

Maximilian Fichtner

Die Transformation der Antriebe

Vollelektrische Antriebe im Vergleich zu Wasserstoff- und Verbrennungsmotoren mit e-Fuels

Jahrestagung ÖVG Linz, 18.5.2022

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

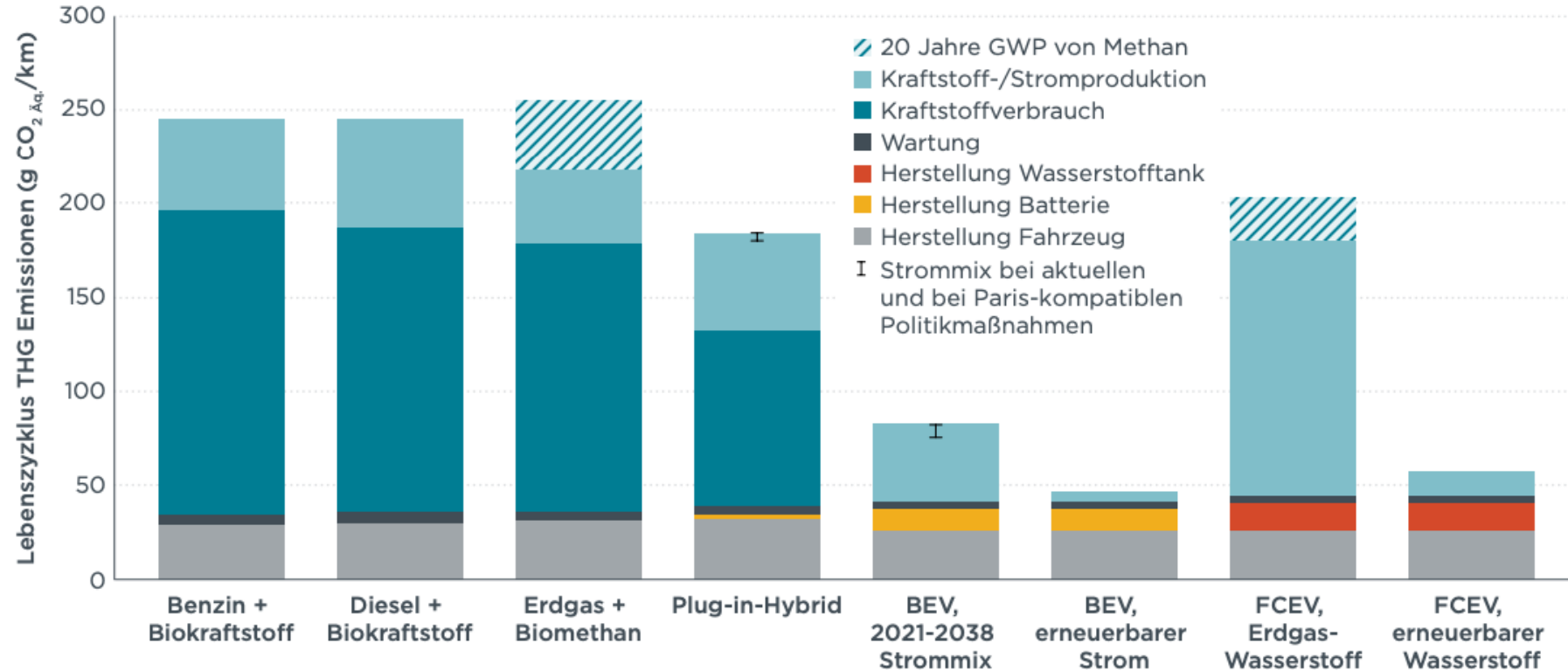


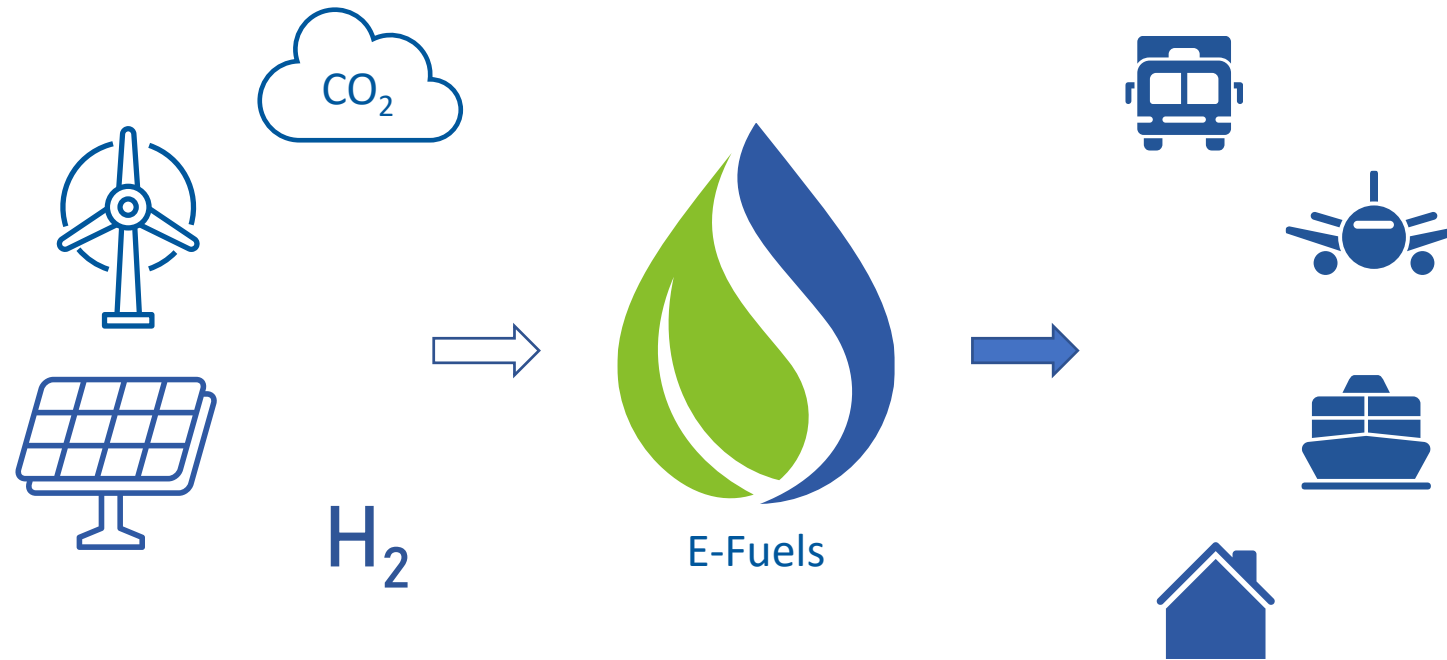
Abbildung 1. Lebenszyklus-Treibhausgas (THG)-Emissionen von durchschnittlichen neuen Benzin-, Diesel- und Erdgasfahrzeugen, Plug-in-Hybrid-Elektrofahrzeugen, Batterie-Elektrofahrzeugen (BEV) und Brennstoffzellen-Elektrofahrzeugen (FCEV) in der Kompaktklasse, die 2021 in Europa zugelassen werden. Die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

