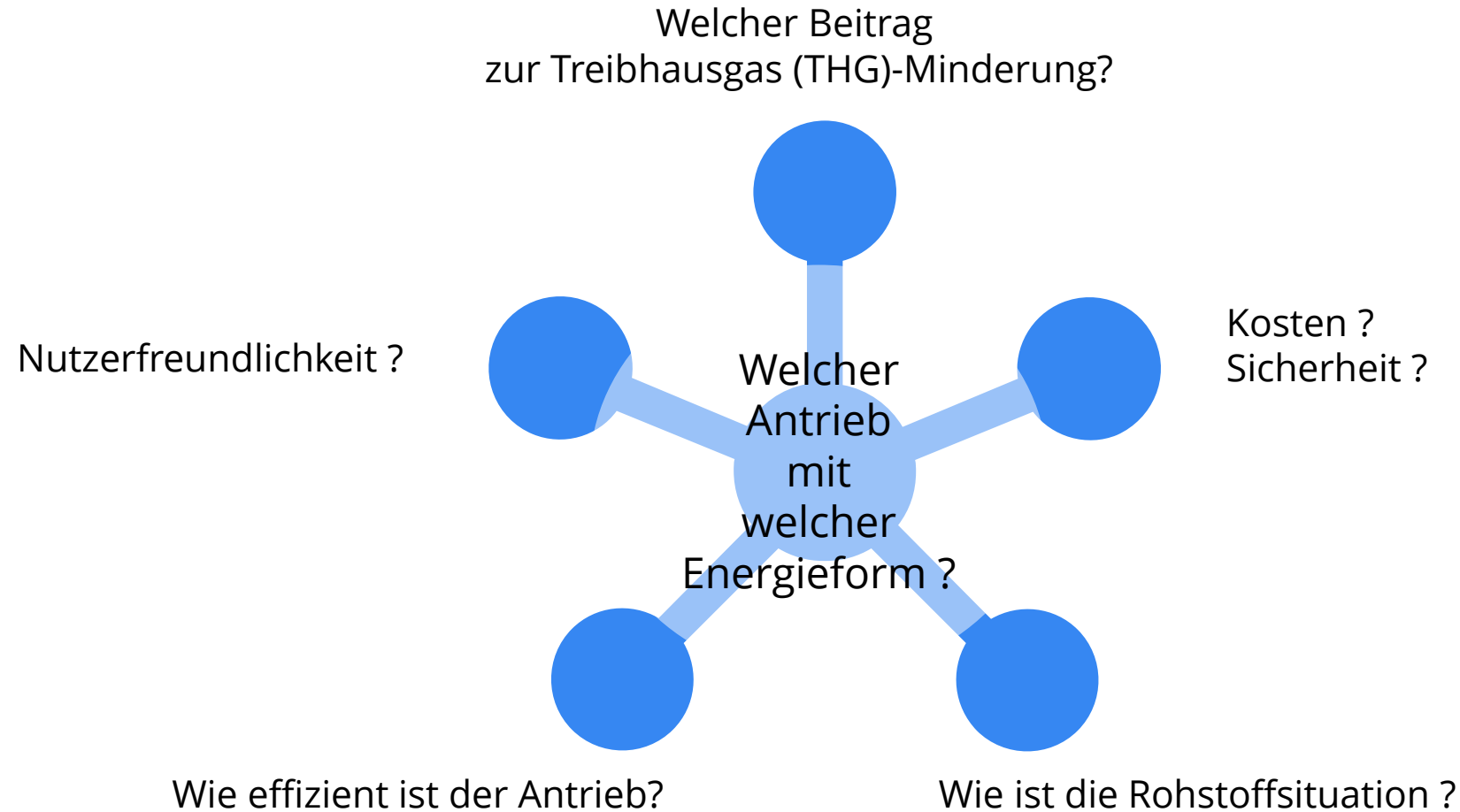


(www.hp.com)

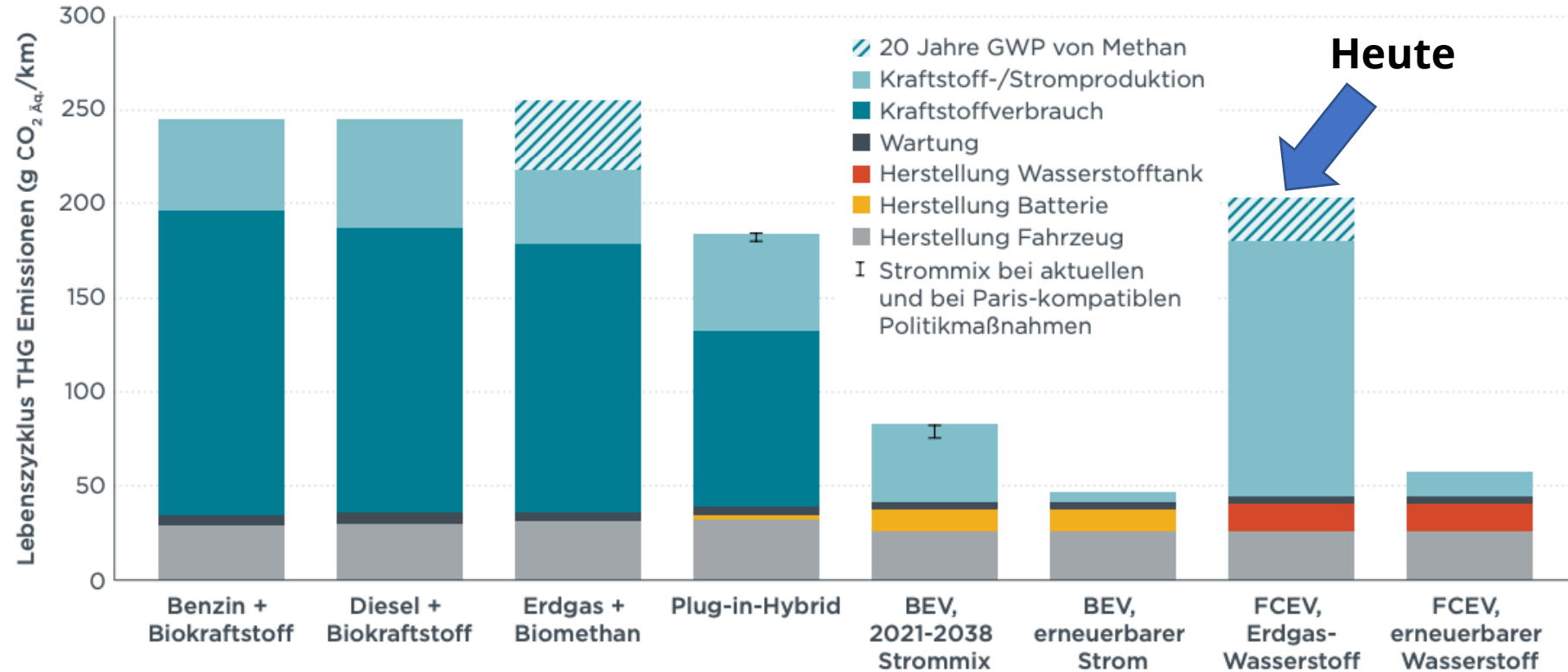
mobile



(www.mungali.com)

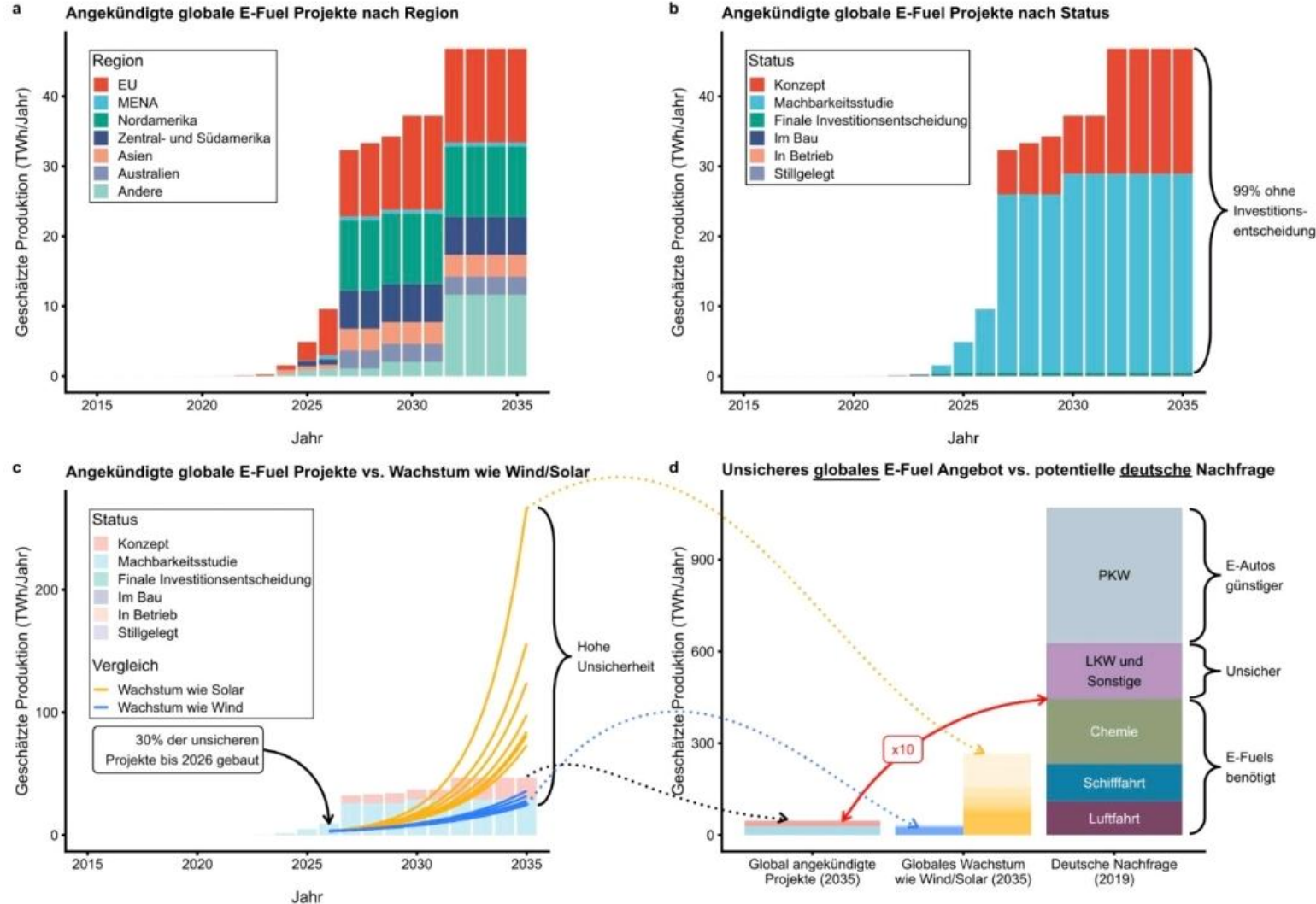


A GLOBAL COMPARISON OF THE LIFE-CYCLE GREENHOUSE GAS EMISSIONS OF COMBUSTION ENGINE AND ELECTRIC PASSENGER CARS



**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



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) Hochlaufszenerien mit historischen Wachstumsraten<sup>5</sup> von Windkraft und Solar-Photovoltaik. (d) Vergleich der globalen Ankündigungen und Hochlaufszenerien (für 2035) mit dem Bedarf Deutschlands<sup>6</sup> an flüssigen Kohlenwasserstoffen (2019). Daten: IEA, AG Energiebilanzen, Destatis.**



