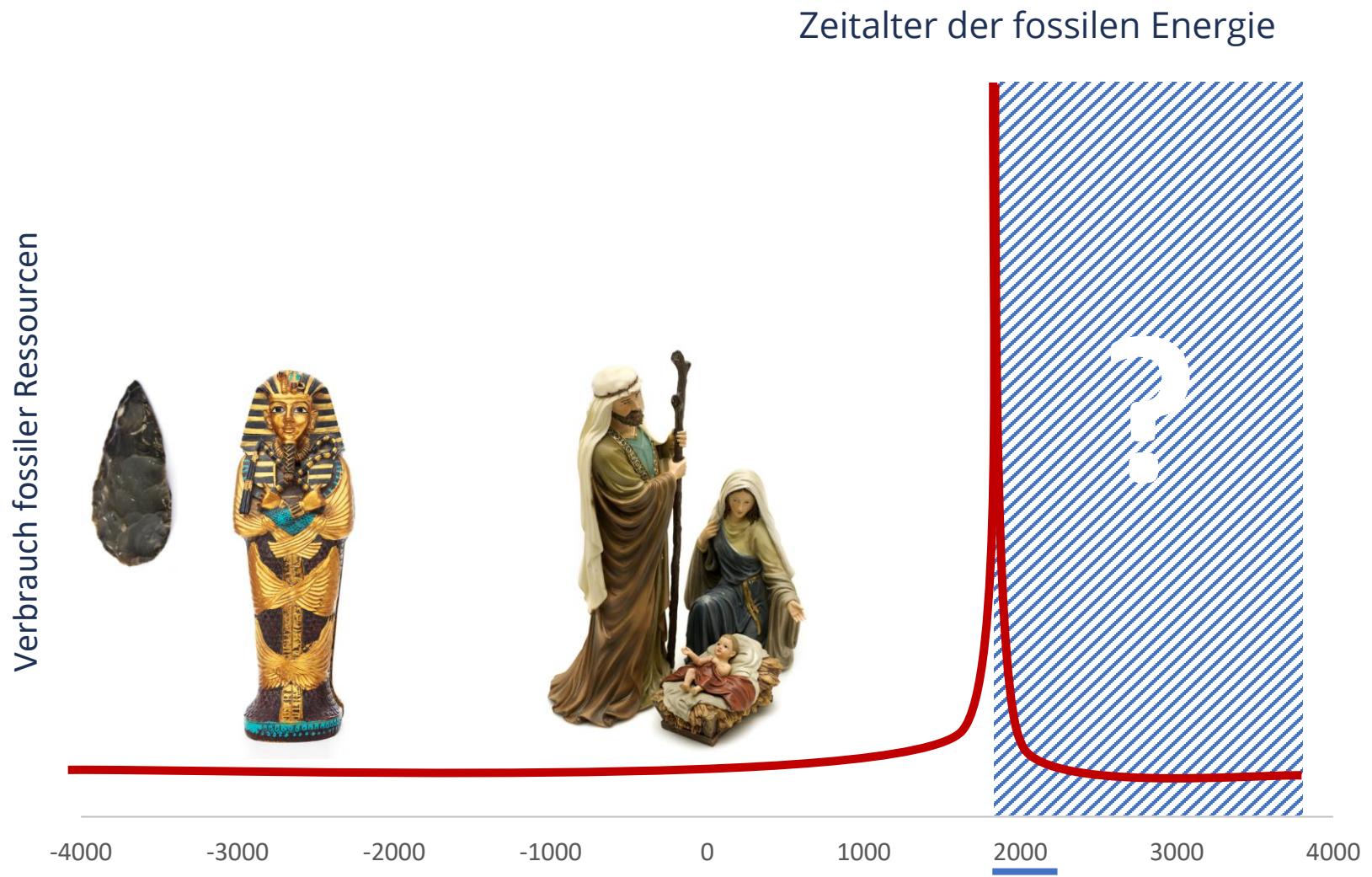


Maximilian Fichtner

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

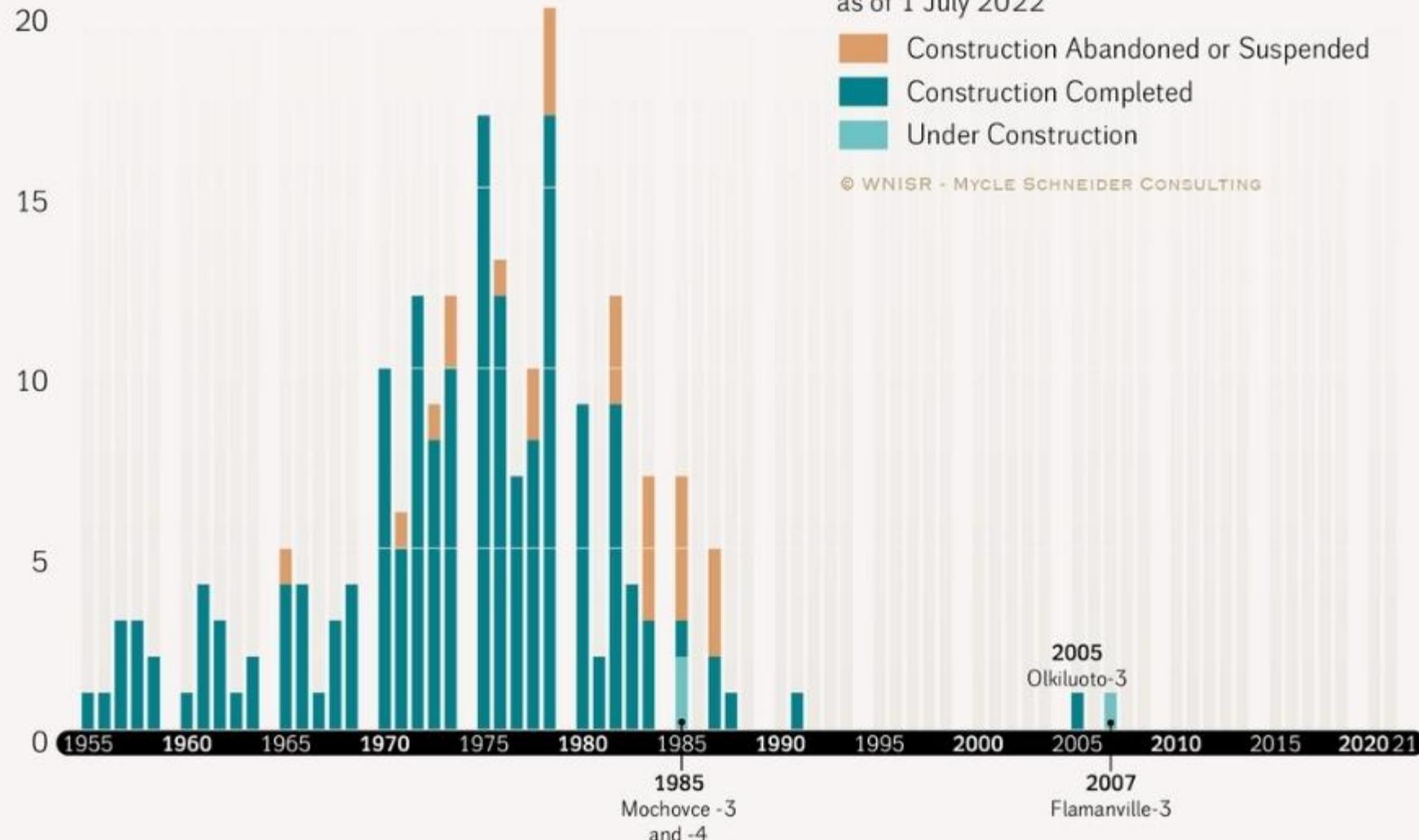
Dagegen baseload Preis am Markt: 6,2 Cent/kWh

- **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



stationary / home



(www.bauen.de)

portable



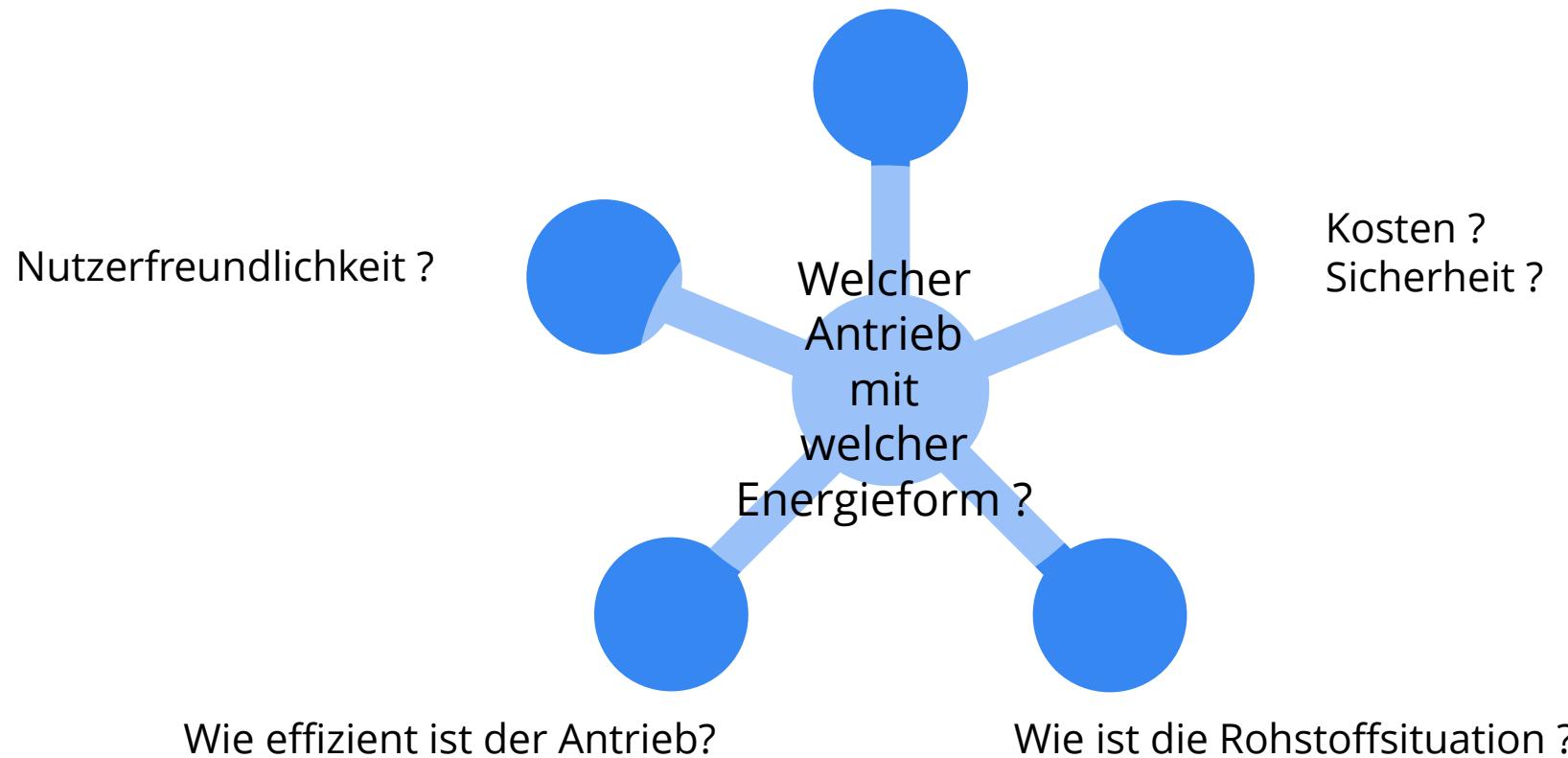
(www.hp.com)

mobile



(www.mungali.com)

Welcher Beitrag
zur Treibhausgas (THG)-Minderung?