Quelle: ICCT, July2021

Weiterbetrieb des Verbrennungsmotors

E-Fuels

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



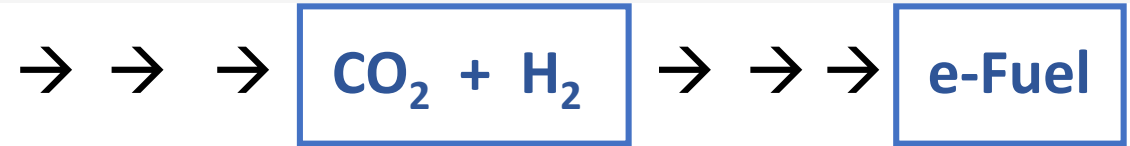
Die Produktion von **1 Liter** e-Diesel aus CO₂ und H₂ benötigt 23-27 kWh elektrische Energie (LBSt, 2020)

Ein Diesel-PKW verbraucht 6 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)



Ziele:

130.000 L in 2022
55 Mio L in 2024
550 Mio L in 2026

- Windkraft für Elektrolyse
- 9 kg Reinstwasser per 1 kg H₂
- CO₂ Abscheidung aus der Luft (→ 1000 kWh Strom / 1 t CO₂)
- Also 1000 kWh für 720 kg Methanol (Brennstoff)*
→ 25% des Energiegehaltes **nur für CO₂ Gewinnung**

Aber:

Kraftstoffverbrauch in BRD: 47 Mrd. L / a
d.h. 1% könnte dadurch gedeckt werden

→ **die Absicht, damit Klimaziele erreichen zu wollen, ist bis auf Weiteres illusorisch**

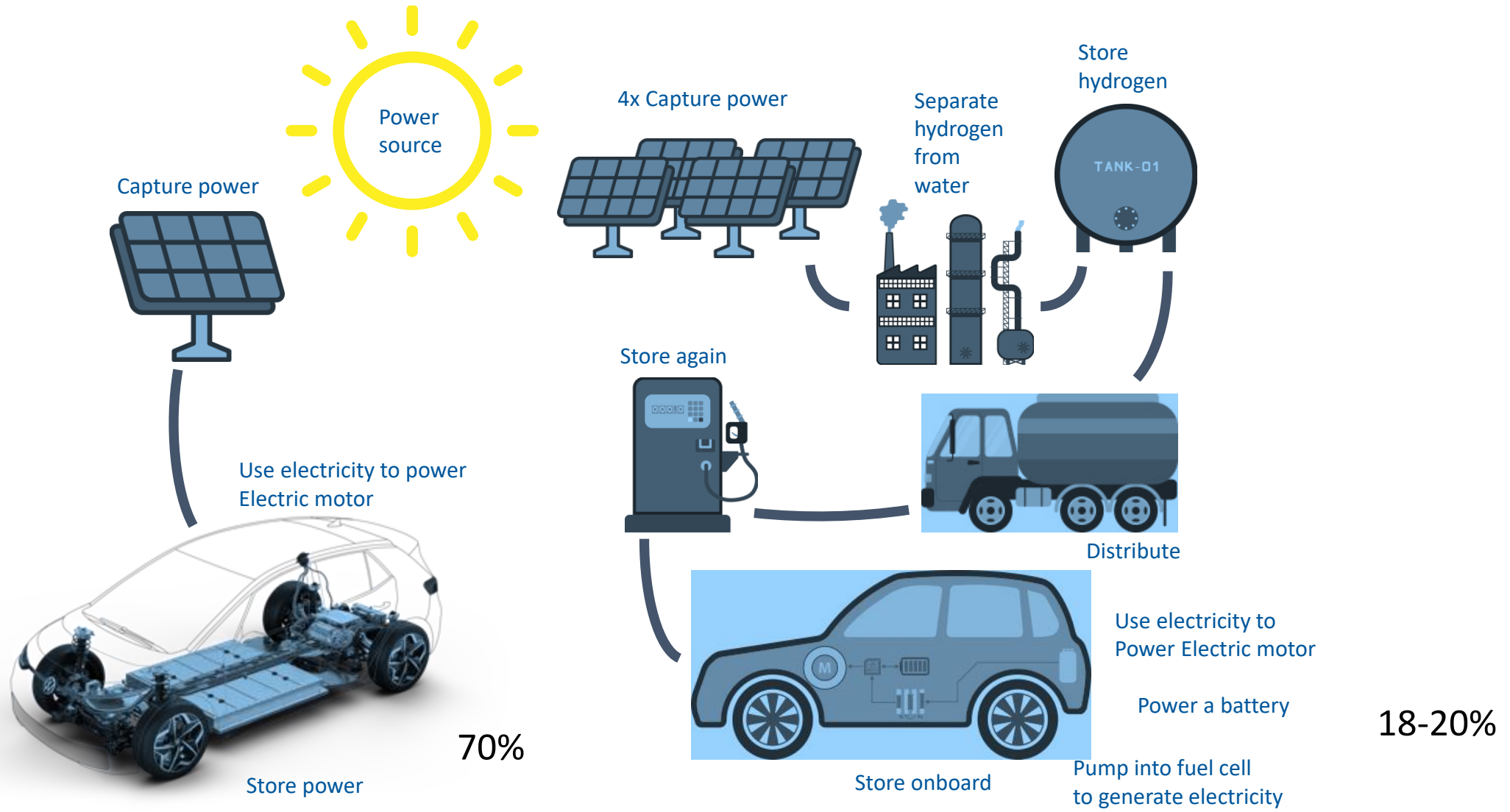
SIEMENS
ENERGY





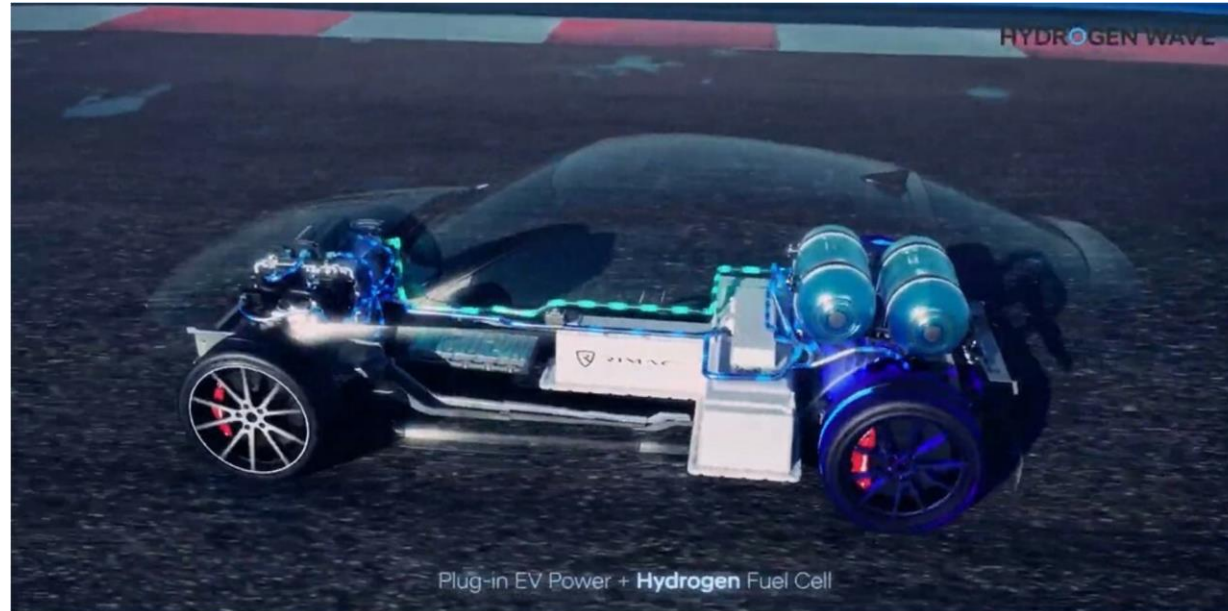
Alternative, elektrische Antriebe: Vergleich der Optionen