360 PS



Bewegte Teile:  
ca. 1300

Nicht gezeigt:

- Getriebe
- Transmission
- Tanksystem
- Auspuffanlage

560 PS

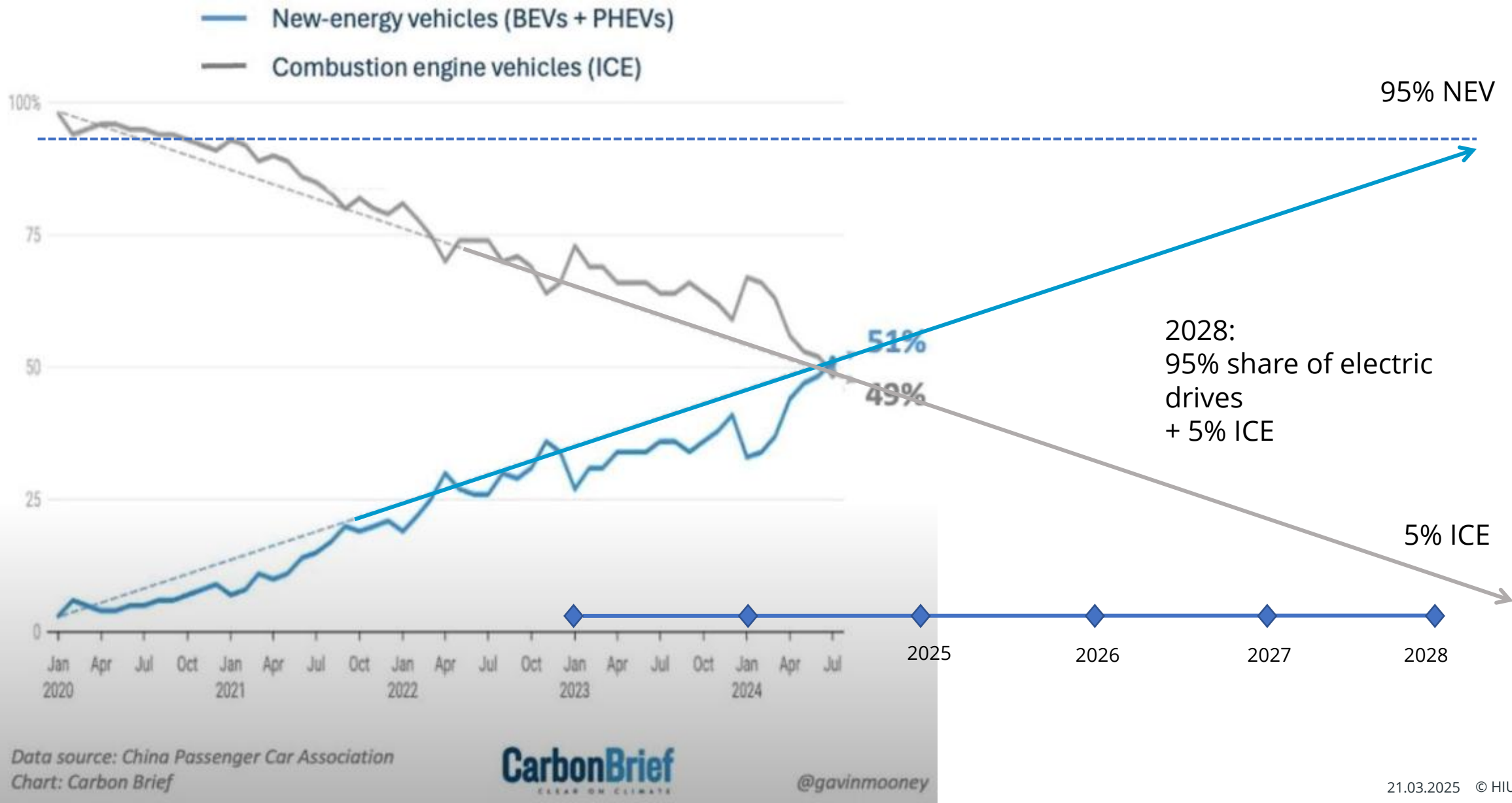


Bewegte Teile:  
ca. 40

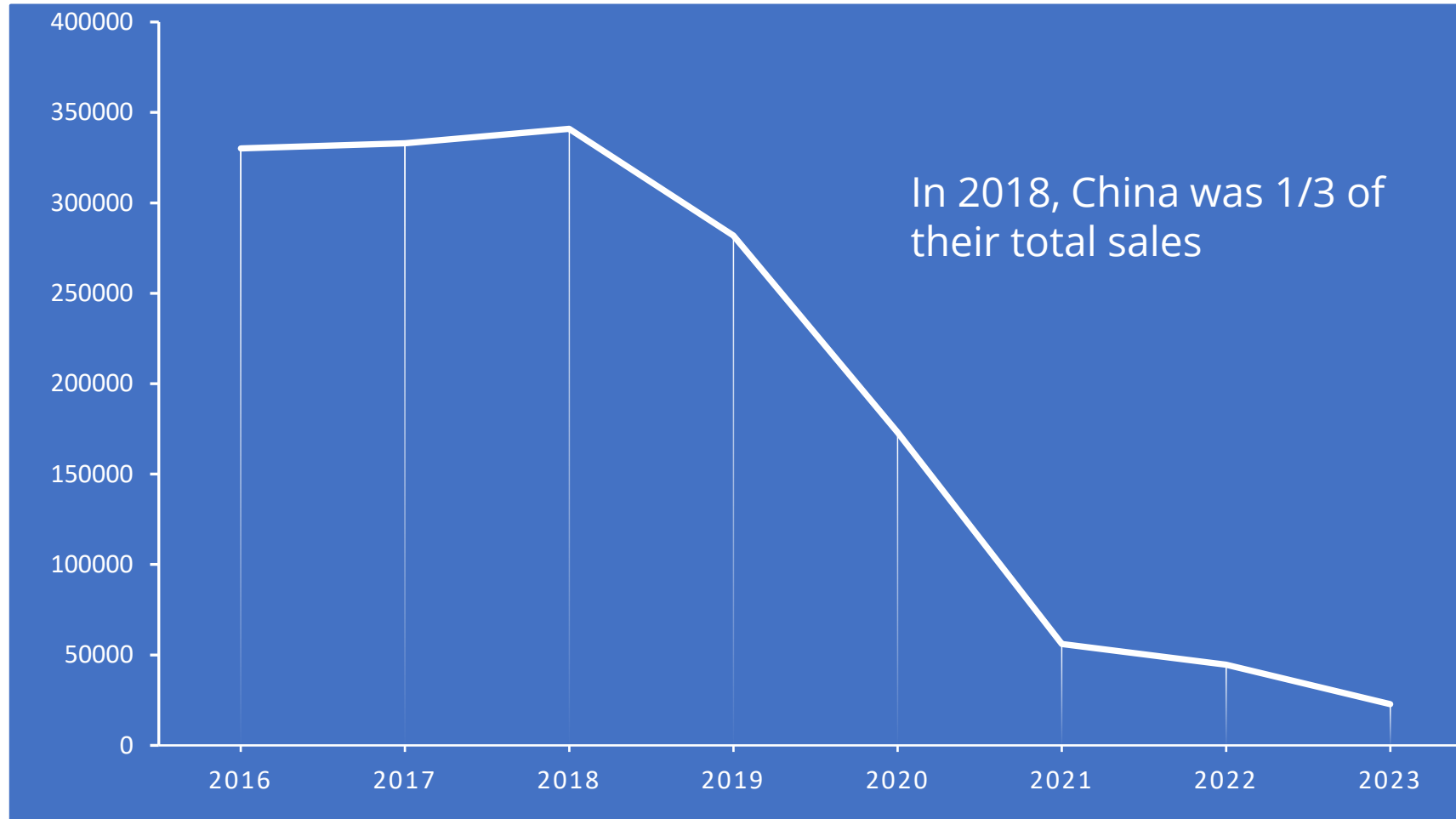
Nicht gezeigt:

- Batterie
- Leistungselektronik

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

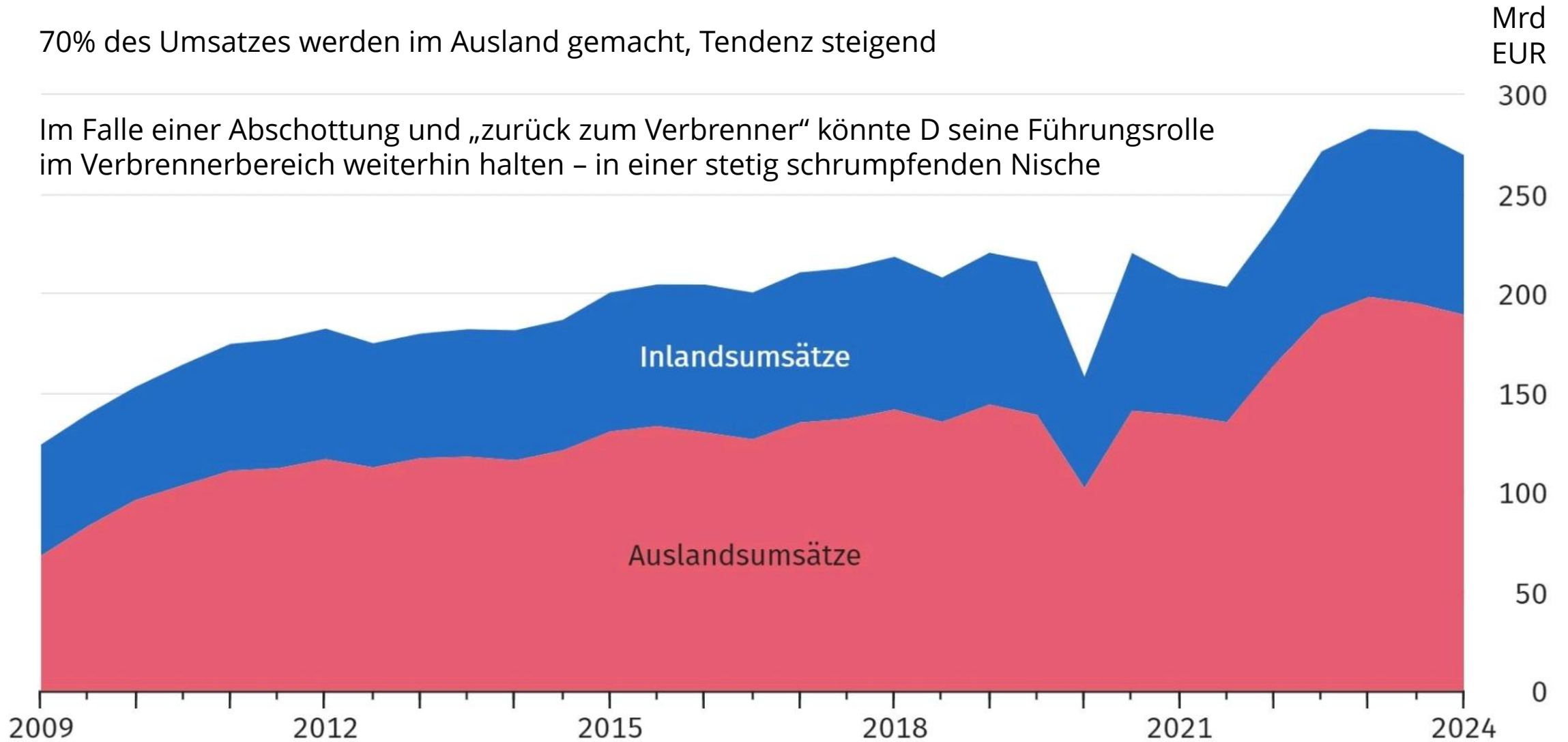


The beginning dusk of ICE cars



70% des Umsatzes werden im Ausland gemacht, Tendenz steigend

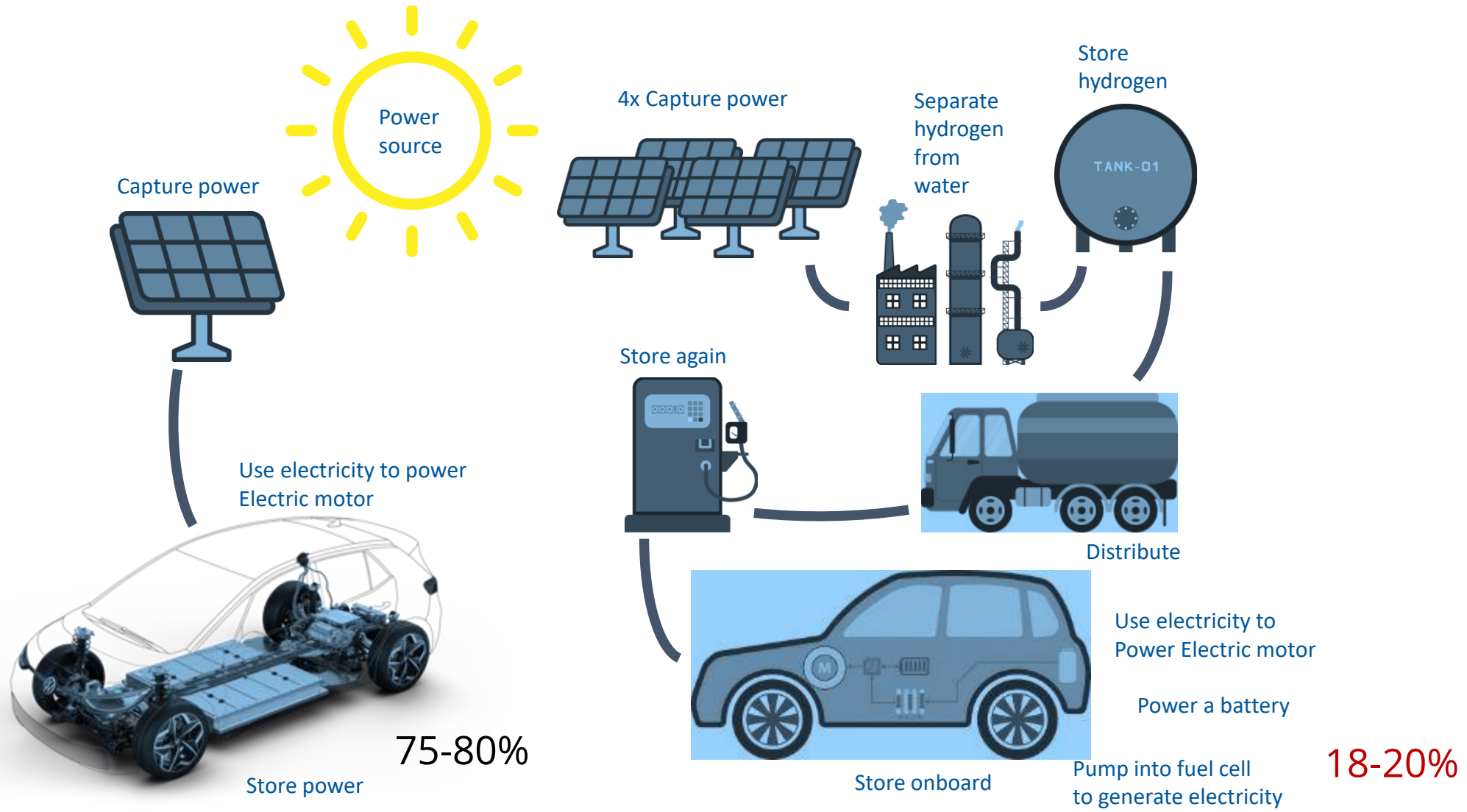
Im Falle einer Abschottung und „zurück zum Verbrenner“ könnte D seine Führungsrolle im Verbrennerbereich weiterhin halten – in einer stetig schrumpfenden Nische