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

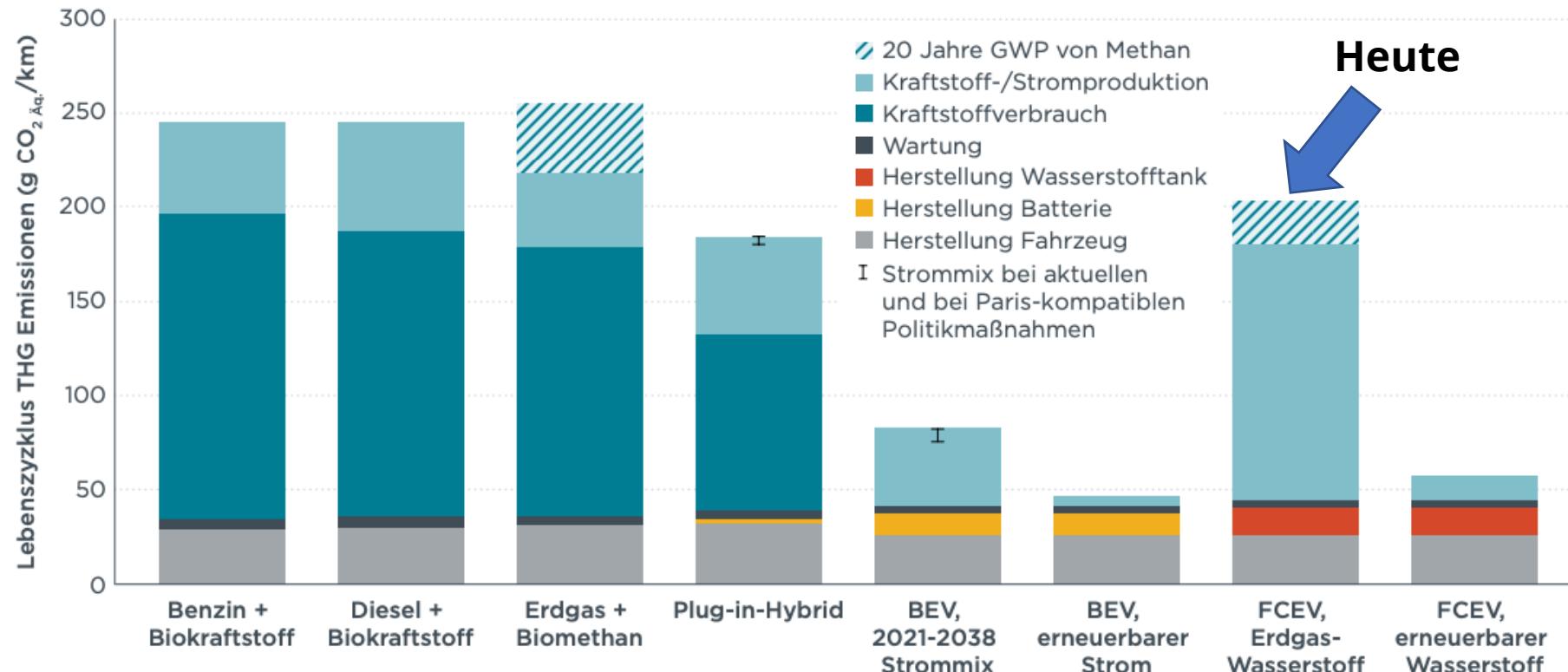


Abbildung 1. Lebenszyklus-Treibhausgas (THG)-Emissionen von durchschnittlichen neuen Benzin-, Diesel- und Erdgasfahrzeugen, Plug-in-Hybrid-Elektrofahrzeugen, Batterie-Elektrofahrzeugen (BEV) und Brennstoffzellen-Elektrofahrzeugen (FCEV) in der Kompaktklasse, die 2021 in Europa zugelassen werden. Die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

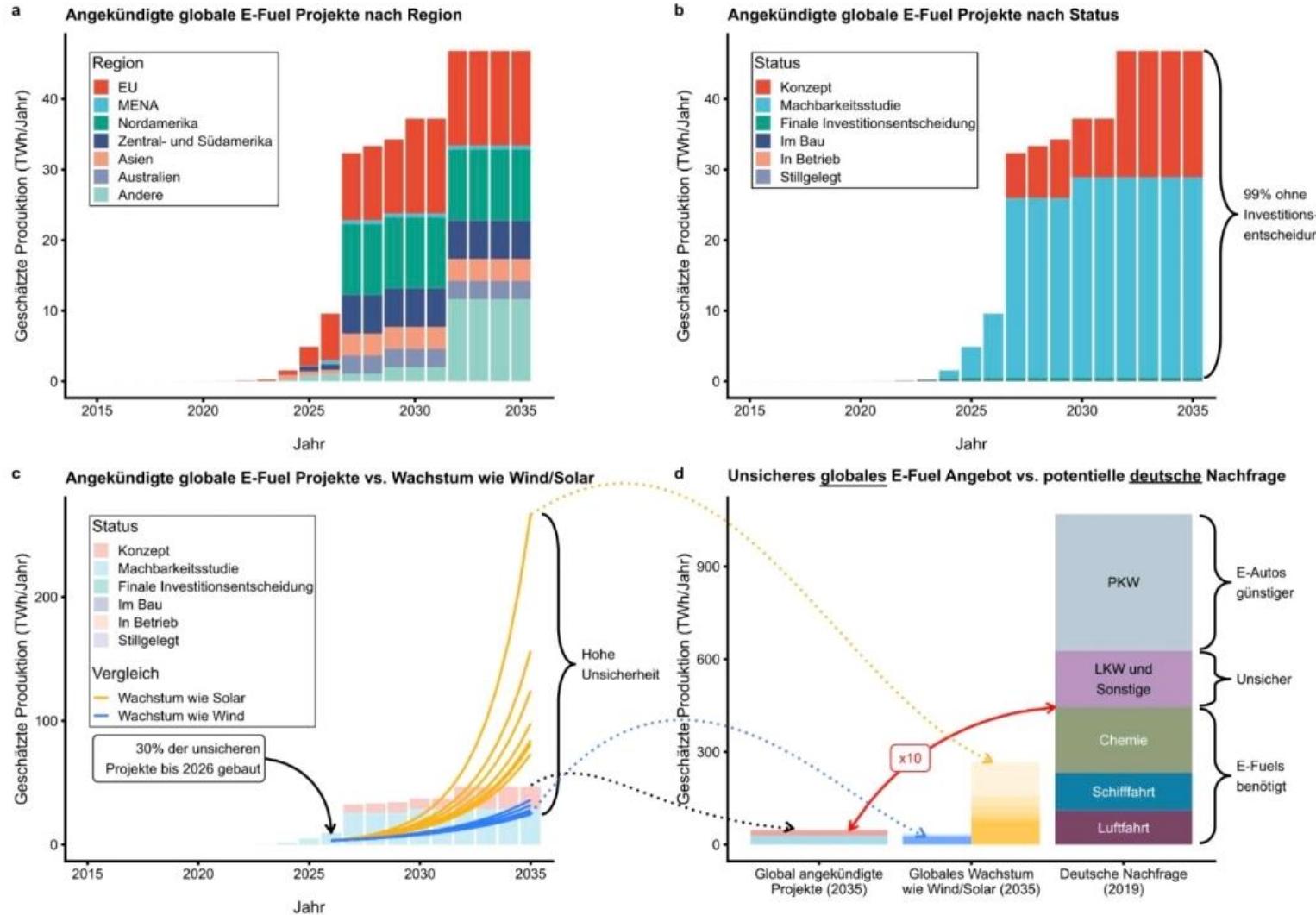


Abbildung 1: (a) global angekündigte E-Fuel-Projekte (flüssige strombasierte Kohlenwasserstoffe) nach Region und (b) nach Projektstatus. (c) Hochlaufszenarien mit historischen Wachstumsraten⁵ von Windkraft und Solar-Photovoltaik. (d) Vergleich der globalen Ankündigungen und Hochlaufszenarien (für 2035) 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

360 PS



560 PS



9

Bewegte Teile:
ca. 1300

Nicht gezeigt:

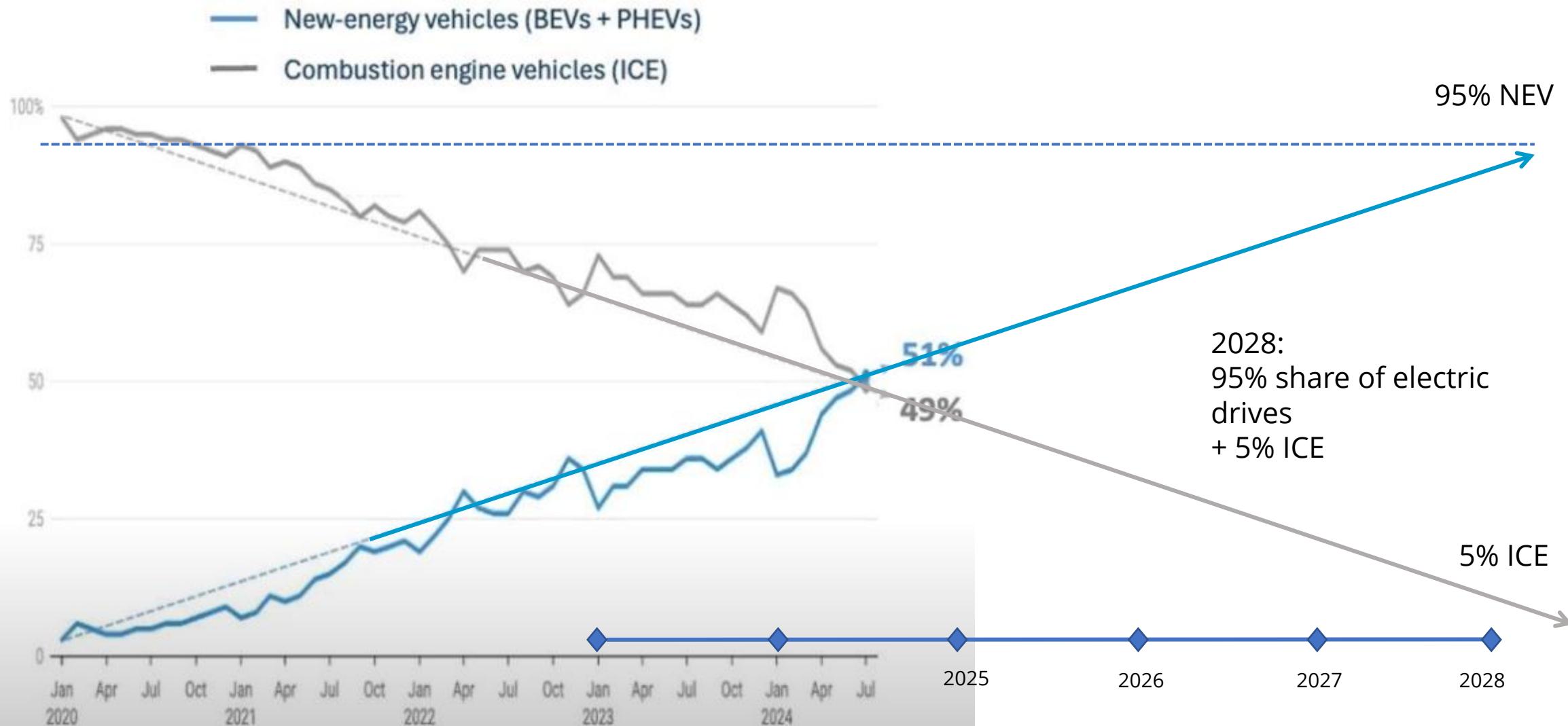
- Getriebe
- Transmission
- Tanksystem
- Auspuffanlage

Bewegte Teile:
ca. 40

Nicht gezeigt:

- Batterie
- Leistungselektronik

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

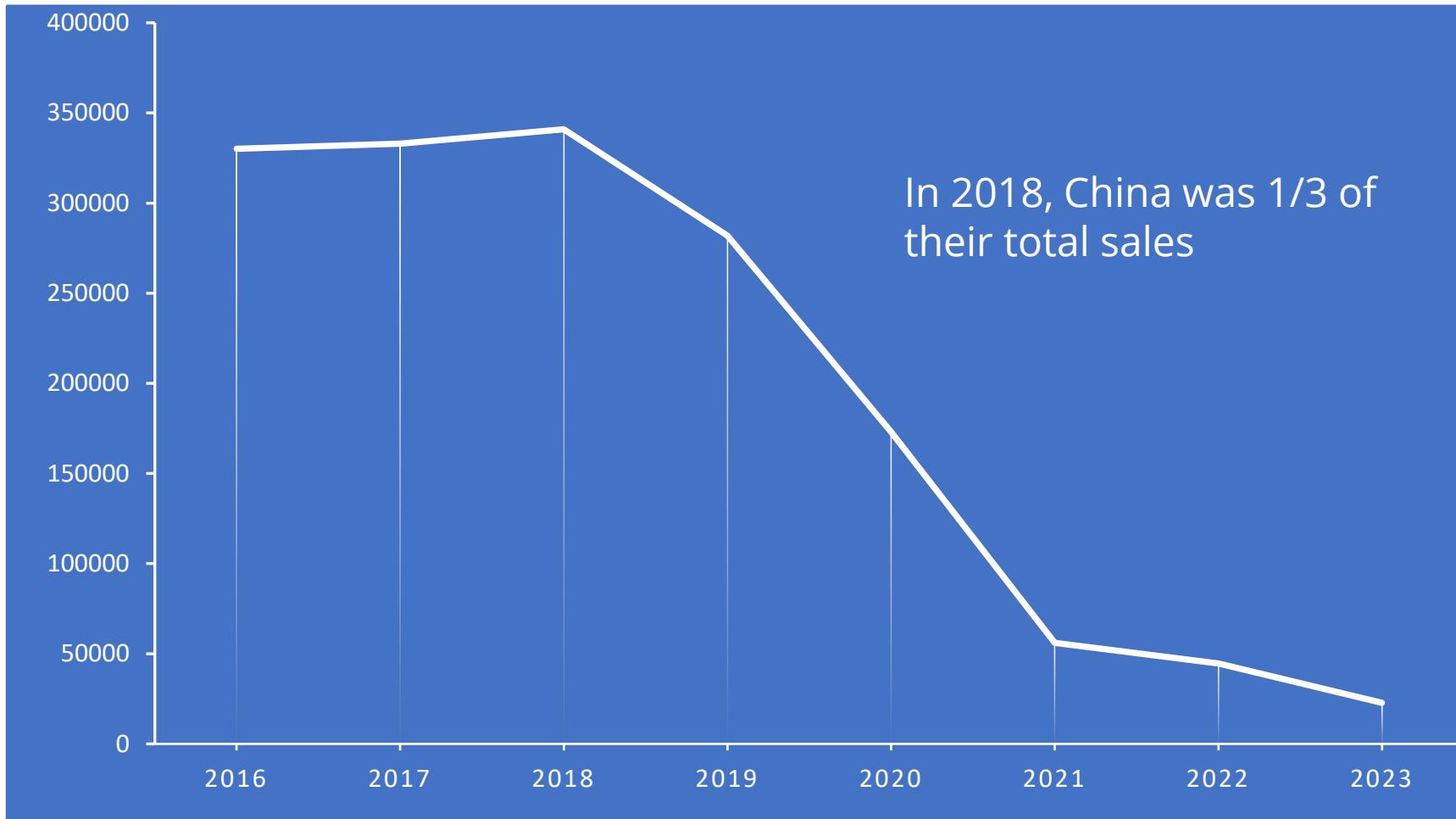


Data source: China Passenger Car Association
Chart: Carbon Brief

CarbonBrief
CLEAR ON CLIMATE

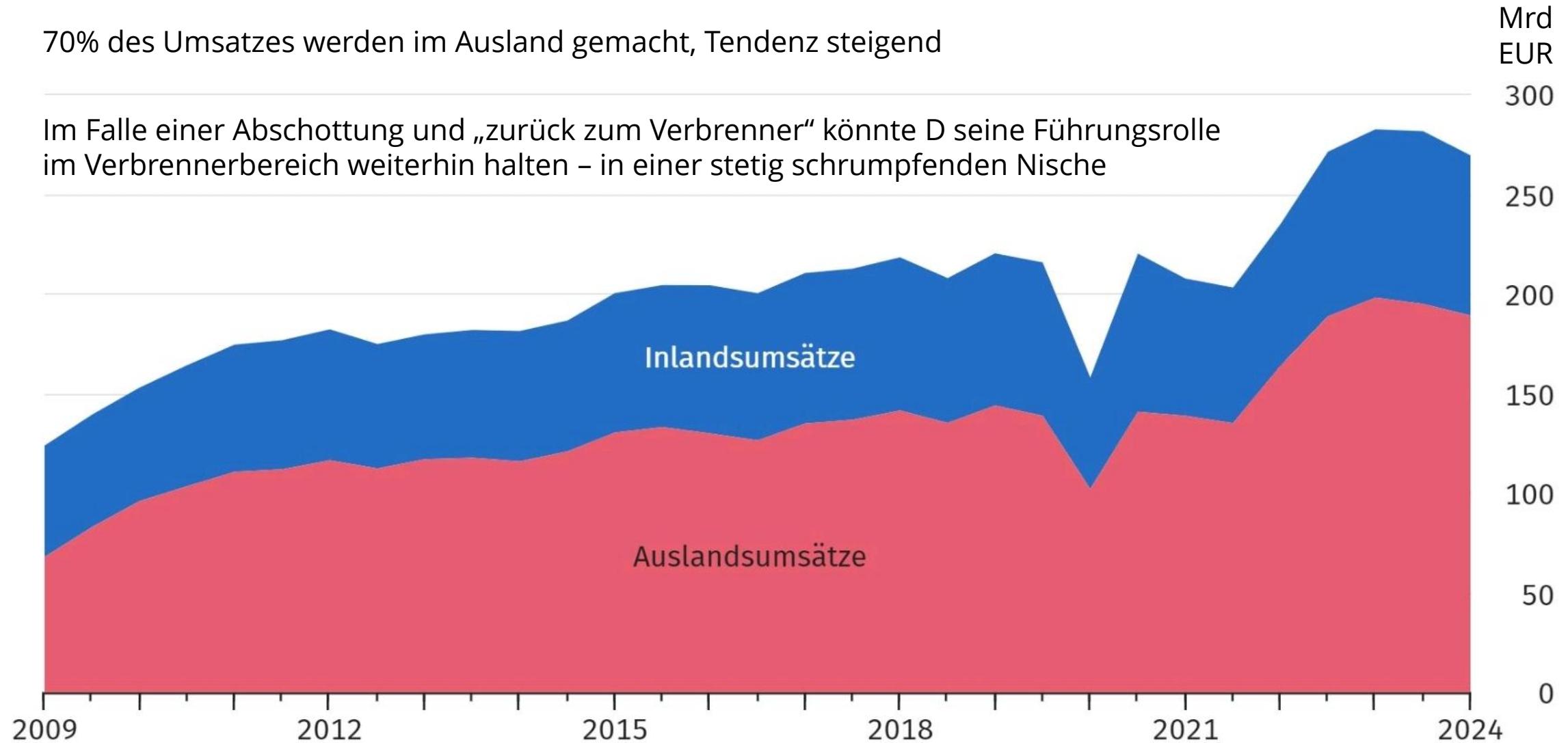
@gavinmooney

The beginning dusk of ICE cars



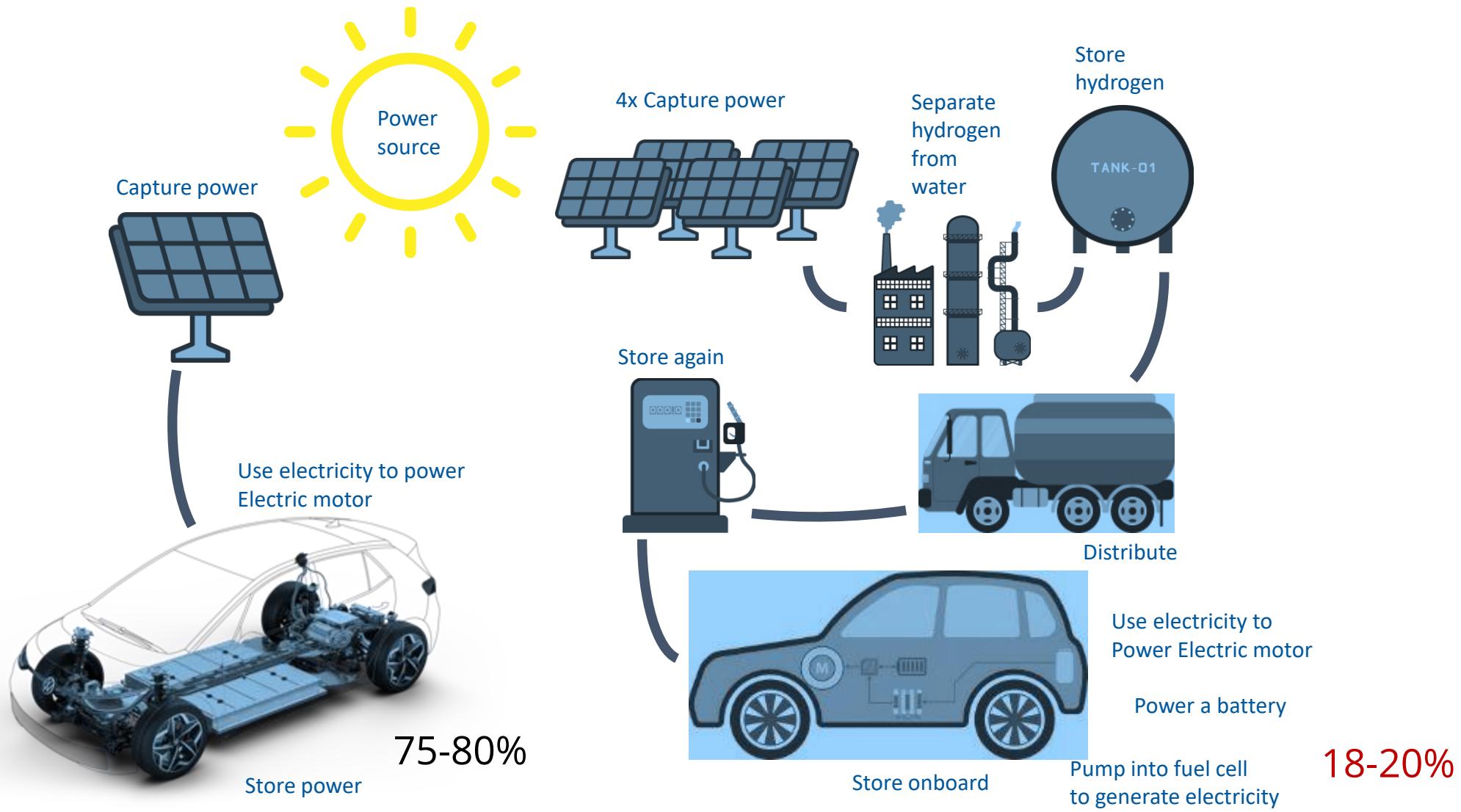
70% des Umsatzes werden im Ausland gemacht, Tendenz steigend