Elektrische Antriebe als effizienteste Art des Antriebs

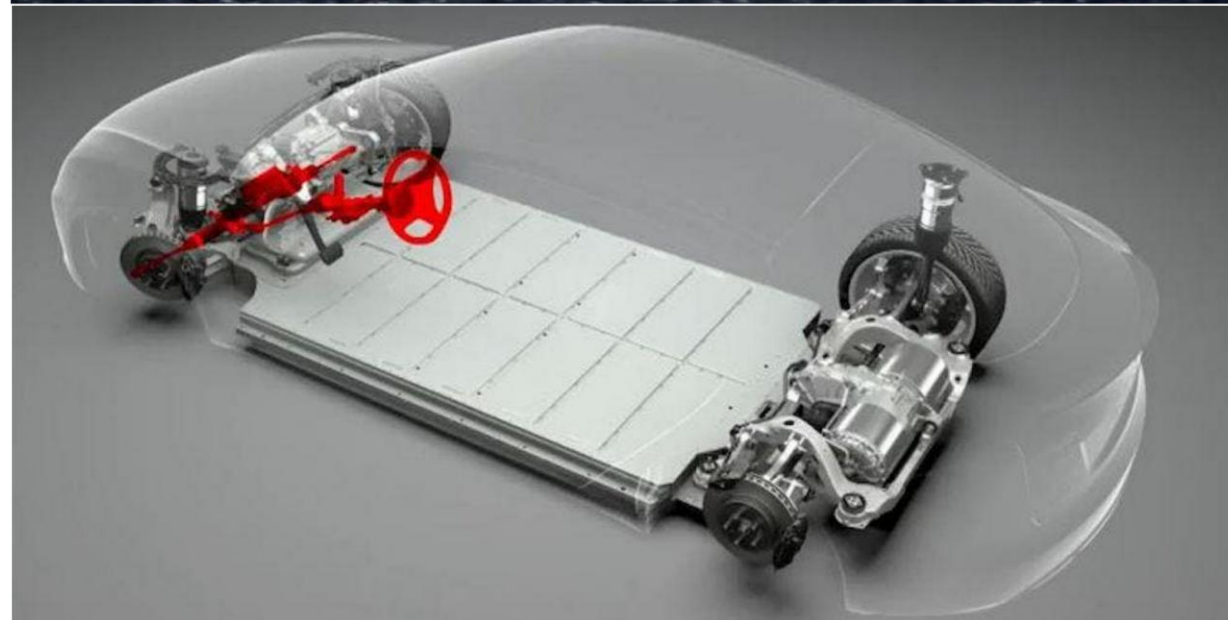


Batterieelektrischer Antrieb

H₂ Antrieb mit Brennstoffzelle



PHEV-FCEV



BEV

Comment | [Published: 31 January 2022](#)

Hydrogen technology is unlikely to play a major role in sustainable road transport

[Patrick Plötz](#) 

[Nature Electronics](#) 5, 8–10 (2022) | [Cite this article](#)

2019: 4 Anbieter von FCEV – Mercedes, Honda, Hyundai, Toyota

Mercedes beendet Brennstoffzellen-Entwicklung für Pkw

GLC F-Cell wird eingestellt

April 24, 2020

DECEMBER 29, 2021

Hyundai pauses Genesis hydrogen fuel cell project just days after ending ICE engines

Dec 29, 2021

2019

2022



TOYOTA

Honda discontinues Clarity hydrogen fuel cell and plug-in hybrid

JUNE 23, 2021 · NO COMMENTS · 5 MINUTE READ · JOSHUA S. HILL

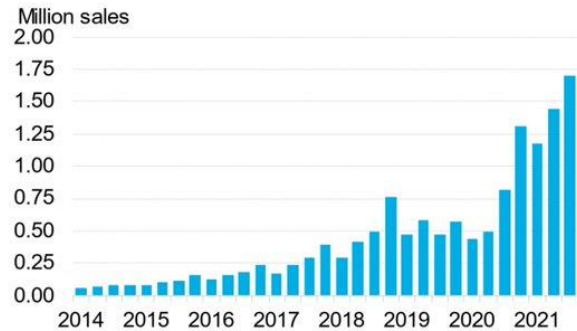
June 23, 2021

Entwicklung der Zulassungszahlen von BEV and FCV

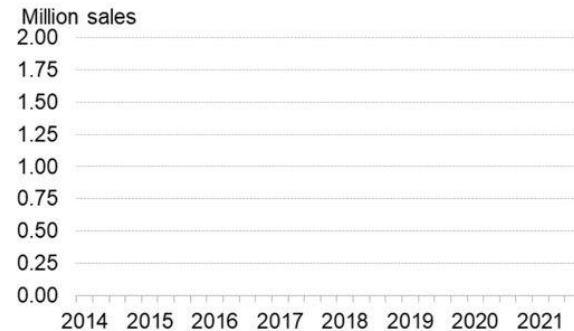
Global BEV vs. FCV sales quarterly

Liebreich
Associates

Battery electric vehicles



Fuel cell vehicles



Note: Includes PHEVs

Source: BNEF

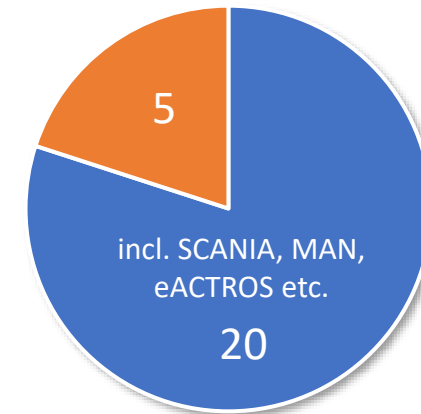
26 05 Januarv 2022

China: Jan - Mar 2021

273.000 BEV
37 FCV

Und LKWs ?

Antriebe von Null-Emission Trucks werden derzeit von 25 Firmen weltweit entwickelt



■ Battery ■ Fuel Cell

(www.forbes.com; Jan 19, 2021)