# Elektrische Antriebe

# Elektrische Antriebe als effizienteste Art des Antriebs



Batterielektrischer Antrieb

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

# Antriebsarten im Vergleich / Energiebedarf








3 MW  
2000 h/a



e.g.  
1 wind  
turbine

3 Megawatt  
3000 h/year

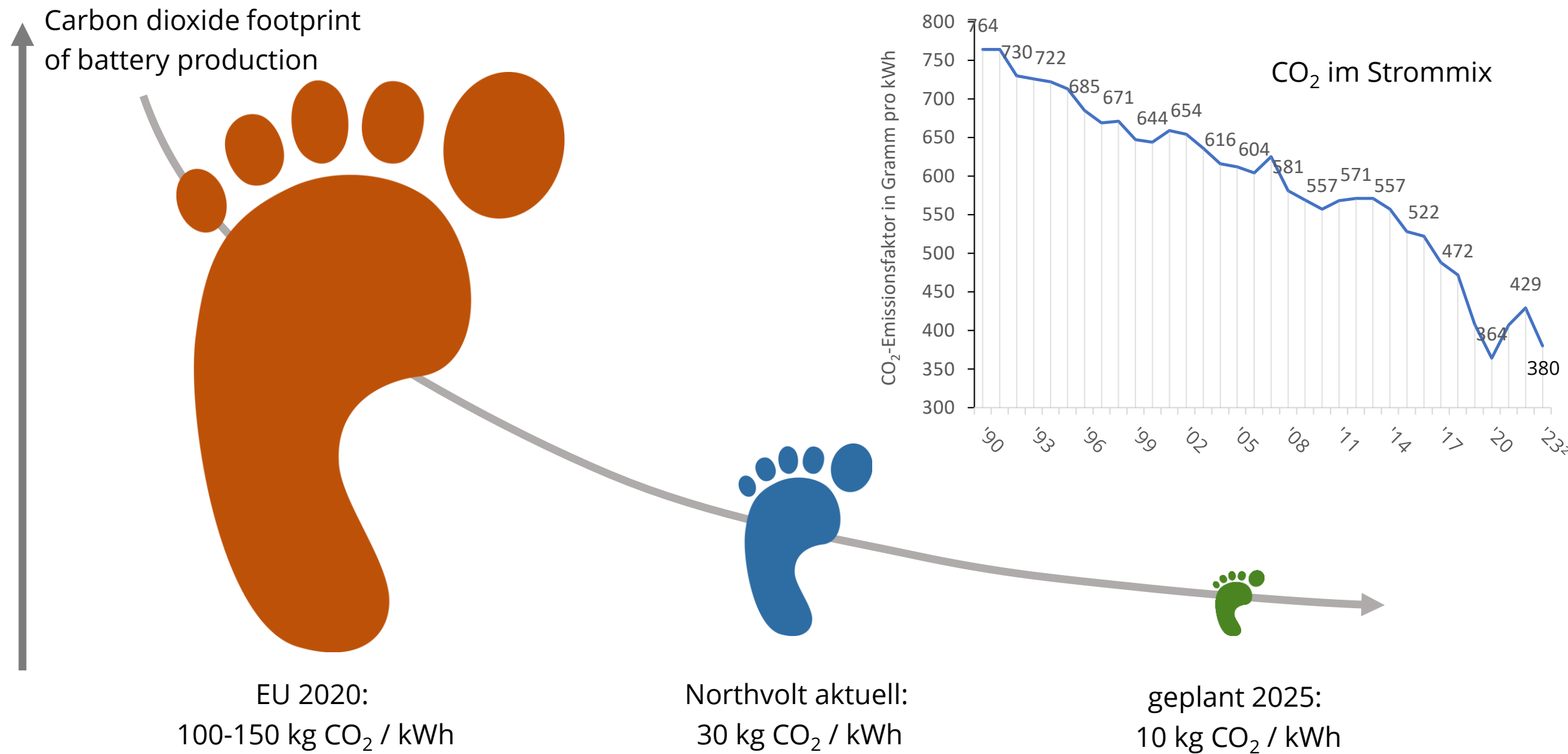
Ref:  
VDE  
2023

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

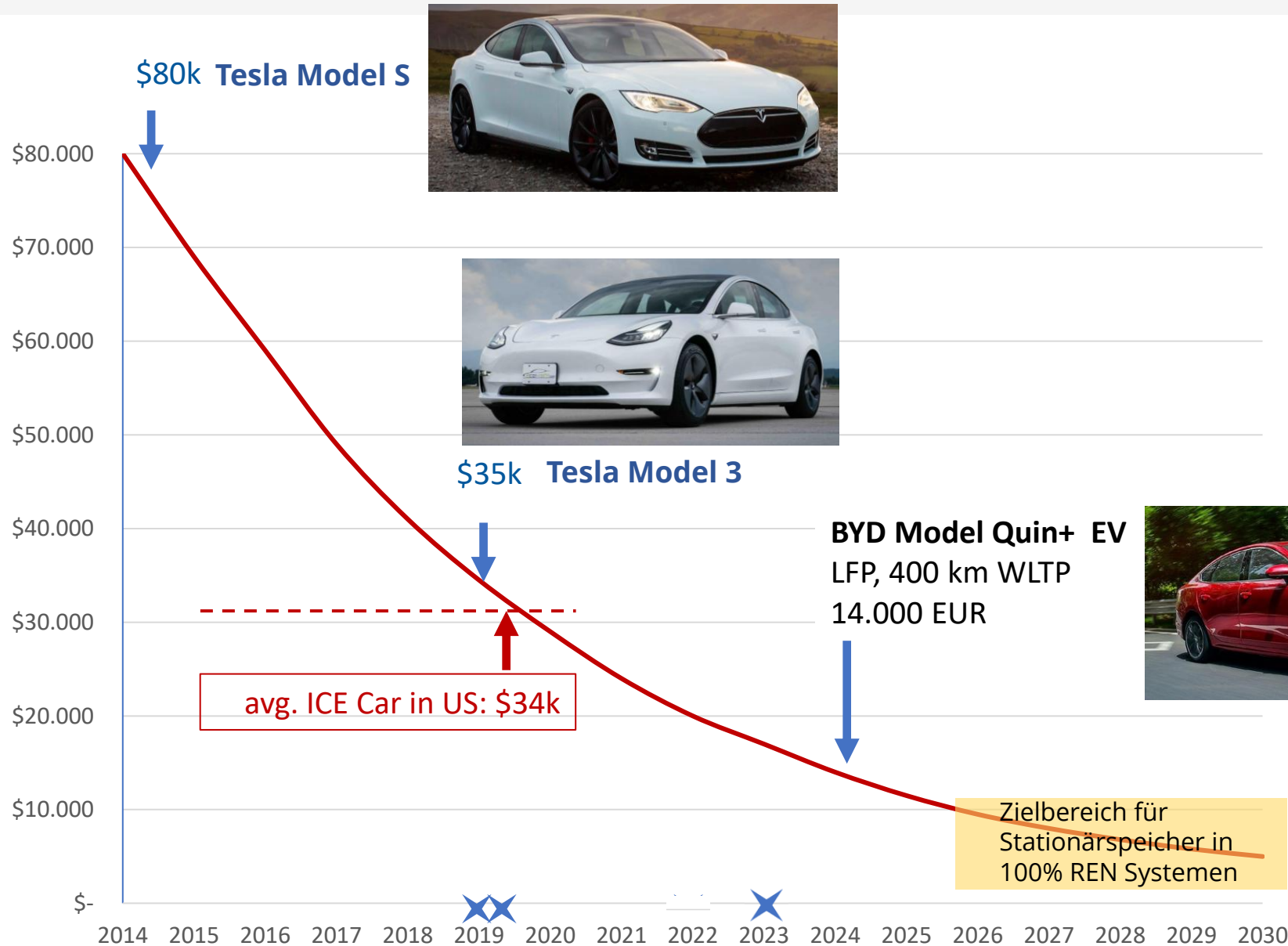
Wasserstoff:  
600 PKW

e-Fuel:  
250 PKW





# Kostenkurve für Batteriefahrzeuge mit 350-400 km Reichweite



## Vergleich 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,  
ca. 30 EUR/100 km in A



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

## BYD

BYD 2024 欧洲官方合作伙伴

「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.

**VINFAST VF 6**



**27.220 €**

**OMODA 5**



**22.000 €**

**Ford Puma EV**



**25.000 €**

**Skoda Elroq**



**32.900 €**

**Citroën ë-C3**



**24.000 €**

**HYUNDAI Casper EV**



**18.070 €**



Quelle: ADAC, 2024





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.



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



...

Ref.: ADAC 2024

**Aber LKW....!**



## H<sub>2</sub> for heavy duty

Gets competitive at < 4-5 EUR/ kg H<sub>2</sub> <sup>1)</sup>

Currently: in BRD 16,05 -17,75<sup>2)</sup> EUR/ kg H<sub>2</sub> („grey“ H<sub>2</sub>), in Austria ca. 24 EUR/kg

→ Factor 1/4 (1/6) for green H<sub>2</sub> will be difficult to reach.

→ Costs for batteries will decline

→ The driving times are identical

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 or **1,92 EUR/km** in A



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

→ **0,35-0,55 EUR/km** (dep. on tariff)

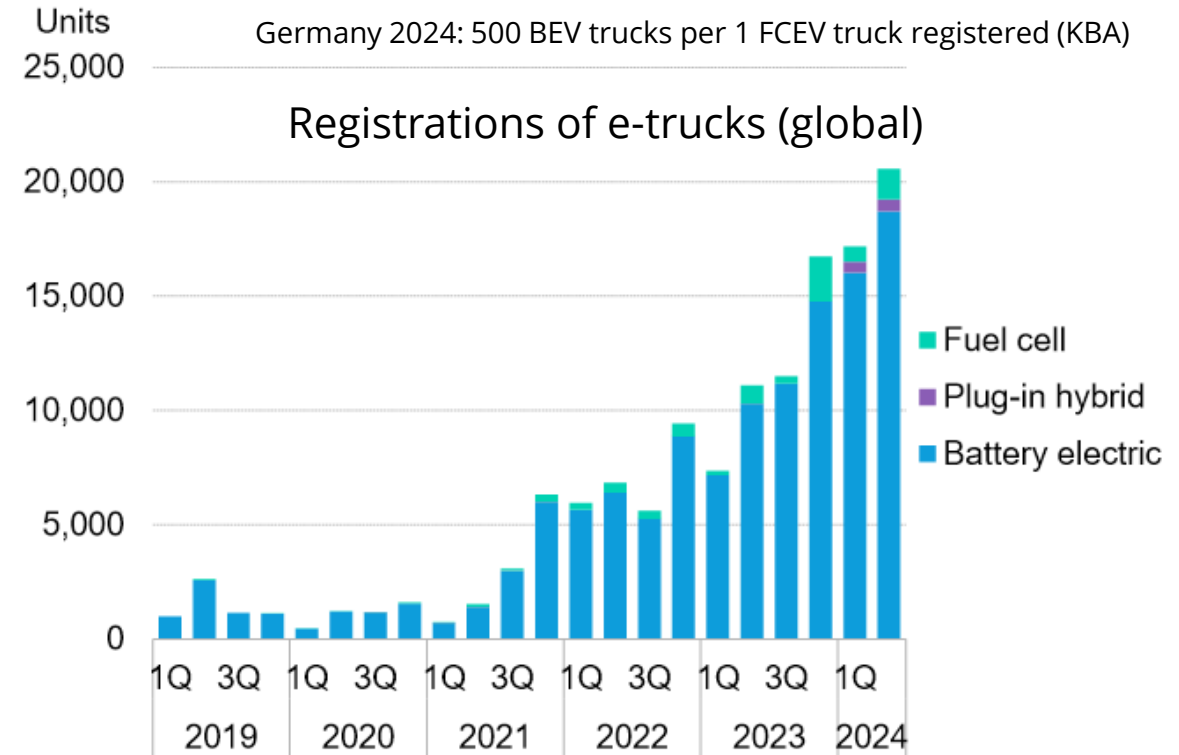


<sup>1)</sup> P3 Automotive, 2023

<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.