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



Batterieelektrischer Antrieb

H₂ Antrieb mit Brennstoffzelle

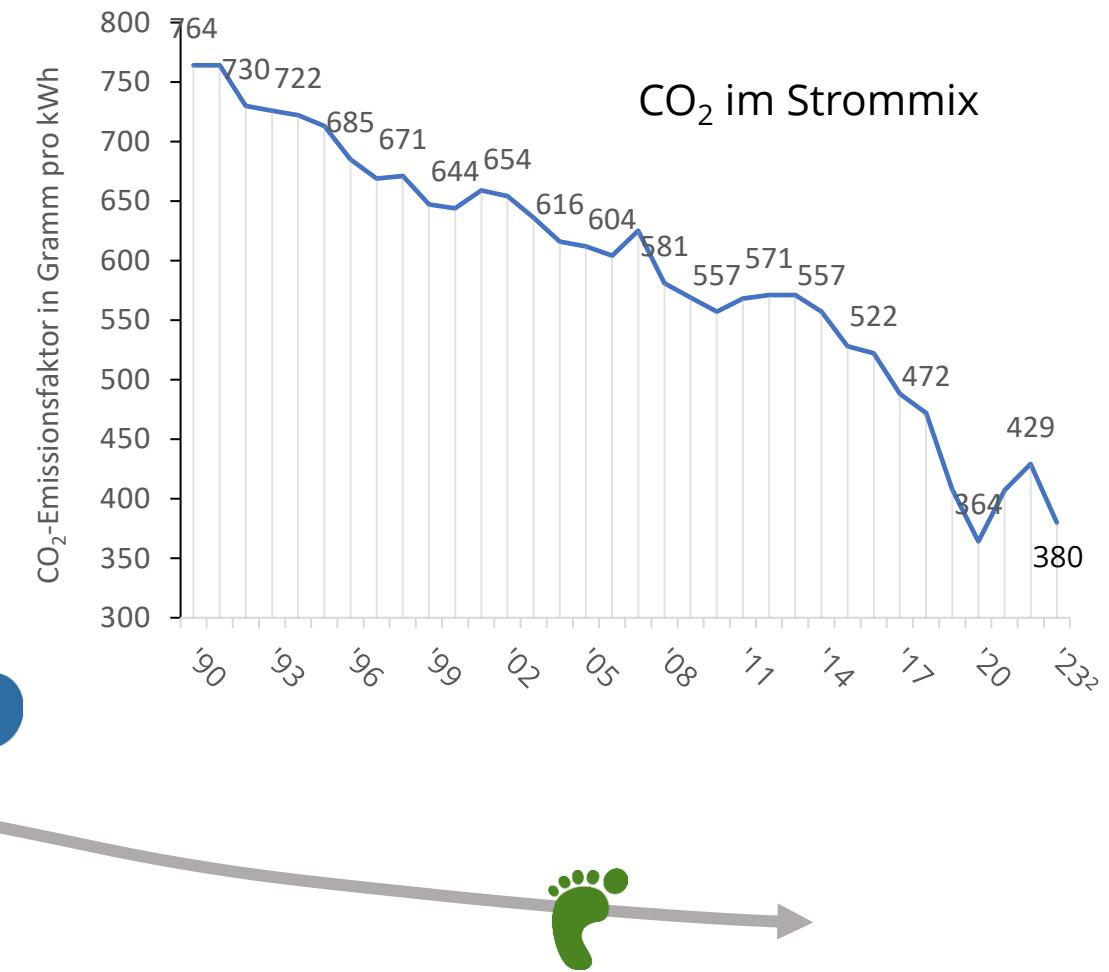
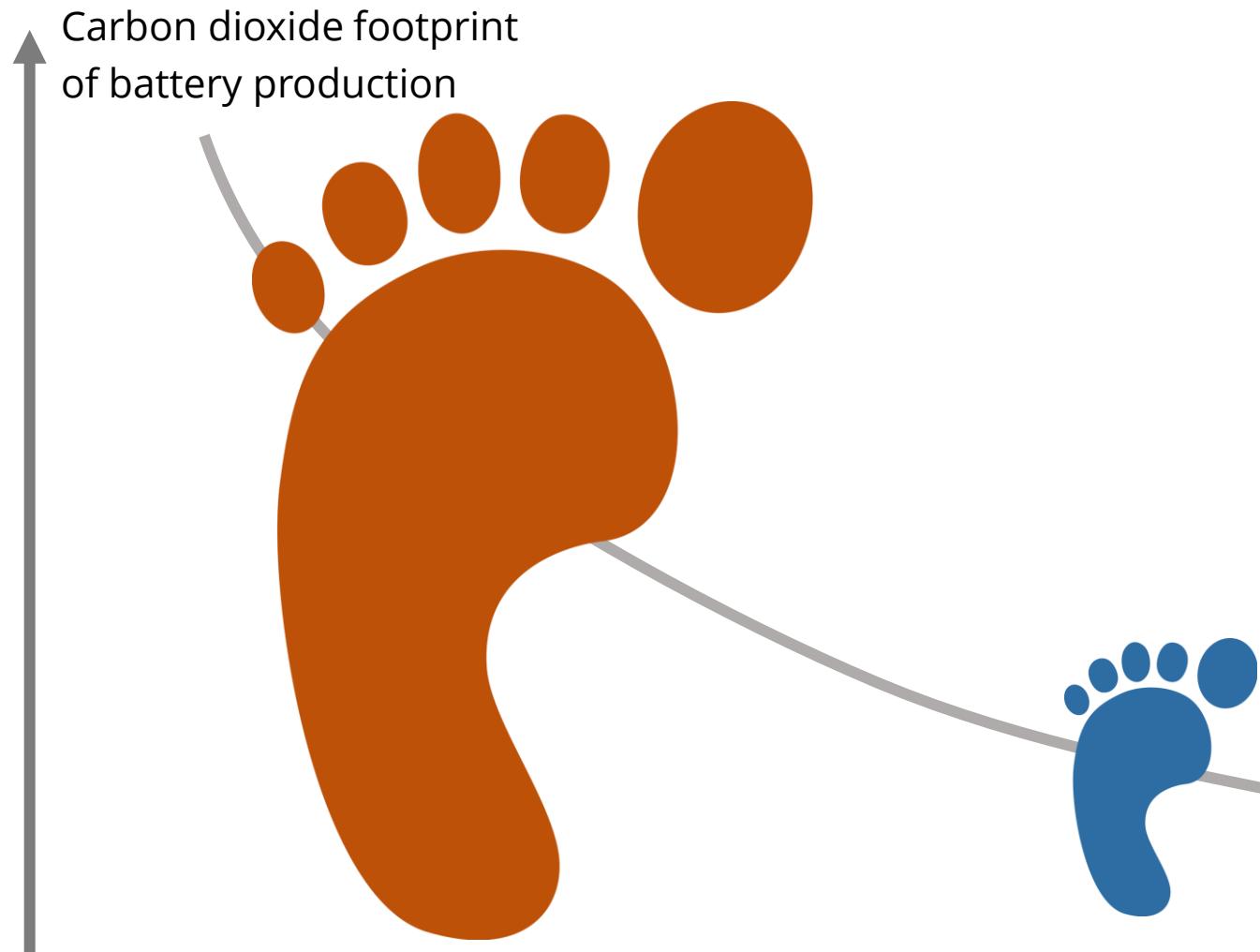
Antriebsarten im Vergleich / Energiebedarf

Energiequelle	Energieträger	Drive	lokal emissionfrei	1 Windrad versorgt...
3 MW 2000 h/a e.g. 1 wind turbine 3 Megawatt 3000 h/year	Strom	 Elektroauto mit Batterie (BEV)	ja	1 Windrad versorgt... PKW mit 20.000 km / Jahr  1600 Fahrzeuge
	Wasserstoff	 Elektroauto mit Brennstoffzelle (FCEV)	ja	 600 Fahrzeuge
	eFuel	 Auto mit Verbrennungs- motor (ICE)	nein	 250 Fahrzeuge

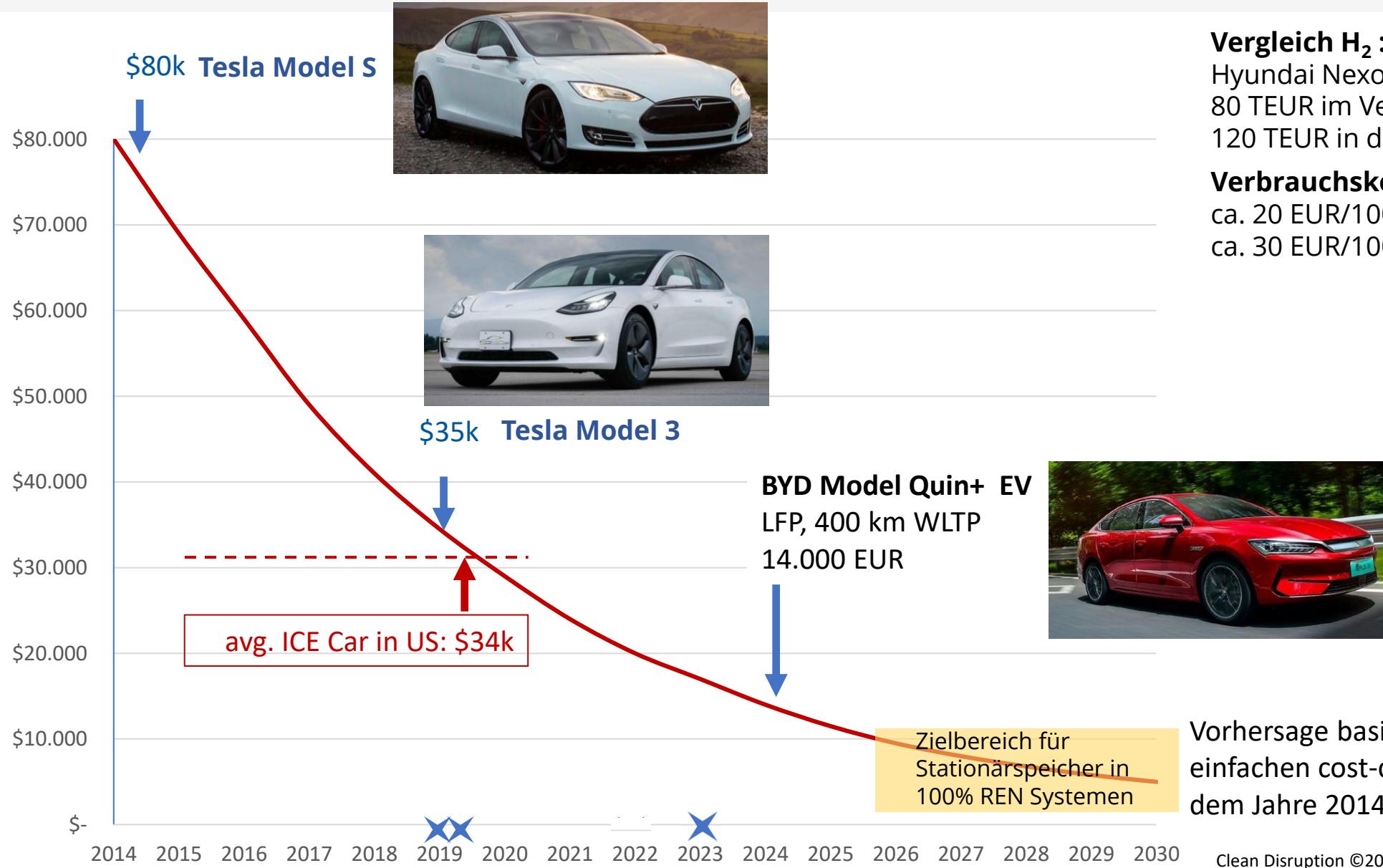
Strom:
1600 PKW

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,
ca. 30 EUR/100 km in A

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

BYD

BYD
2024 款海豹™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.