„**Tipping point**“ of a new technology is reached at 10-12% market introduction

→ „Market-Trauma“ for the „old“ technologies

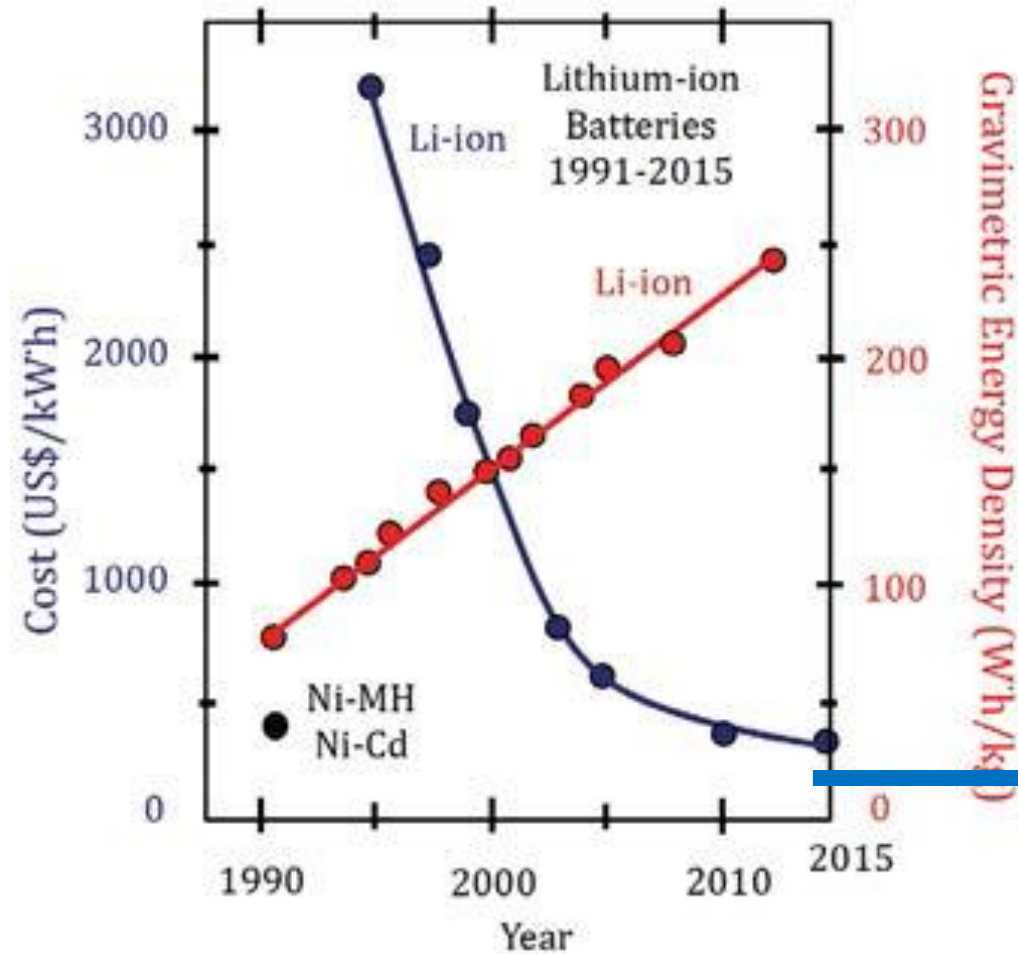


	DAIMLER GenH2	TESLA Semi Truck
Antrieb	H ₂ -BZ	Batterieelektrisch
Speicher	Flüssig-H ₂ (-250 °C, 1.1 cbm)	Batterie (46800er / LFP)
Reichweite	ca. 1000 km	480 oder 800/1000 km
Leistung	300 kW	760 kW
Zuladung	25 t / 40 t Gesamtgew.	26-27 t / 40 t Gesamtgew.
Laufleistung	Ca. 1,2 Mio km	Ca. 1,6 Mio km
Preis	Ca. 320.000 €	Ca. 170.000 €
Betriebskosten*	60-70 Ct/km	44 Ct/km

*J. Schenk, P3 automotive GmbH, UECT, 2021

Batteriefahrzeuge





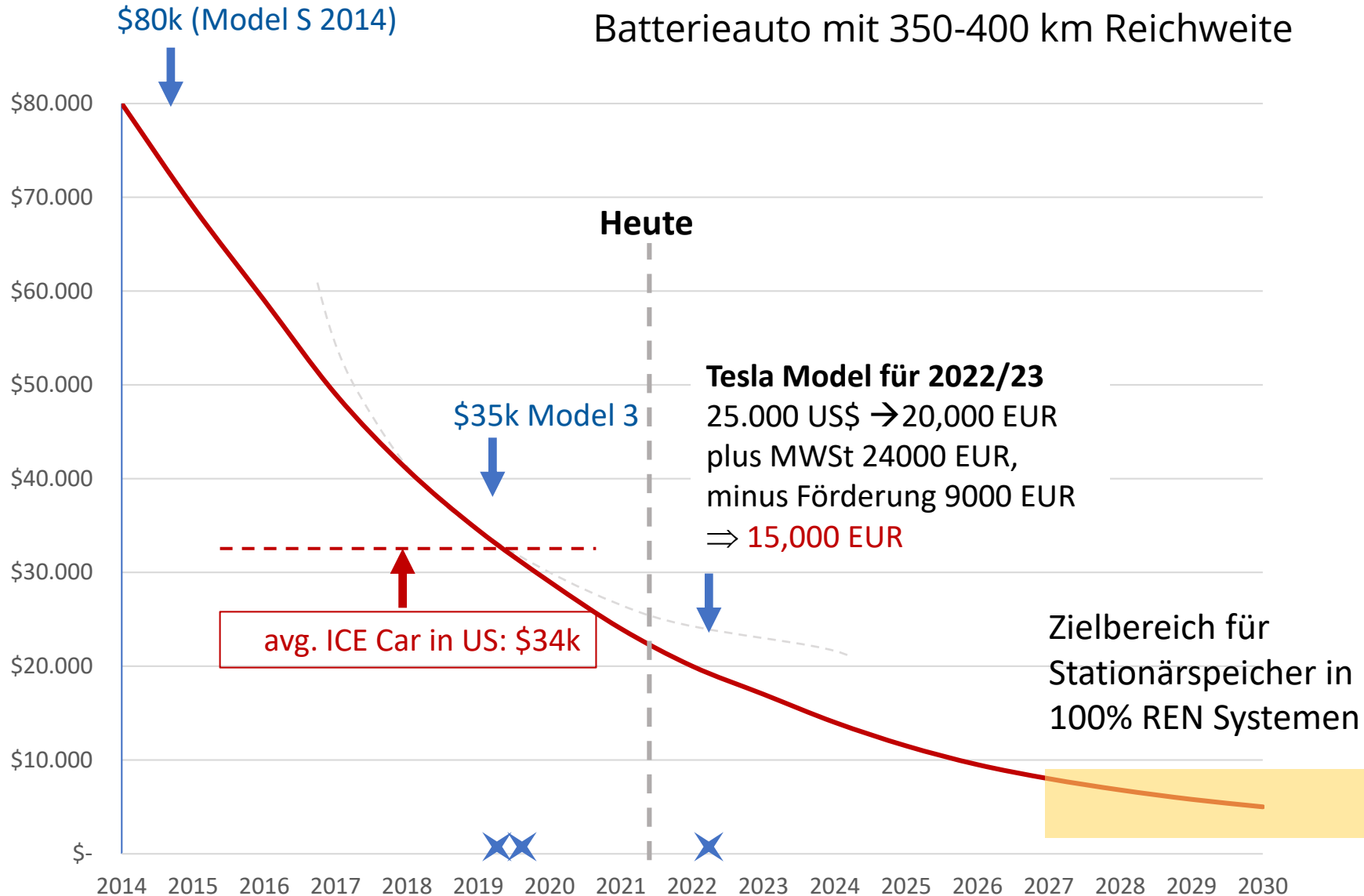
Seit der Markteinführung:
Energiedichte: x4
Kosten ÷ 18

Seit 2010:

- **90% Kostenreduktion**
- **Kapazität verdoppelt**

Kostenziel
für 2020

Batterieauto mit 350-400 km Reichweite



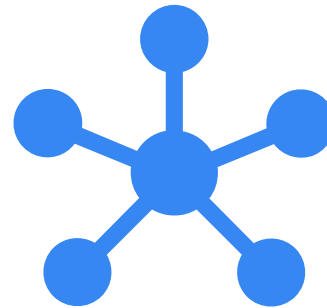
Vorhersage basierend auf einer einfachen Kostenkurven-Analyse von 2014

Clean Disruption ©2014 Tony Selba

„Bessere“ Batterien

(mehr Energie, schneller beladbar, sicher, langlebig)