**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.

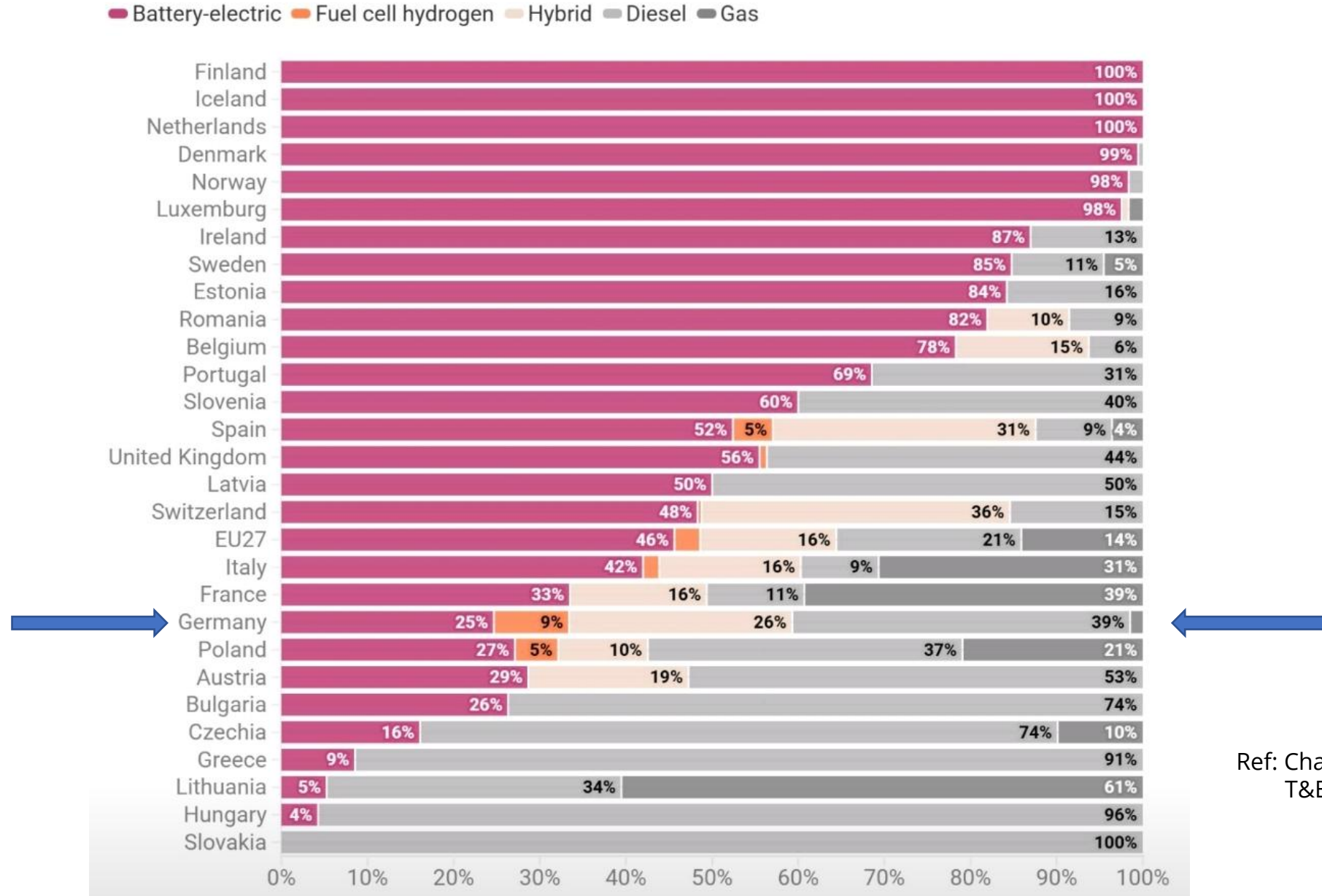
Das heißt, dass die Batterie (Reichweite von 500 km) bei E-Bussen möglich machen soll, **bis zu etwa 500.000 km keine Kapazitätsverluste** haben wird.



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



# Neuzulassungen von Stadtbussen 2024



Ref: Chatrou CME Solutions (2024)  
T&E

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

# Stationärspeicher





6.25 MWh Speichersystem (TENER System)  
Null Degradation in den ersten 5 Betriebsjahren  
Standard Container



Energiedichte  
**430 Wh/L**

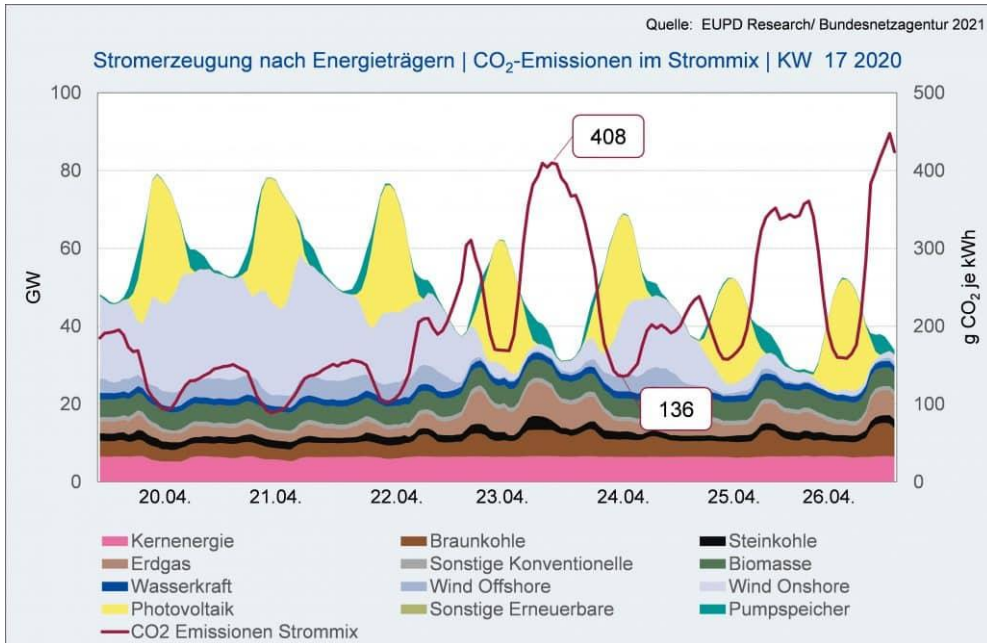
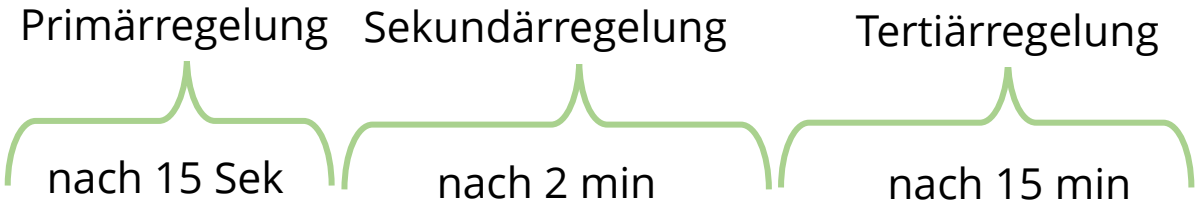
„biomimetic solid electrolyte  
interphase (SEI) and self-assembled  
electrolyte technologies”

(ref. CATL, 2024)

z.B. für Masdar (Abu Dhabi Future Energy Company): 5,2 GW PV + **19 GWh Batteriespeicher**



# Welche Rolle können diese Speicher im Stromnetz einnehmen?



Wasserkraft  
werk



Gaskraftwerk/  
Gas-peaker



Kohlekraftwerk



Batteriespeicher




Der Strompreis wird nach der europäischen „Merit-Order“ Regelung durch den teuersten Anbieter im Mix (Gaspreis) bestimmt.

# Ranking derzeitiger Großspeicher im Stationärbetrieb (Li-Ionen Technologie)

Ranking	Plant	Location	max. Power	Capacity
1	Moss Landing Energy Storage Facility	Monterey County, USA	<b>400 MW (1500 MW)</b>	<b>1.600 MWh (6 GWh)</b>
2	Hunter Valley	Newcastle, S. Australia	<b>1200 MW</b>	<b>4.8 GWh</b>
3	Manatee Energy Storage Center	Manatee County, FL/USA	<b>409 MW</b>	<b>900 MWh</b>
4	Alamitos Energy Center	Long Beach, USA	<b>100 MW</b>	<b>400 MWh</b>
5	Buzen Substation	Fukoka, Japan	<b>50 MW</b>	<b>300 MWh</b>
6	Gateway Energy Storage	Otay Mesa, USA	<b>250 MW</b>	<b>250 MWh</b>
7	Rokkasho Village Wind Farm	Aomori, Japan	<b>34 MW</b>	<b>245 MWh</b>
8	Hornsedale Power Reserve	Jamestown, Australien	<b>150 MW</b>	<b>193,5 MWh</b>
9	Escondido Substation	San Diego, USA	<b>30 MW</b>	<b>120 MWh</b>
10	Mira Loma Substation	Ontario, Kalifornien, USA	<b>20 MW</b>	<b>80 MWh</b>

#1 Moss Landing: Phase 1; installed in turbine hall of a former gas power plant

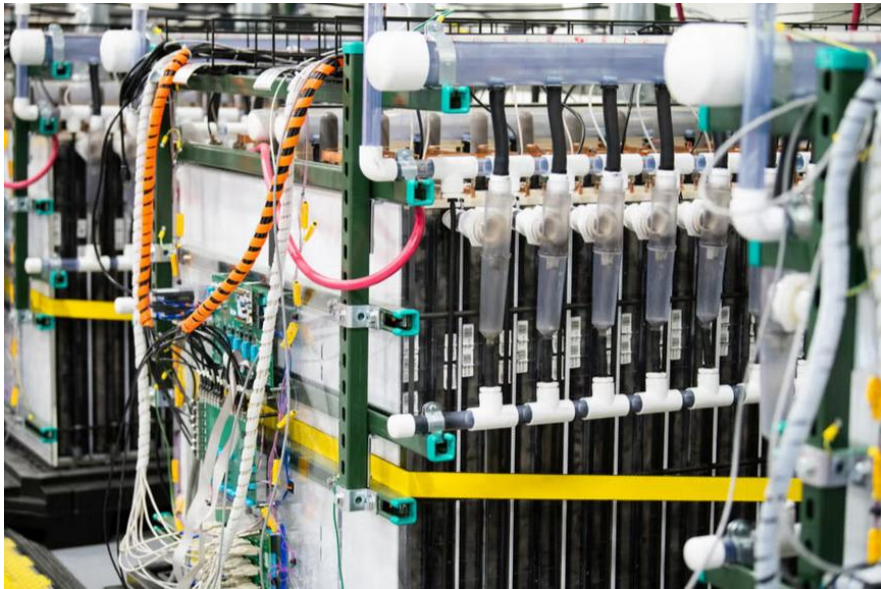
Largest in Germany: **Netzbooster Kupferzell with 250 MWh**

 [www.ingenieur.de](http://www.ingenieur.de); 2022

# America Is Building the World's Biggest Battery— And It Will Run on Rust

Built on the bones of a shuttered mill, the battery will store 8,500 megawatt-hours of energy, enough to power about 57,000 homes.