Neue Batteriefahrzeuge für unter 30.000 EUR ab 2024

VINFEST
VF 6



27.220 € OMODA 5



Ford
Puma EV



25.000 €

Skoda
Elroq



32.900 €

Citroën
ë-C3



24.000 €

HYUNDAI
Casper EV



18.070 €

Quelle: ADAC, 2024



TOYOTA

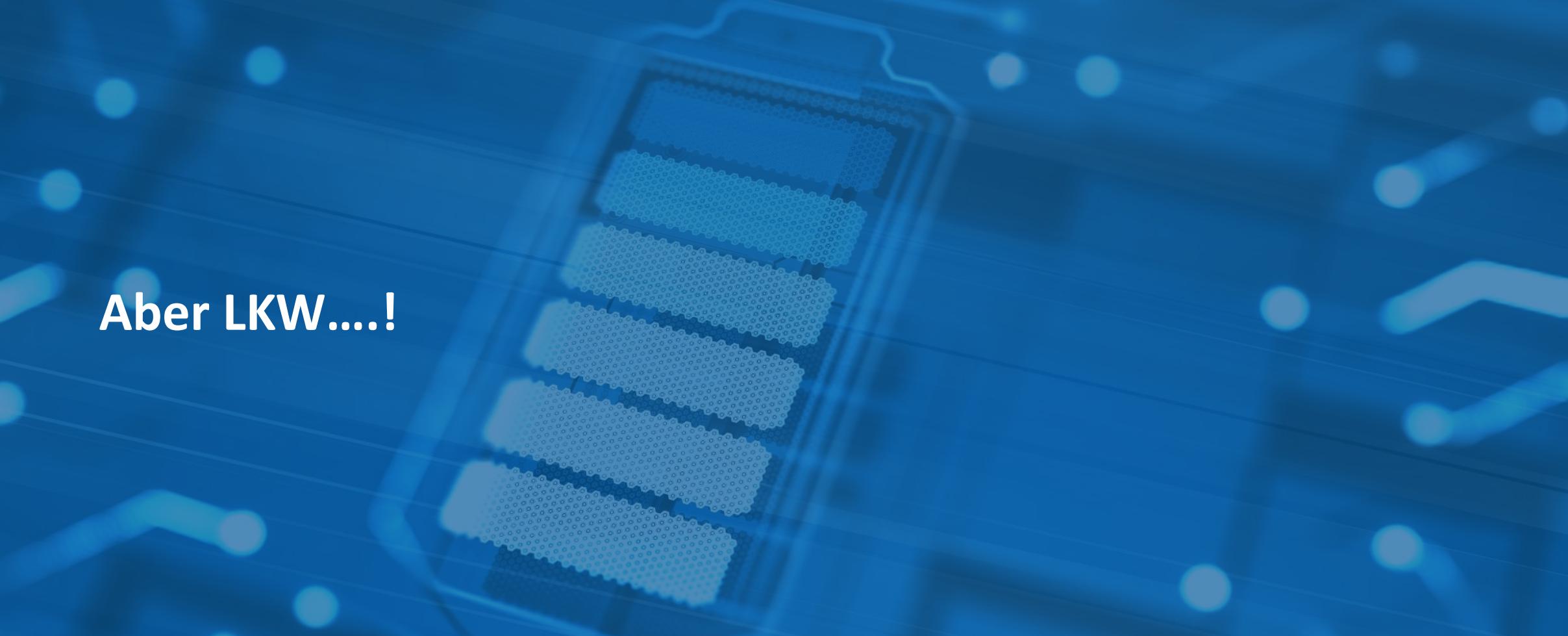
TOYOTA
Model bZ3X
from 15.000 USD

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.

Reichweitenangst: Neue Batteriefahrzeuge mit > 650 km Reichweite ab 2024





Aber LKW....!

BEV/FCEV-trucks: consumption/km and worldwide registrations

H₂ for heavy duty

Gets competitive at < 4-5 EUR/ kg H₂¹⁾

Currently: in BRD 16,05 -17,75²⁾ EUR/ kg H₂ („grey“ H₂), in Austria ca. 24 EUR/kg

- Factor 1/4 (1/6) for green H₂ 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 H₂/100 km³⁾

→ **1,40 EUR/km** in D or **1,92 EUR/km** in A



40-ton BEV Truck: 90 kWh/100 km⁴⁾

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

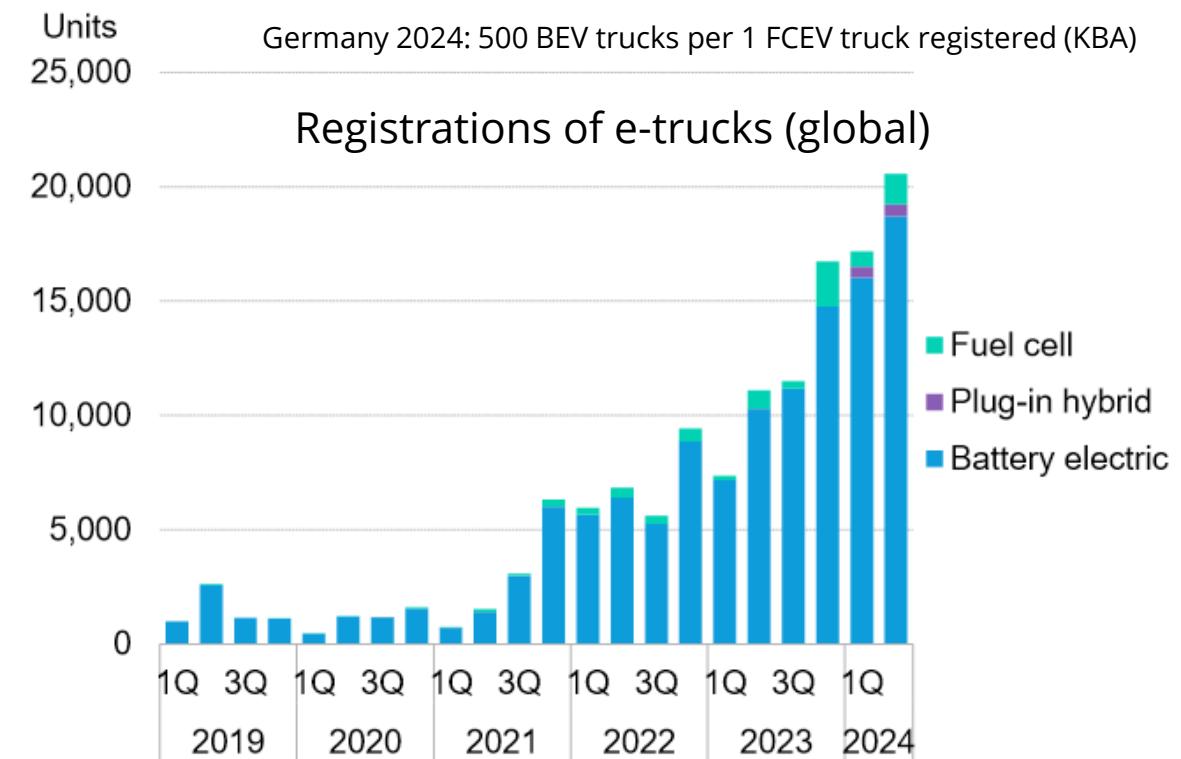


¹⁾ P3 Automotive, 2023

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.

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.

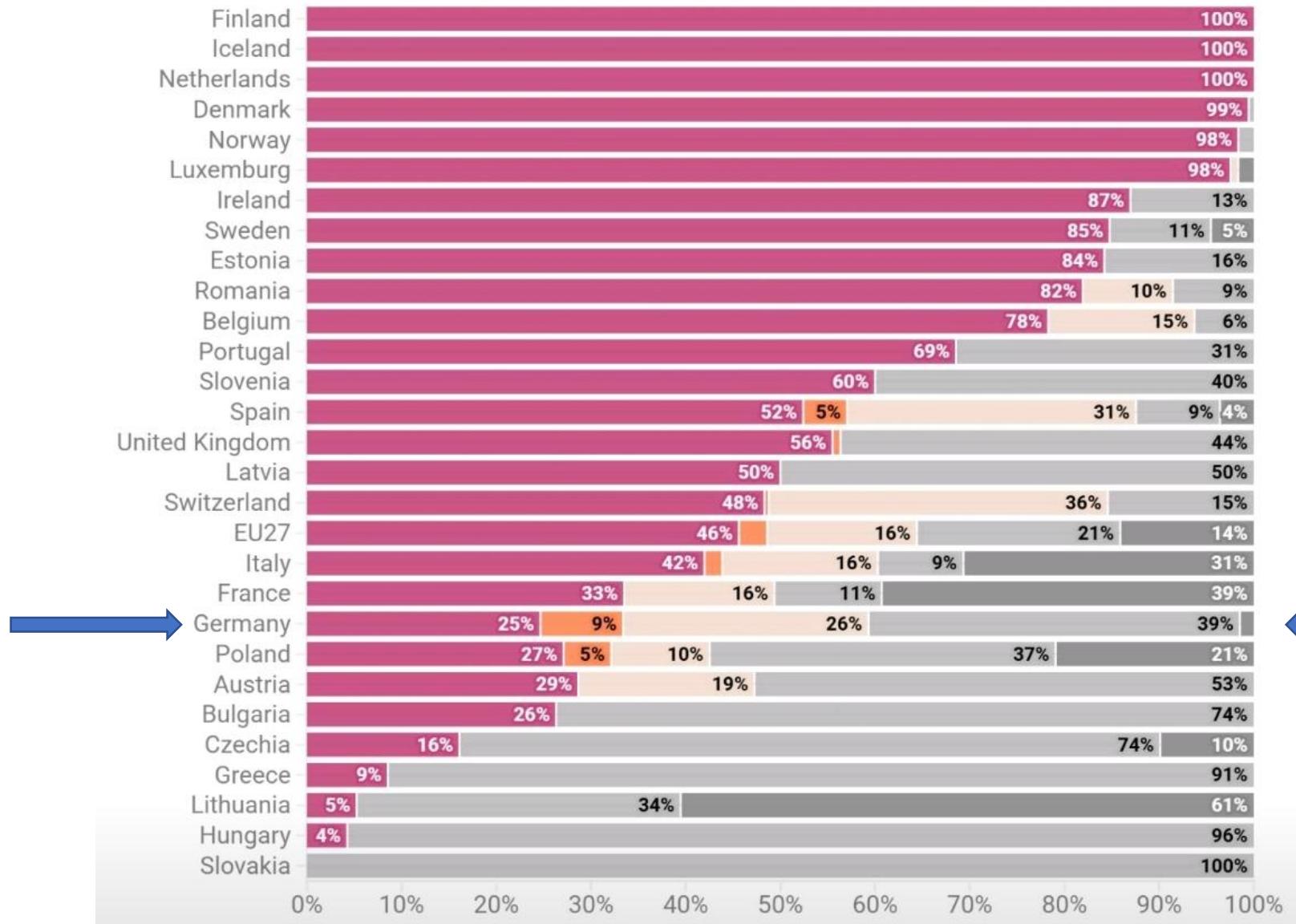
Das heißt, dass die Batterie (Reichweite von 500 km) bei E-Bussen möglich machen soll, **bis zu etwa 500.000 km keine Kapazitätsverluste** haben wird.



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

Neuzulassungen von Stadtbussen 2024

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



Ref: Chatrou CME Solutions (2024)
T&E

“

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*

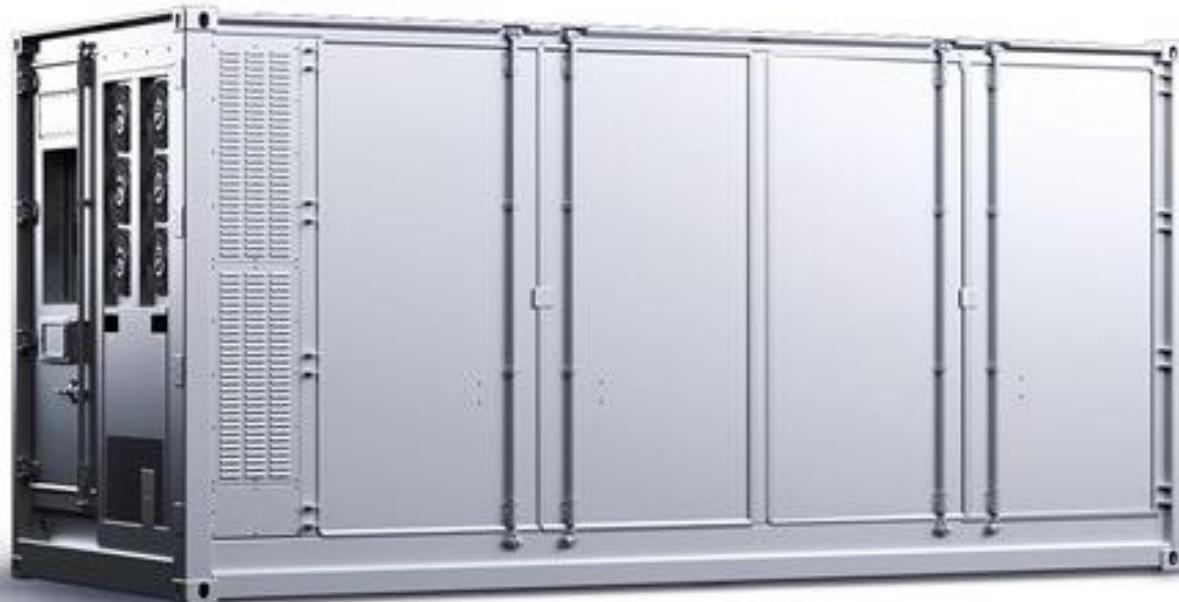
H2-Busse vs. BEV Busse
2x teurer im Invest
6x teurer im Betrieb



Image: Van Hool

Stationärspeicher

Stationärspeicher mit neuen Li-Ionenbatterien auf Eisenphosphatbasis



(ref. CATL, 2024)