→ „Bessere“ Materialien und Batteriedesigns

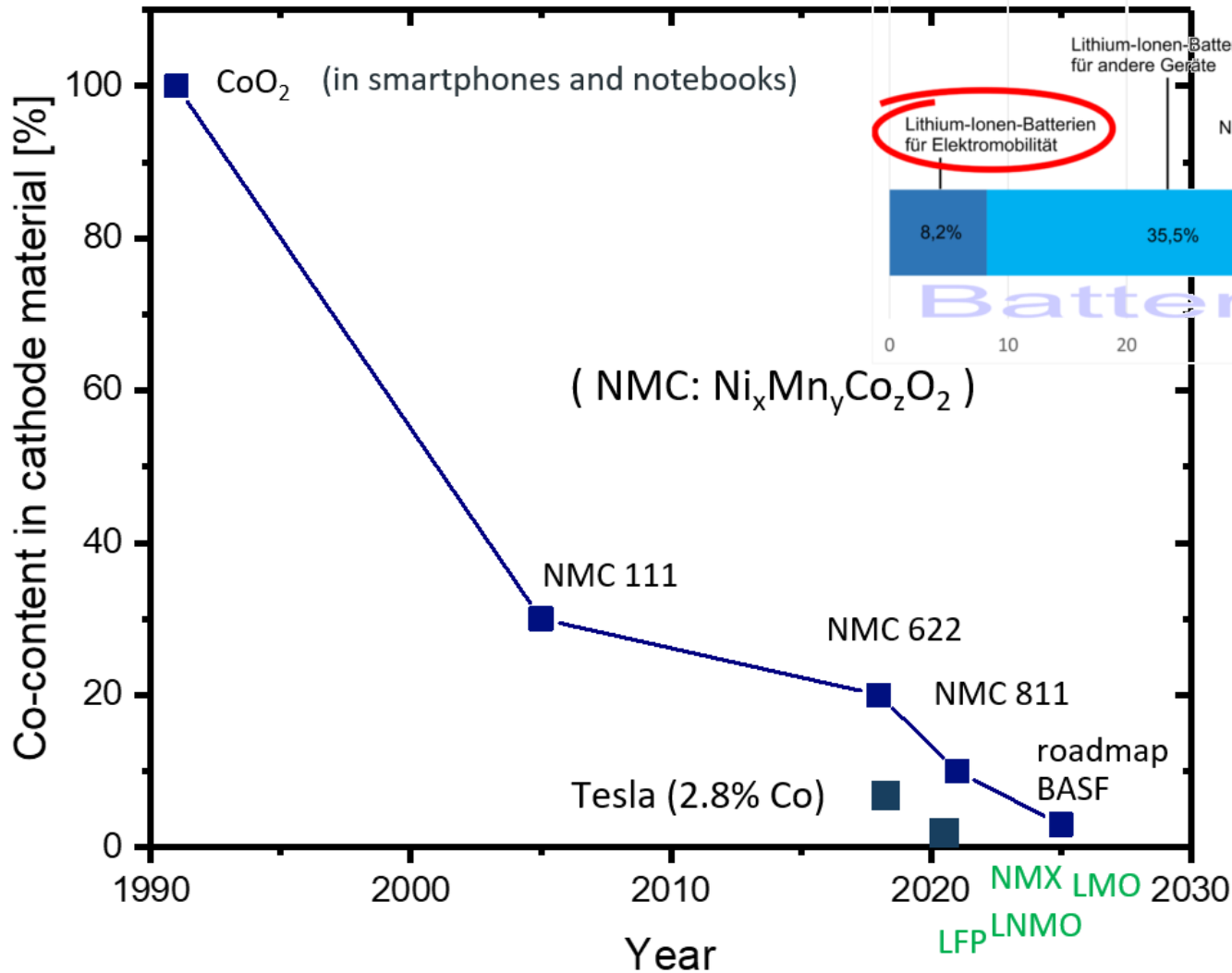


Nachhaltige Batterien

(häufig vorkommende und ungiftige Rohstoffe, gut recyclebar)

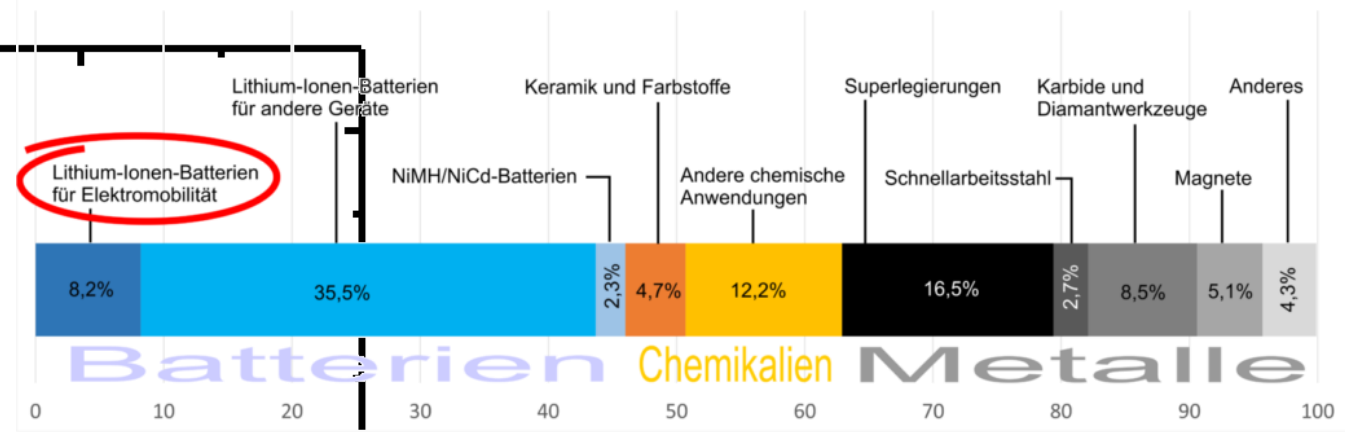
→ Neue Batterietypen

Cathode: Cobalt-content in batteries.



Wofür Kobalt verwendet wird

Gesamtnachfrage in Prozent (2017)



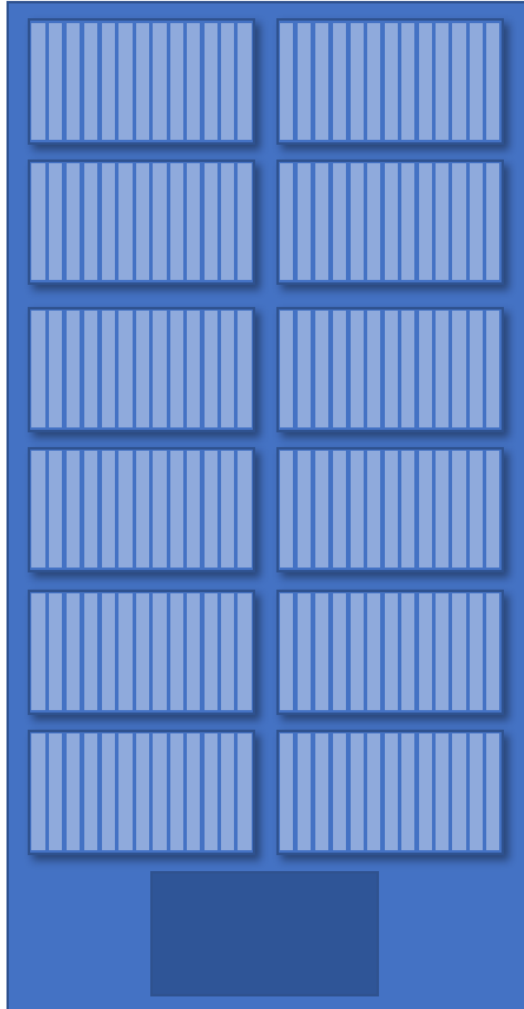
LFP: $LiFePO_4$
 NMX: $LiNi_{3/4}Mn_{1/4}O_2$
 LMO: $LiMnO_2$