BY [DARREN ORF](#) PUBLISHED: DEC 12, 2024 3:47 PM EST



Ref.: Form Energy 2024

Fe-air battery

**8.5 GWh**

Several 10.000 households supplied for 72 h

Anode

**Iron  $\rightleftharpoons$  Fe-oxide („Rust“)**

Charged  $\rightleftharpoons$  Discharged



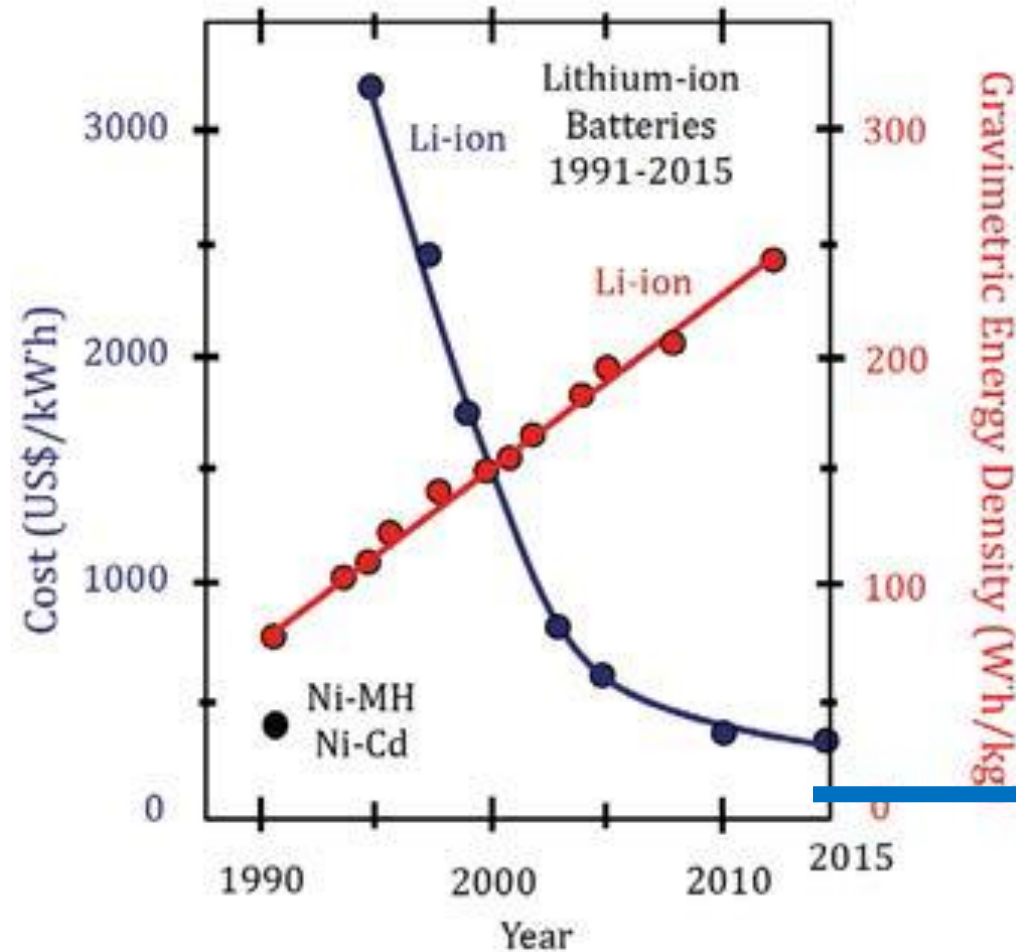
Location: old Paper and Tissue mill in Lincoln, Maine  
“Repurposed energy project”



# Aktuelle Entwicklungen

Wie geht es weiter?

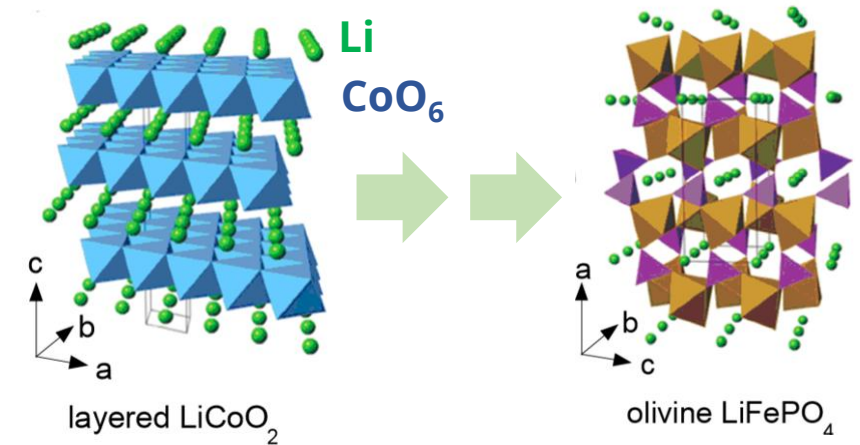
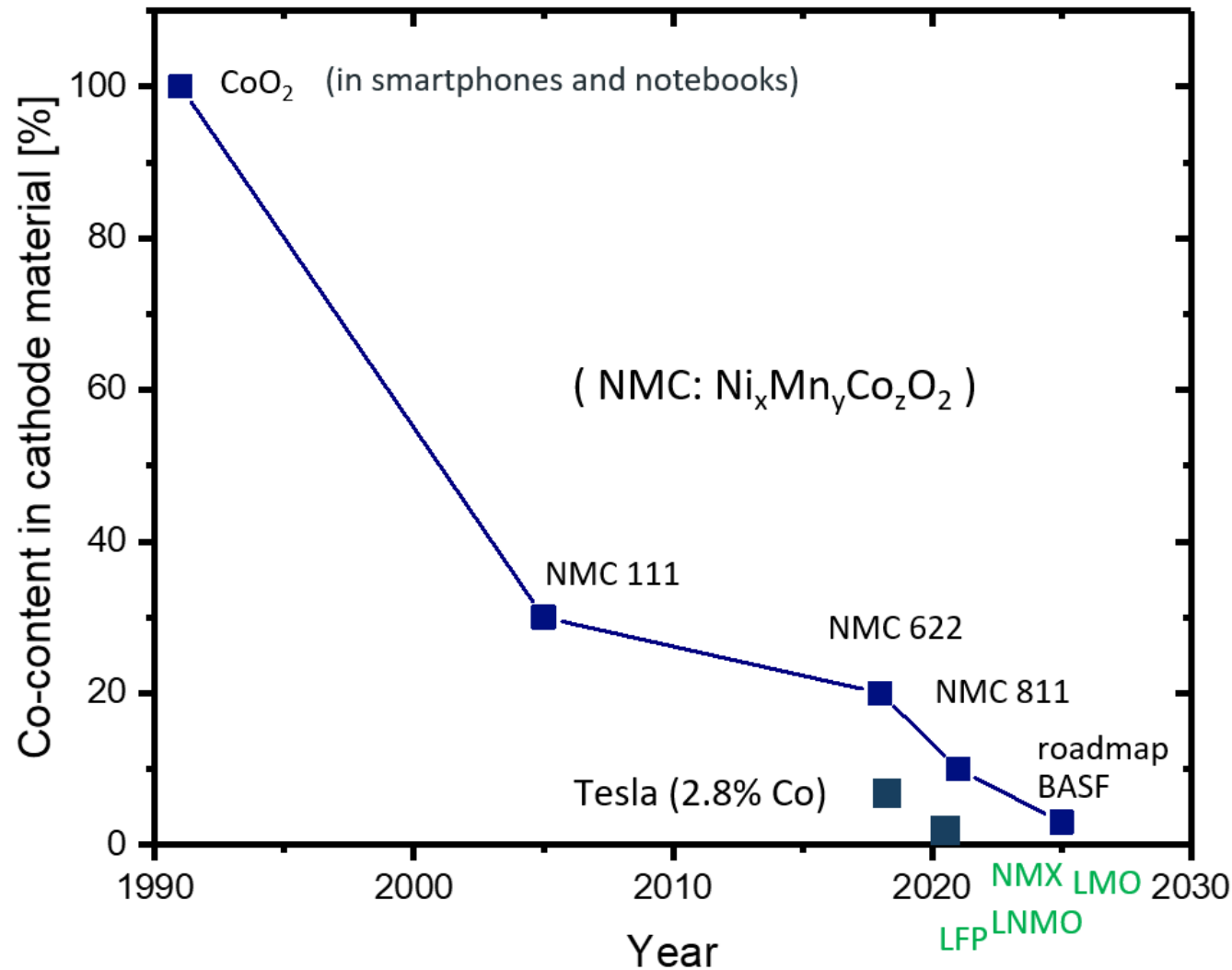