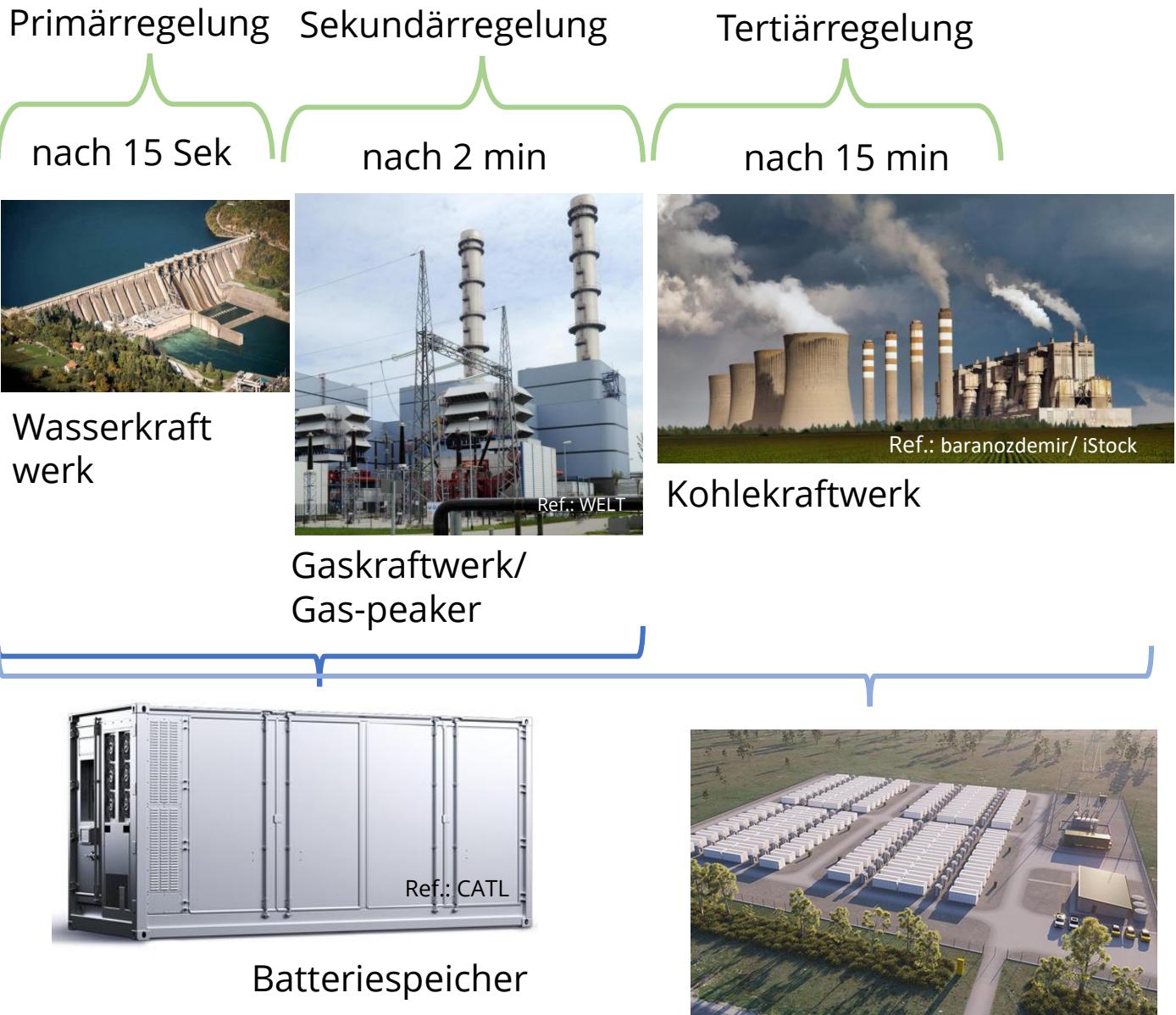
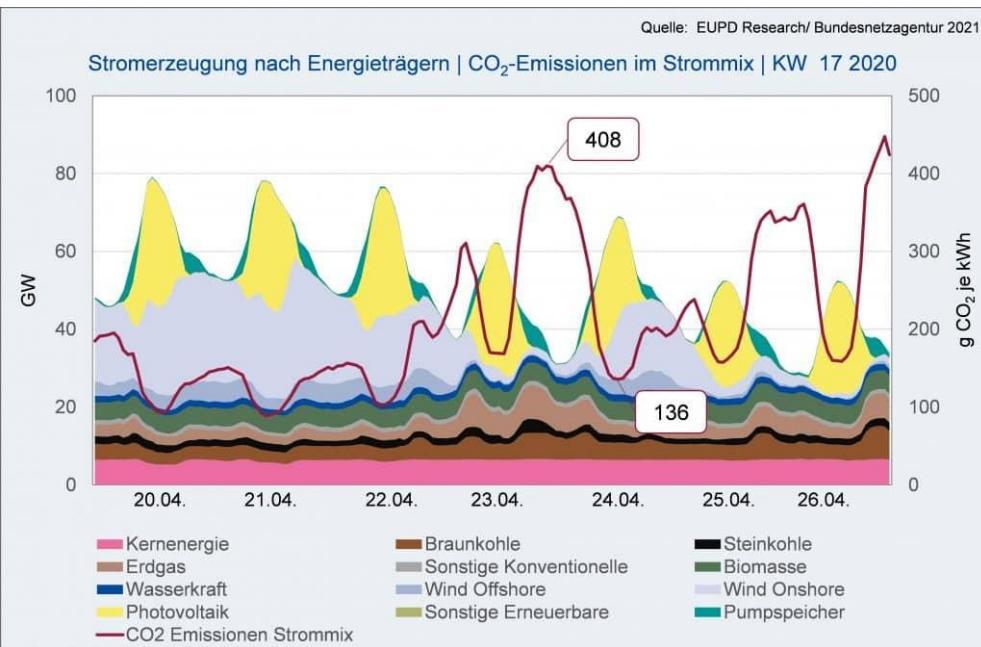
6.25 MWh Speichersystem (TENER System)
Null Degradation in den ersten 5 Betriebsjahren
Standard Container

Energiedichte
430 Wh/L

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

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

Welche Rolle können diese Speicher im Stromnetz einnehmen?



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

#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; 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“)

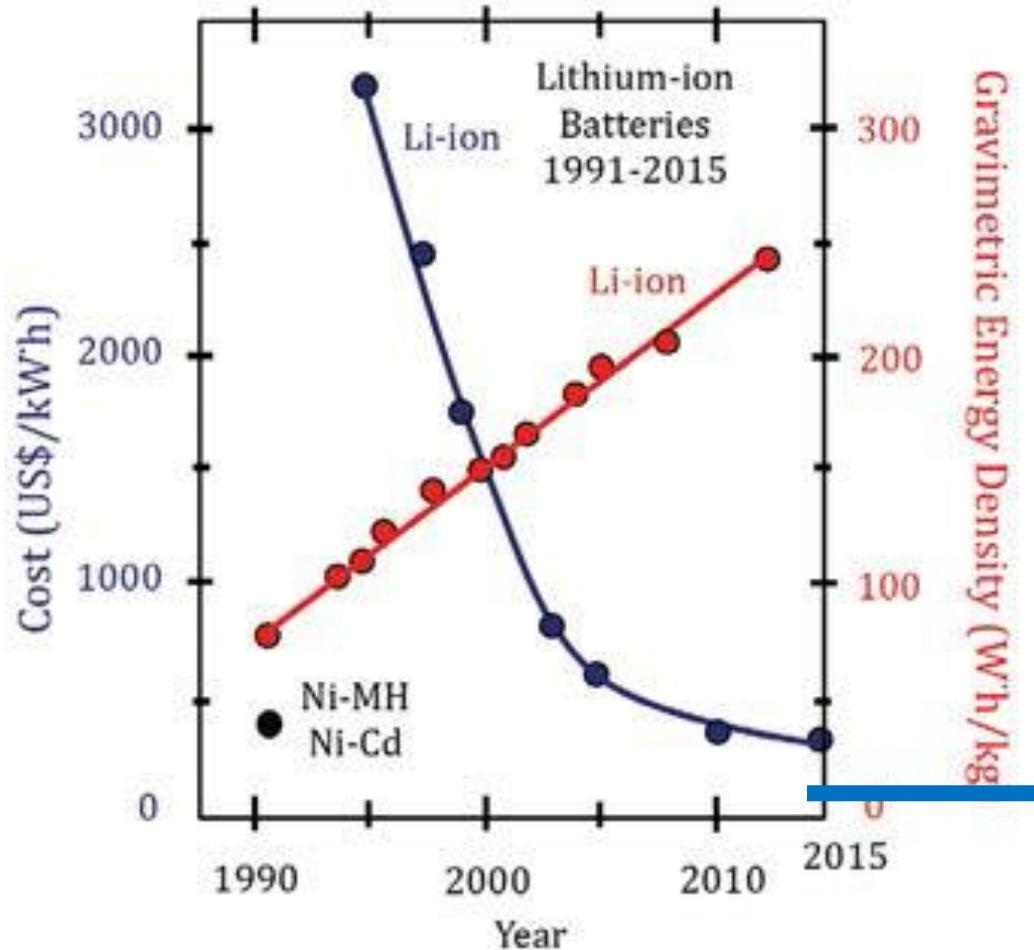
Charged \rightleftharpoons Discharged



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

Aktuelle Entwicklungen

Wie geht es weiter?

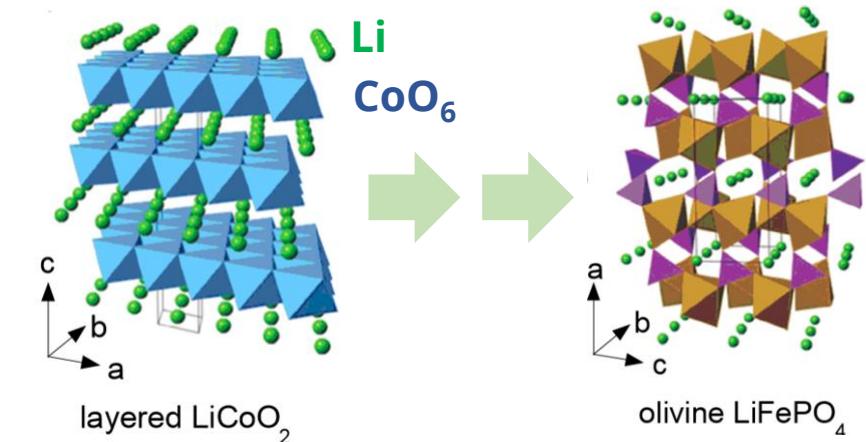
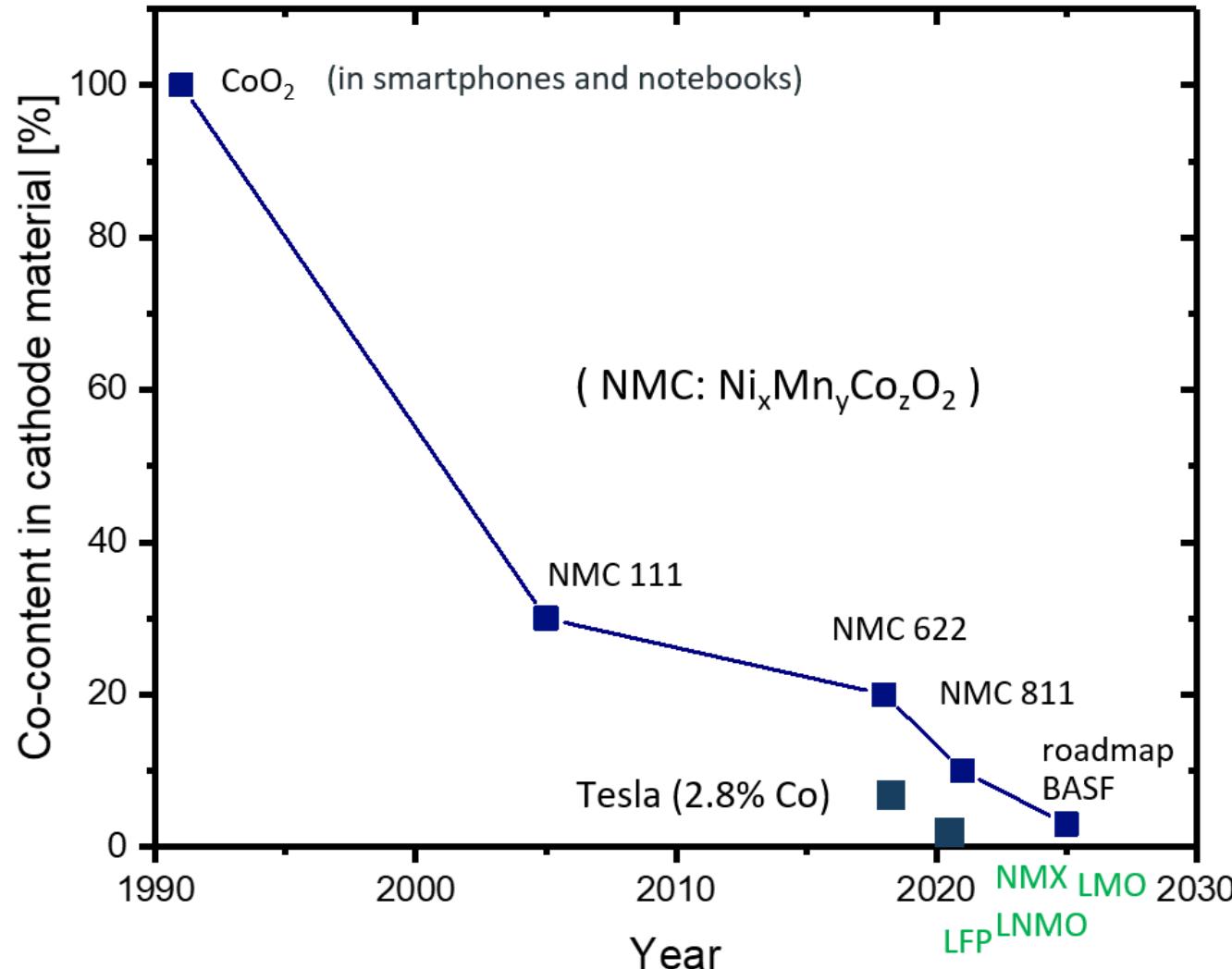