(Materials with 0% cobalt)

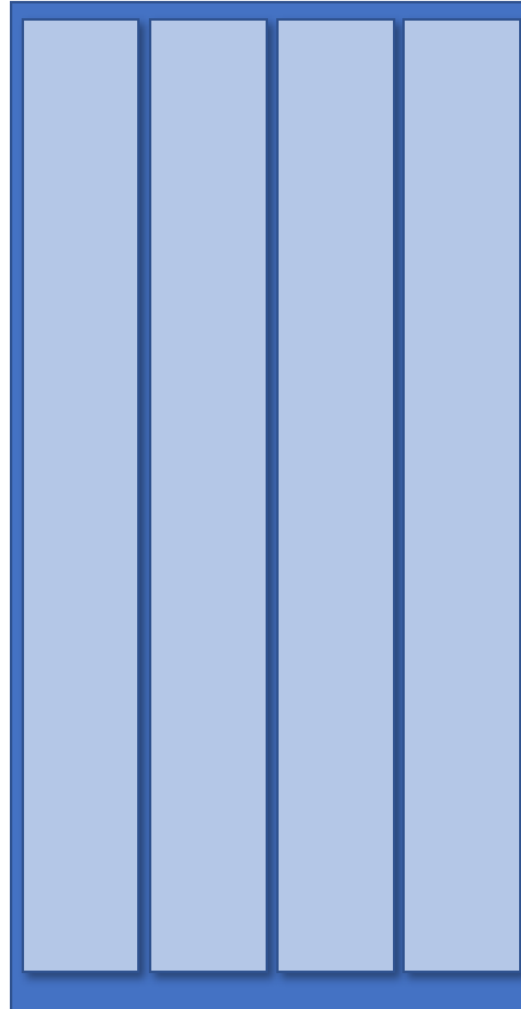
Zusammenspiel von Chemie und Engineering



Nur 25% der aktuellen Batterie bestehen aus Speichermaterial



conventional design



Cell-To-Pack design

Cell-to-Pack (CTP) -Technologie 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%**.

LFP:
≥ 160 Wh/kg
≥ 290 Wh/l

NCM:
≥ 250 Wh/kg
≥ 450 Wh/l

CATL „CTP 3.0“

13% mehr als 46800er Zelle (TESLA)

3 packs im Fahrzeug integrierbar

Annonciert für 2023:
„1000 km Reichweite mit
einer Ladung“

The infographic features a central 3D rendering of a CATL CTP 3.0 battery pack. To its left, a search icon is positioned above a box containing the text 'CTP技术' (CTP technology) and another box below it stating '重量能量密度 > 160Wh/kg' (Weight energy density > 160Wh/kg). To the right of the battery pack, two boxes provide further specifications: '单块可提供续航 ≈ 200km' (One pack can provide a range of ≈ 200km) and '体积能量密度 > 325Wh/L' (Volume energy density > 325Wh/L). Below these are three panels, each showing a white car chassis with a different number of battery packs installed: the first panel shows one pack and is labeled '1 块' (1 pack); the second shows two packs and is labeled '2 块' (2 packs); the third shows three packs and is labeled '3 块' (3 packs).

More space for active materials in the battery
→ more flexibility in the choice of materials

- ✓ Cost
- ✓ Durability
- ✓ Safety
- ✓ Sustainability
- ✗👎 Energy density



Cell-to-Pack

e.g. LiFePO_4 + others ?



Ref: BYD, 2020

„**Blade Battery**“ (CTP (cell to pack) technology)
LFP-cathode (LiFePO₄)
50% gain in space for cathode

605 km NEFZ (2020)
3.9 sec for 0 – 100 km/h
for 30,000 EUR



Nail penetration test



NCM Lithium Battery:
severely damaged
surface temperature exceeded 500 °C

Ref: BYD, 2020



Lithium Iron Phosphate Block Battery:
no fire or smoke observed
surface temperature of 200 °C to 400 °C

Very safe!

BYD Blade Battery:
no fire or smoke
surface temperature of 30 °C to 60 °C

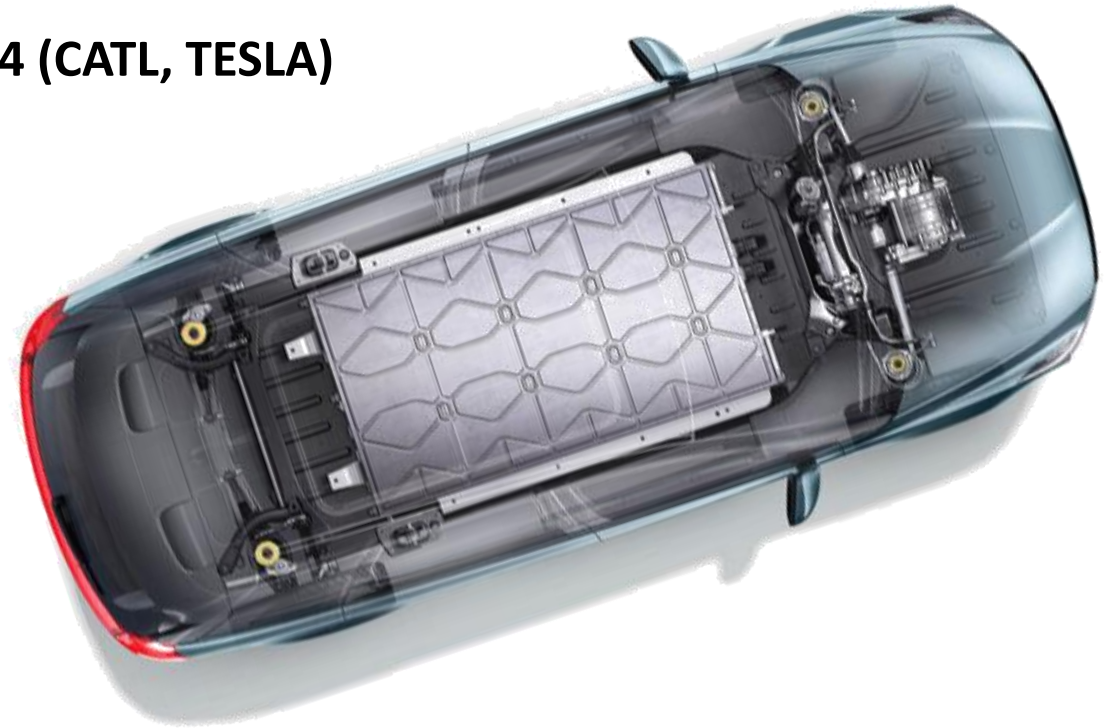
- LiFePO₄:**
- Cost (-30%) ✓**
 - Safety (no fire) ✓**
 - Durability (5000 cycles) ✓**
 - Sustainability (no CRW) ✓**

Cell-to-Chassis design (CTC) or Cell-to-Body (CTB)