Seit der Markteinführung:  
Energiedichte: x4  
Kosten ÷ 50

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

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



TESLA liefert derzeit > 50% ohne Co aus

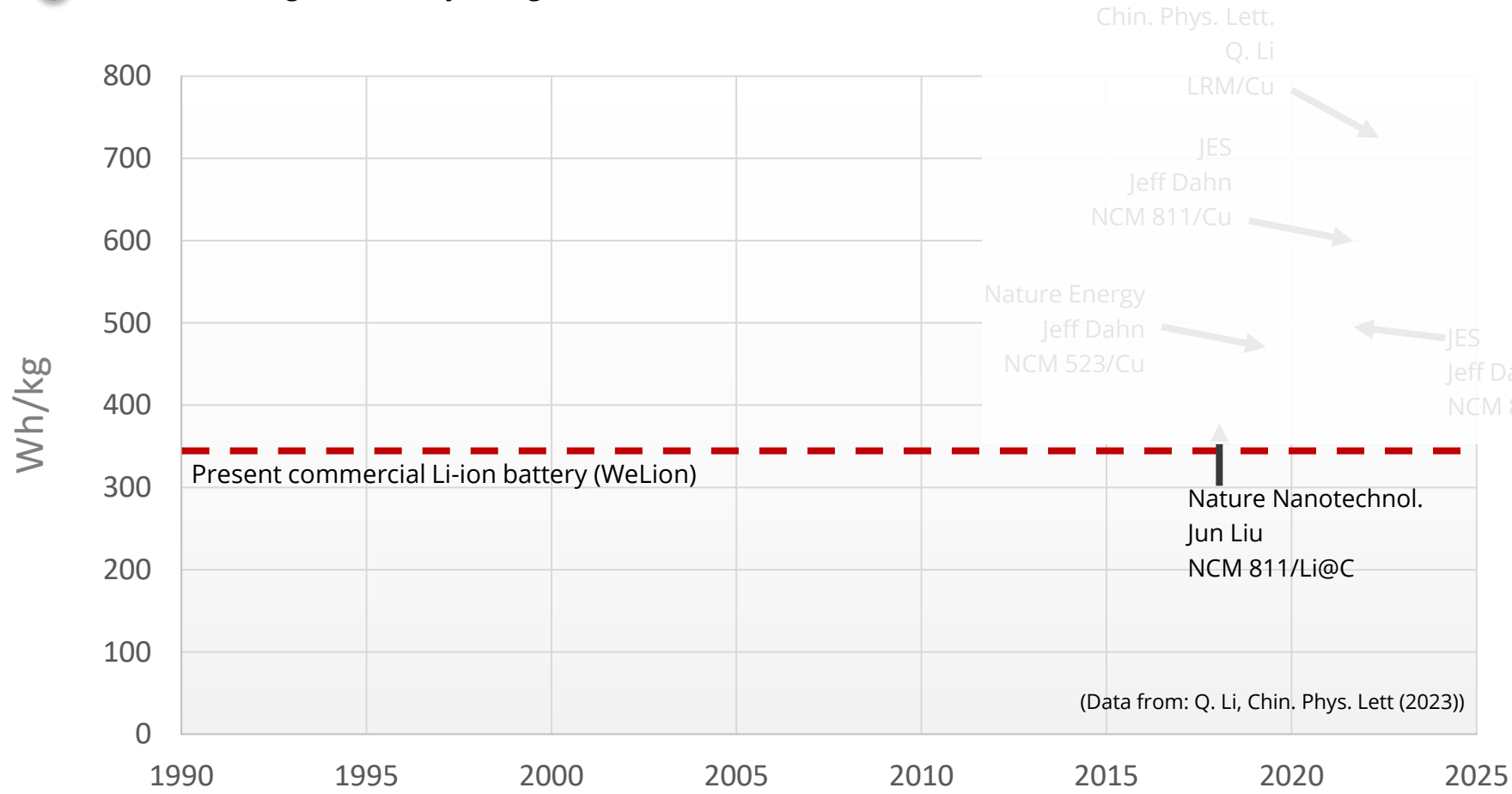
**LFP:** LiFePO<sub>4</sub>  
**NMX:** LiNi<sub>3/4</sub>Mn<sub>1/4</sub>O<sub>2</sub>  
**LMO:** LiMnO<sub>2</sub>

(Materials with 0% cobalt)

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

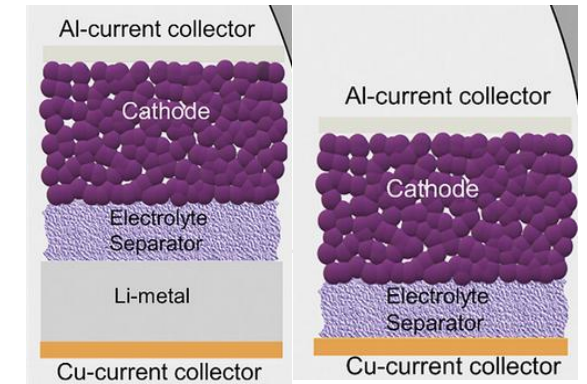


Höchste Energiedichte im jeweiligen Jahr



**LMBs:**  
< 300 Wh/kg

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

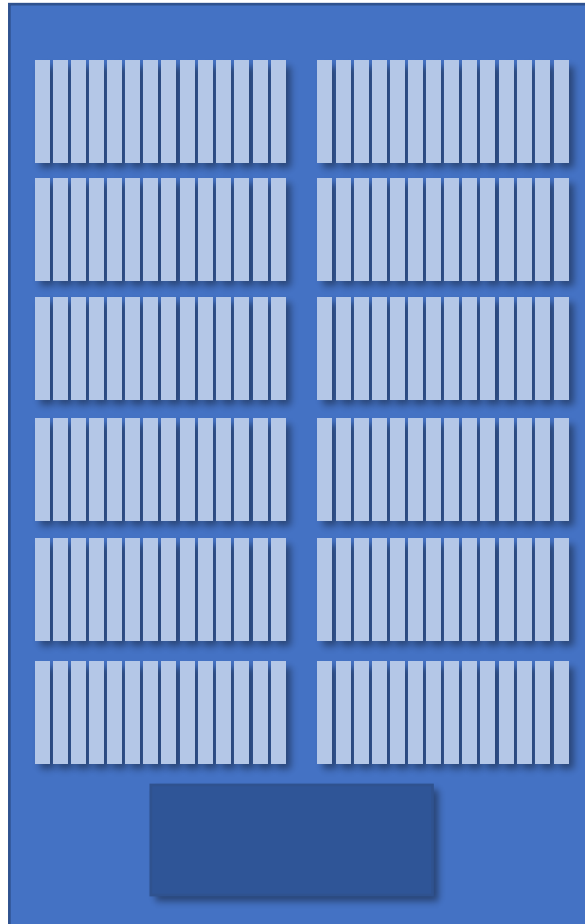


P. Molaiyan *et al.*,  
Adv. Func. Mater. 34 (2024)

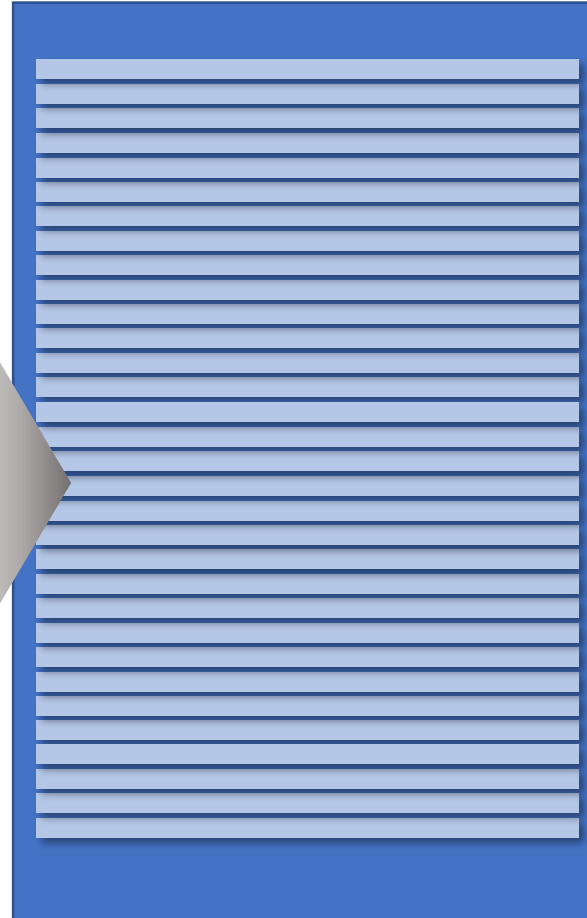
**Mit neuer Technologie:**

**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%.**

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 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 =  $\text{LiFePO}_4$  → 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 voll beladbar,

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

**1 km Reichweite pro Sekunde**





2025:  
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



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

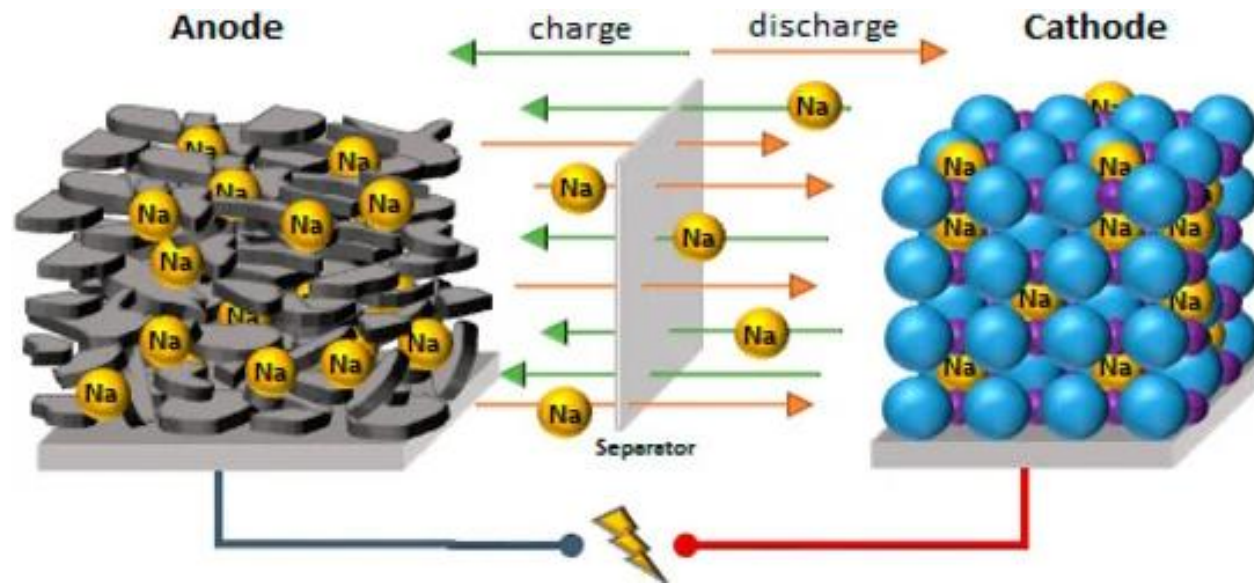
[www.hiu-batteries.de](http://www.hiu-batteries.de)