Seit der Markteinführung:
Energiedichte: x4
Kosten÷50

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

Kostenziel
für 2024

Cathode: Kobalt-Gehalt im Pluspol von Batterien.



TESLA liefert derzeit > 50% ohne Co aus

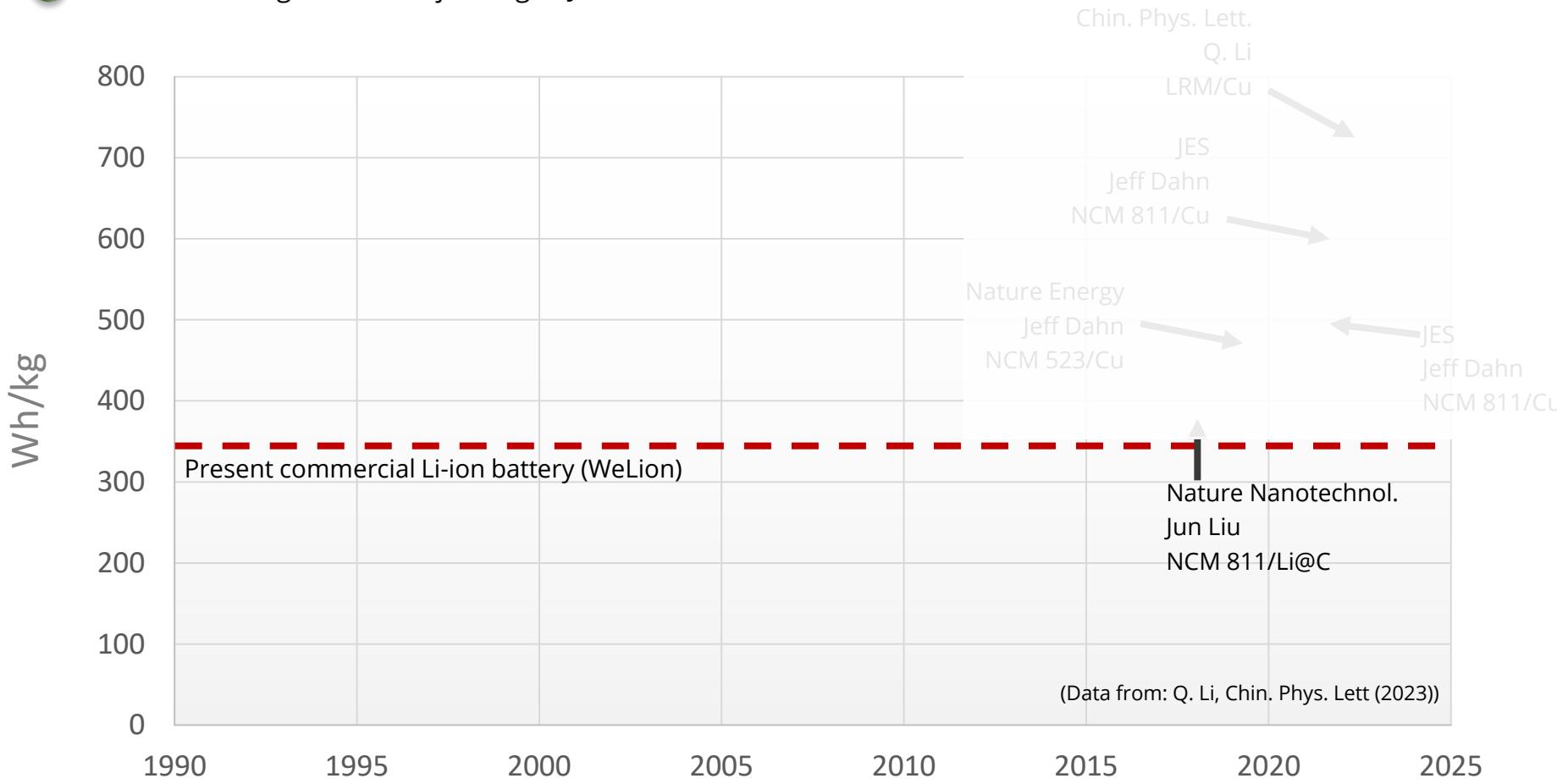
LFP: LiFePO_4
NMX: $\text{LiNi}_{3/4}\text{Mn}_{1/4}\text{O}_2$
LMO: LiMnO_2

(Materials with 0% cobalt)

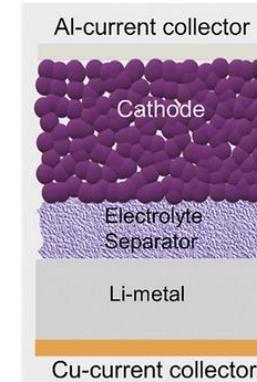
Vergleich der Energiedichten von Li-Ionenzellen über die letzten 30 Jahre



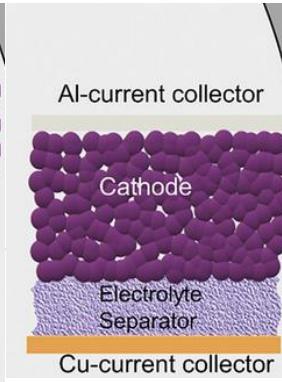
Höchste Energiedichte im jeweiligen Jahr



LMBs:
< 300 Wh/kg



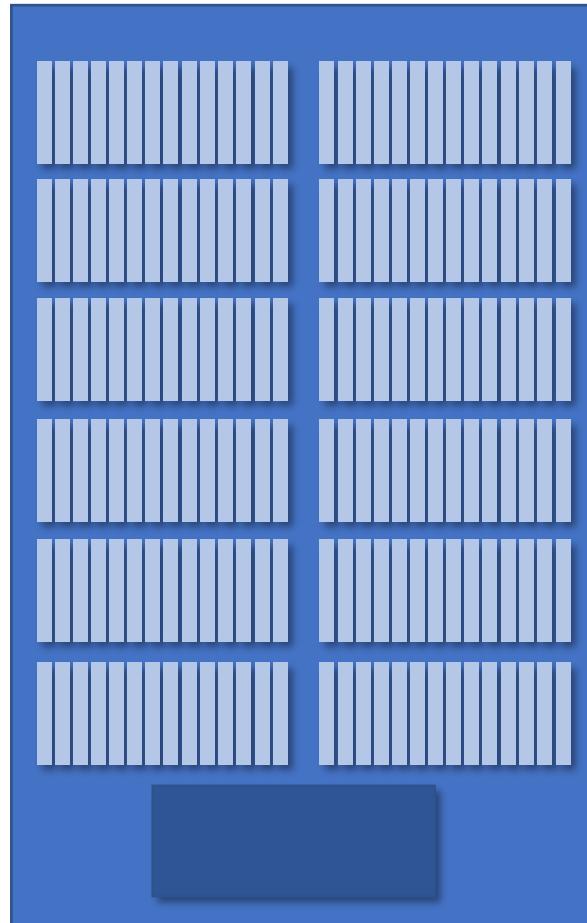
AFLMBs:
< 300-500 Wh/kg



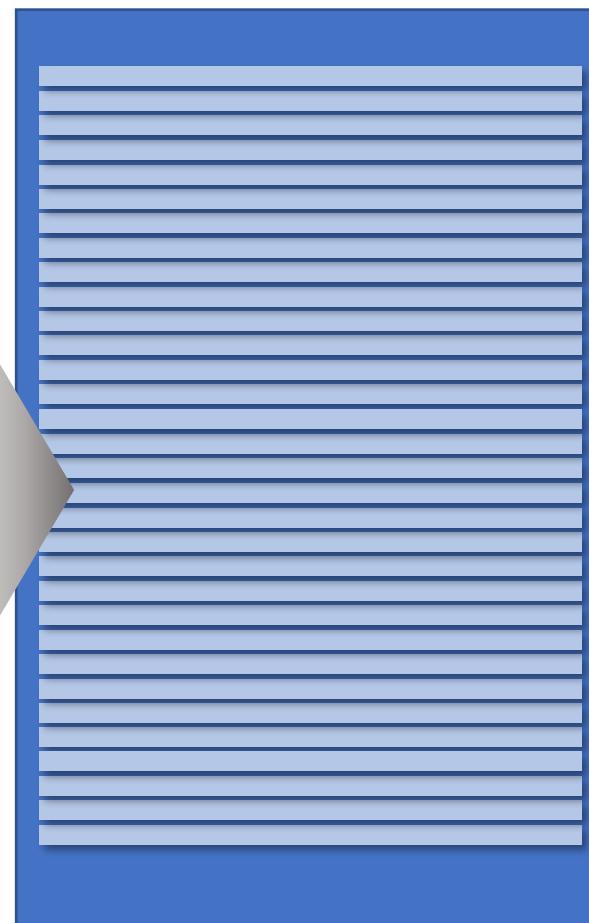
P. Molaiyan *et al.*,
Adv. Func. Mater. 34 (2024)

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

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**

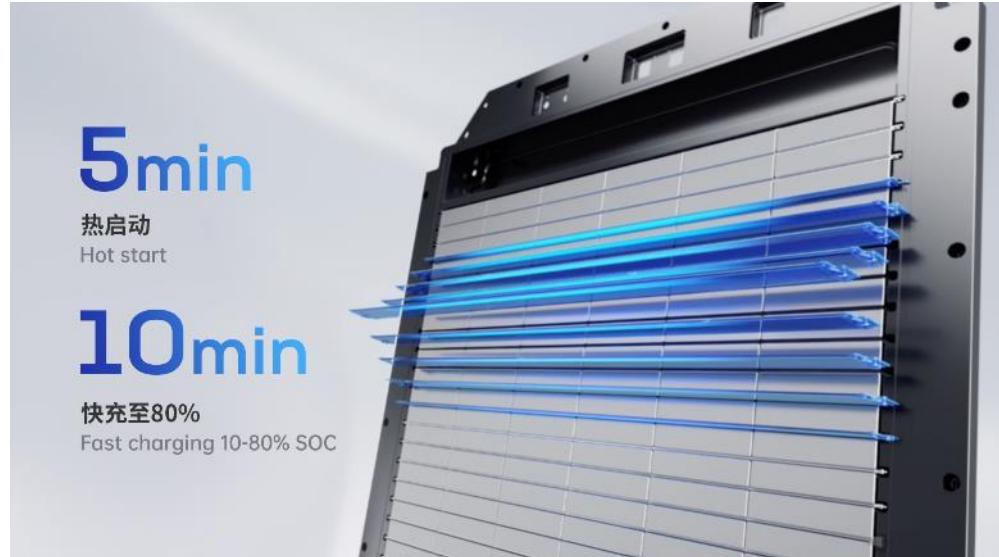
**Zahl der Teile für die Fertigung des Batterie
Packs verringert sich um 40%.**