Integration of batteries in vehicle frame of the car

Gain up to ca. 40% overall capacity (CATL, TESLA)

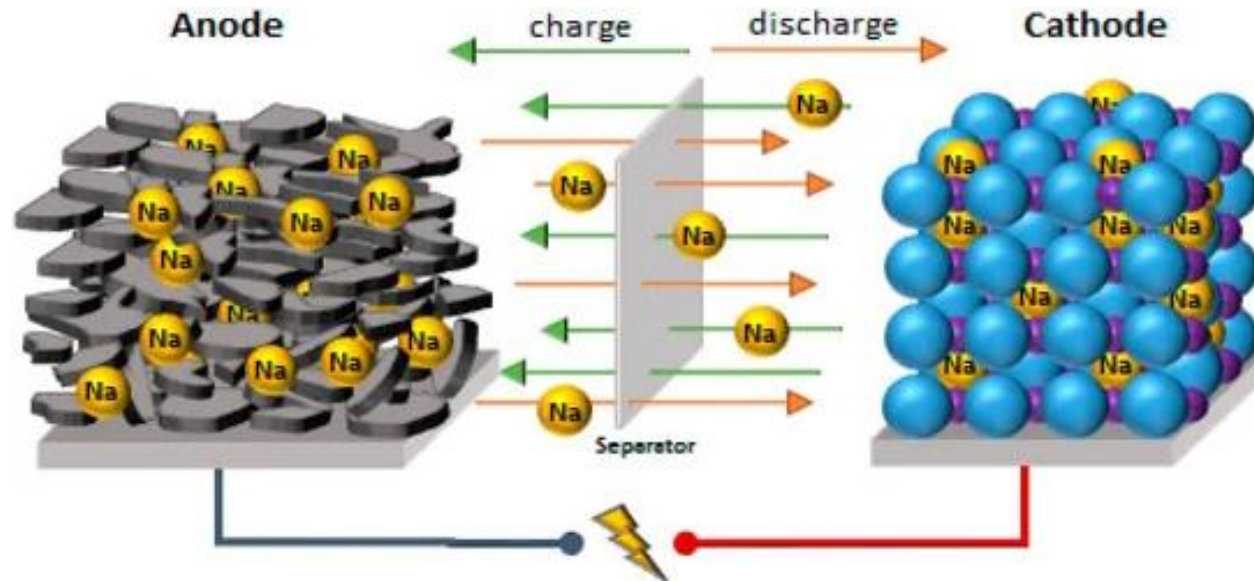
market introduction planned for **2023 (BYD)** or **2024 (CATL, TESLA)**



auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/alternative-antriebe/cell-to-chassis-catl-2030/