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





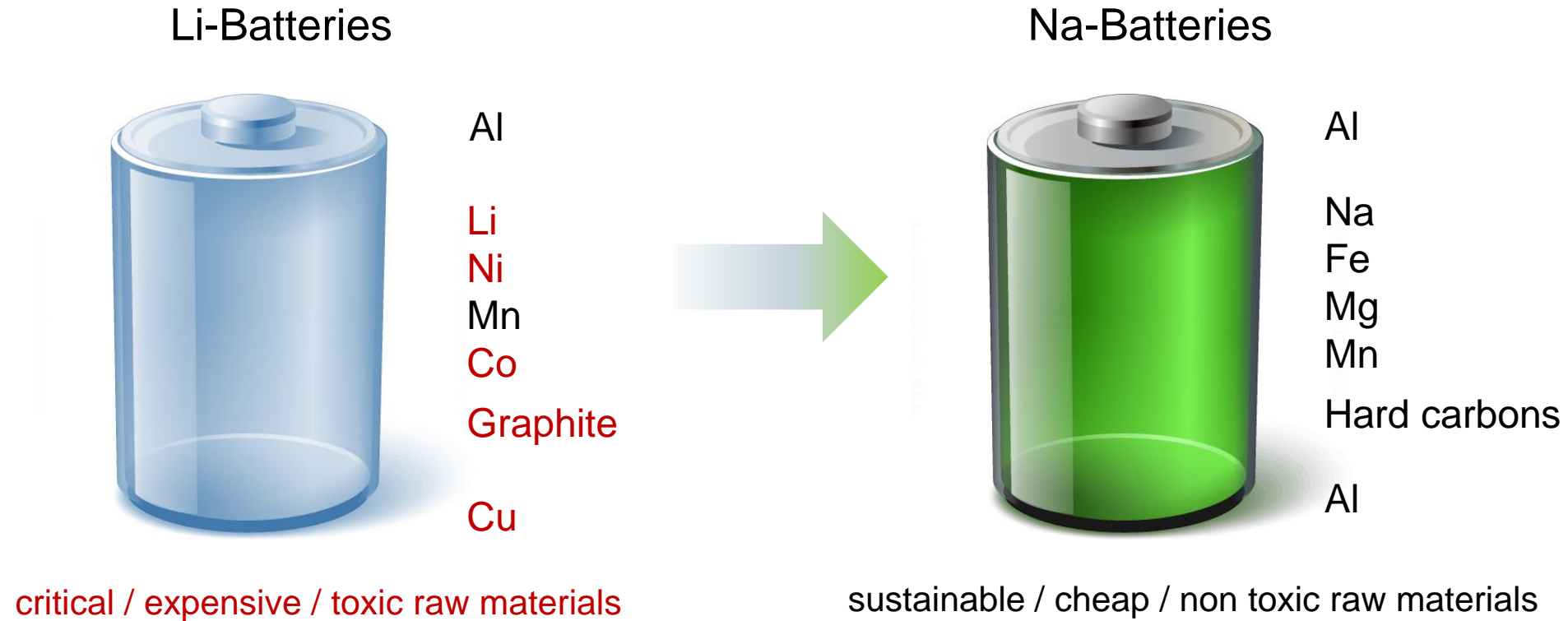




**POLoS**  
Post Lithium Storage  
Cluster of Excellence

📖 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

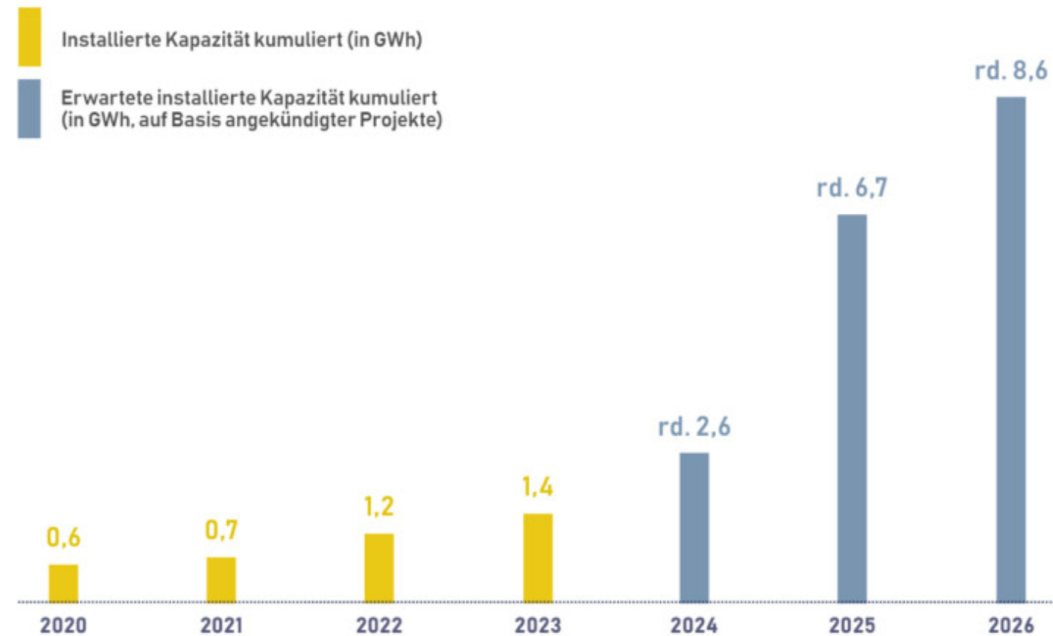


Image: JAC

Netzanschlussanfragen im Jan. 2025: 226 GW

## Geplante Groß-Batteriespeicher

Fünffache Kapazität in zwei Jahren erwartet



Quelle: Enervis-Analyse im Auftrag des BSW-Solar, Stand September 2024

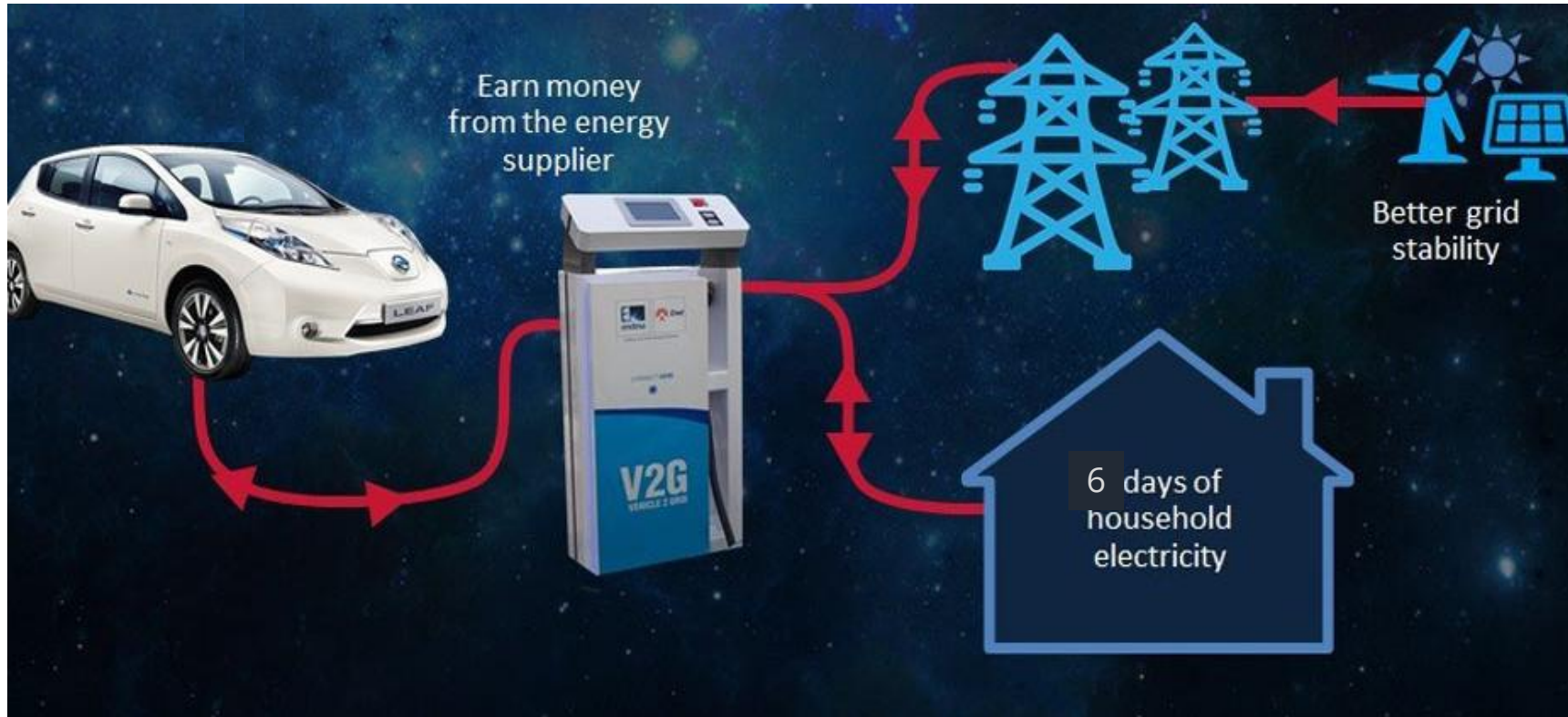
Derzeit größter Batteriespeicher Europas in Alfeld (Niedersachsen): 275 MWh / 137,5 MW (0,5 C)

*Geplant:*

Sachsen-Anhalt: 300 MW (250 Mio EUR; EcoStor)

Oberlausitz: 50 MW (Kosten k.A.; bis 2027; ESS)





vehicle-to-grid (V2G)

vehicle-to-home (V2H)

Eigenverbrauchsoptimierung steigert Selbstversorgung (Autarkie). Ökonomisch sehr sinnvoll.

V2G und V2H ermöglichen

- die Sektorenkopplung (Verkehr / Wärme / Strom)
- die Versorgung eines Hauses bei Stromausfall.
- tarifoptimiertes Laden/Entladen → kann als zusätzliche Einnahmequelle für Besitzer von Elektroautos dienen.