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**

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 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)



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“)

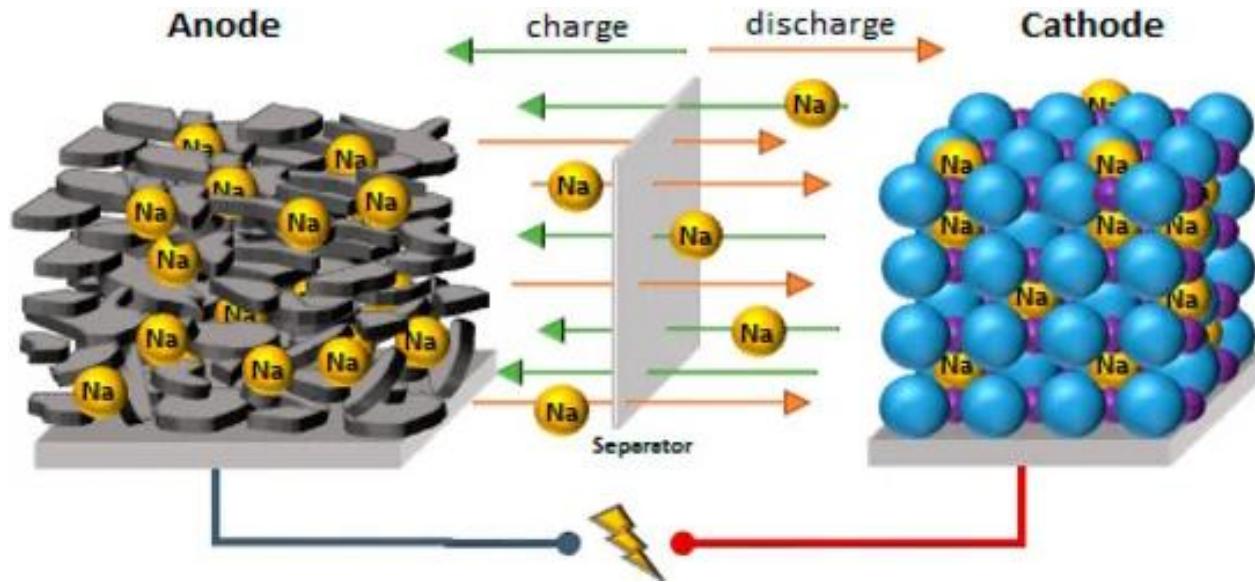
Vielen Dank !

www.celest.de

www.hiu-batteries.de

www.postlithiumstorage.org

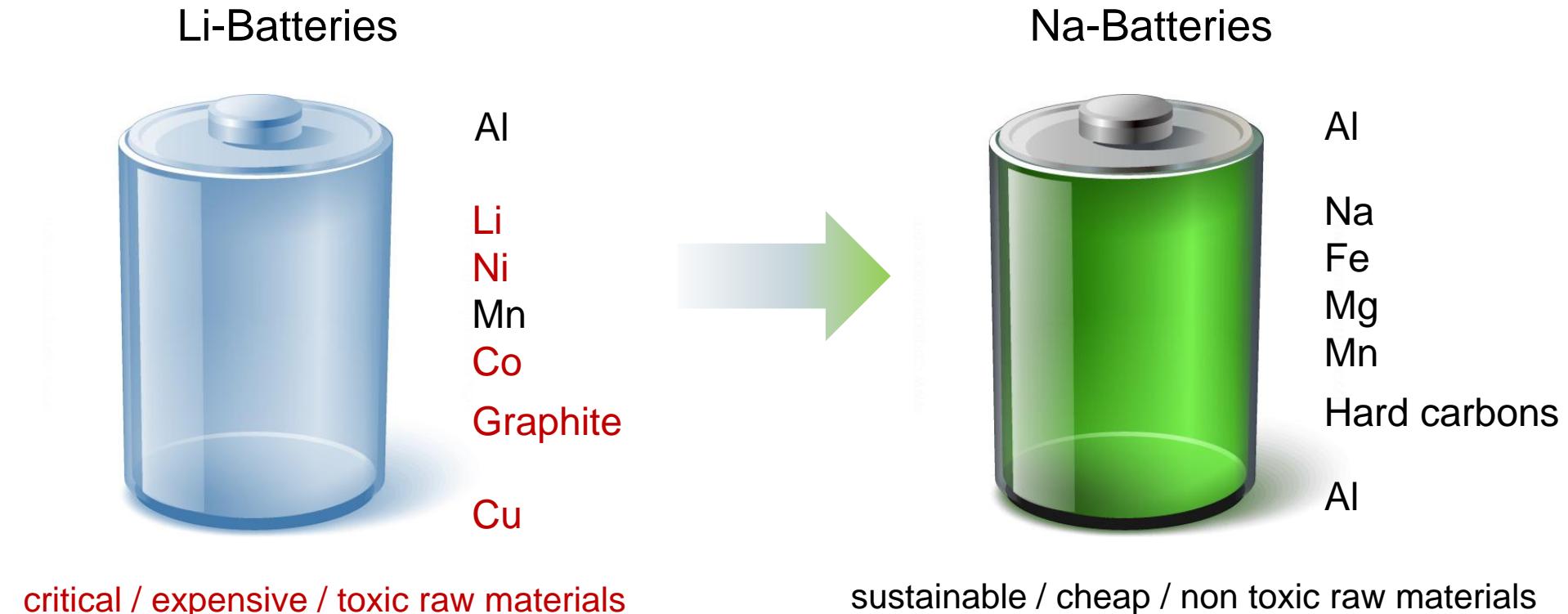




POLOS
Post Lithium Storage
Cluster of Excellence

📖 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

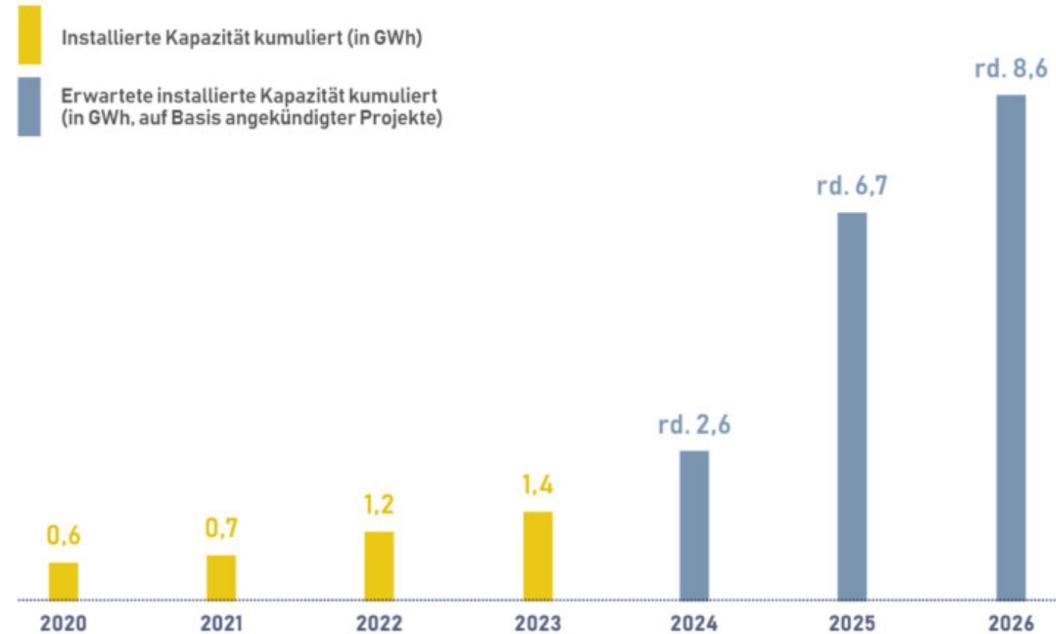


Image: JAC

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

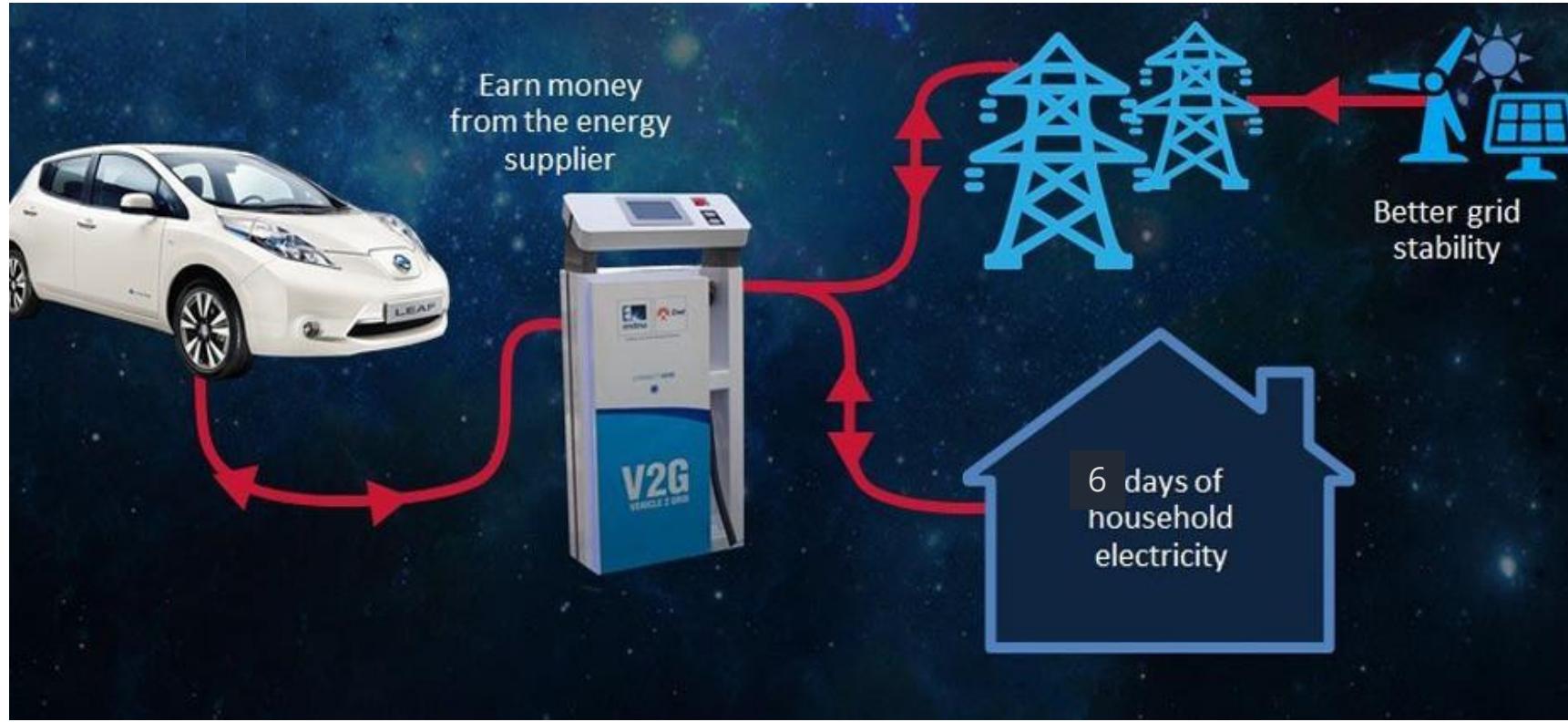
Derzeit größter Batteriespeicher Europas in Alfeld (Niedersachsen): 275 MWh / 137,5 MW (0,5 C)

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.