Neue Batteriechemie

Natrium-Ionenbatterie

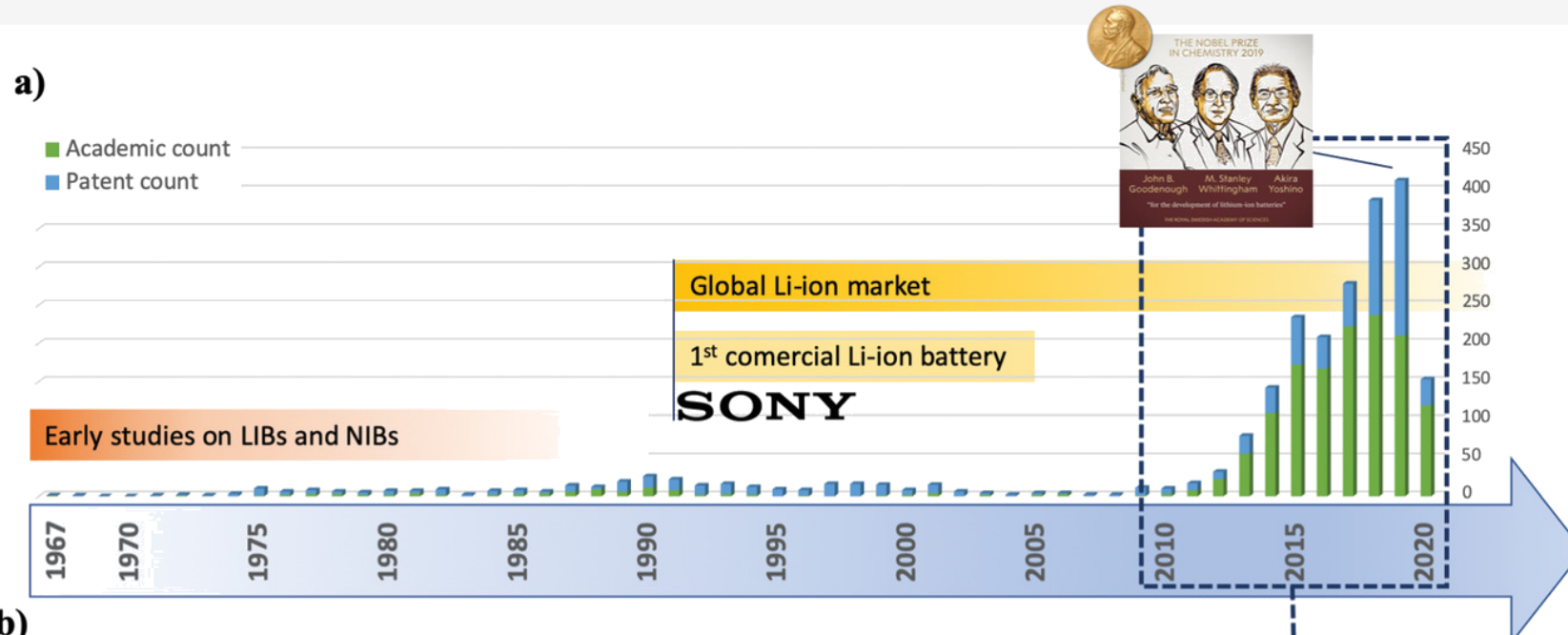


📖 J. Peters et al., Batteries 2019, 5 (1), 10

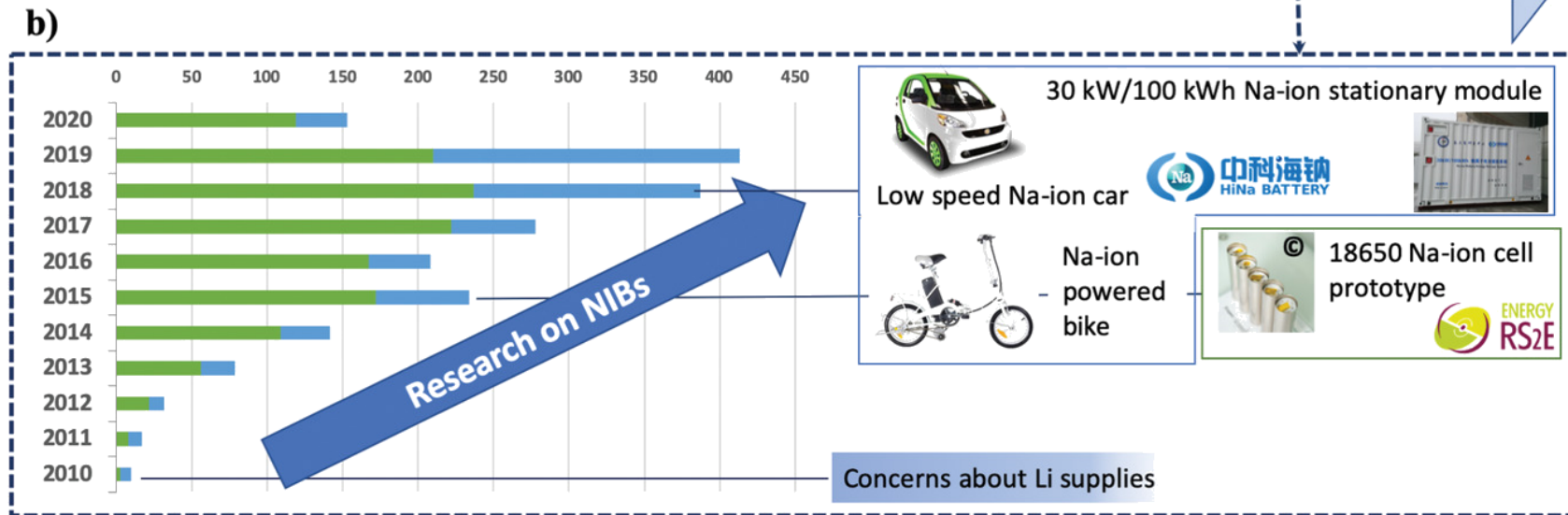
„Drop-in“ technology

Kein Co
Kein Ni
Kein Cu
Kein Li

Statt dessen: Na, Al, Fe, Mn,...



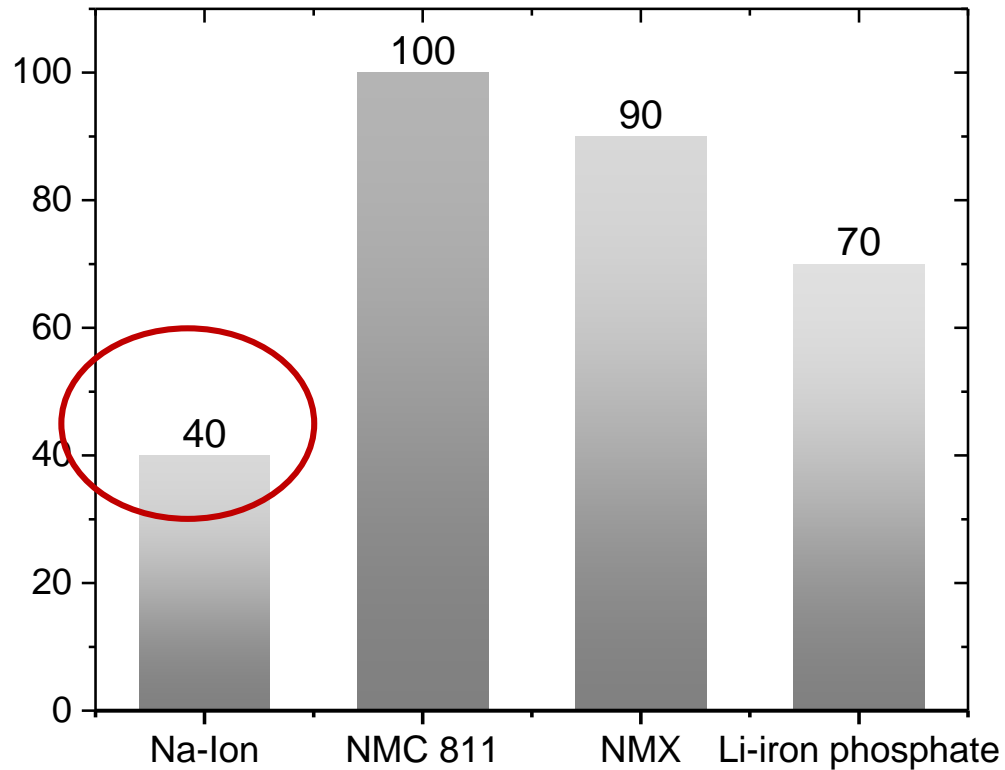
Data until May 2020



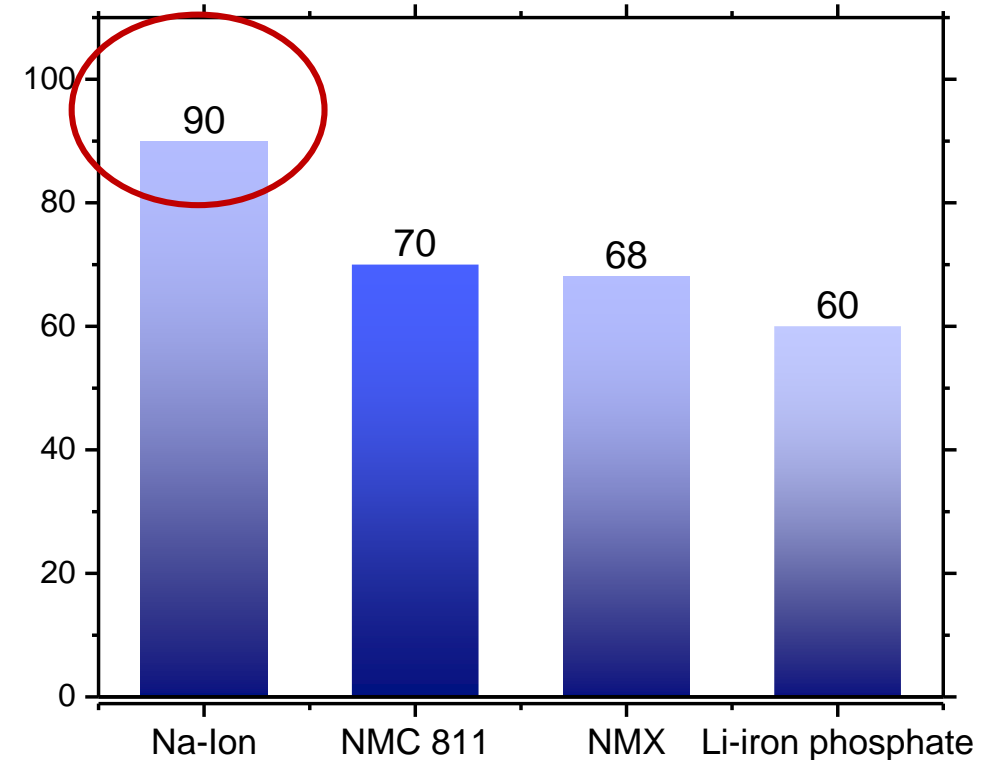
LFP: 200 Wh/kg
SIB: 160 Wh/kg (2021)
200 Wh/kg (2022)

350 Wh/l
300 Wh/l

relative Kosten



residual capacity at -20°C





Schlussfolgerungen und Perspektiven

- **Gesamt:**
genereller Trend zur Abkehr von kritischen Rohmaterialien und zur Verringerung der Fertigungskosten
 - billigere, häufiger vorkommende Materialien
 - Fertigungsprozesse mit geringerem Energieaufwand

- **Chemie**
 - ca. 10-20% Kapazitätssteigerung durch bessere Kathoden mit höherer Spannung und Kapazität
 - ca. 30-40% Kapazitätssteigerung durch bessere Anoden mit Silizium@Carbon-Kompositen
 - ca. 30-40% Kapazitätssteigerung durch Festkörperbatterie

- **Engineering**
 - ca. 20-30% Raumgewinn für Aktivmaterialien durch cell-to-pack design
 - ca. 30-40% Raumgewinn für Aktivmaterialien durch cell-to-chassis design

km today	max-. Improvement %	total km	Method
400	20	480	CTP
	10	528	Kathode
	40	739	Anode
	40	1035	CTC

Vielen Dank !

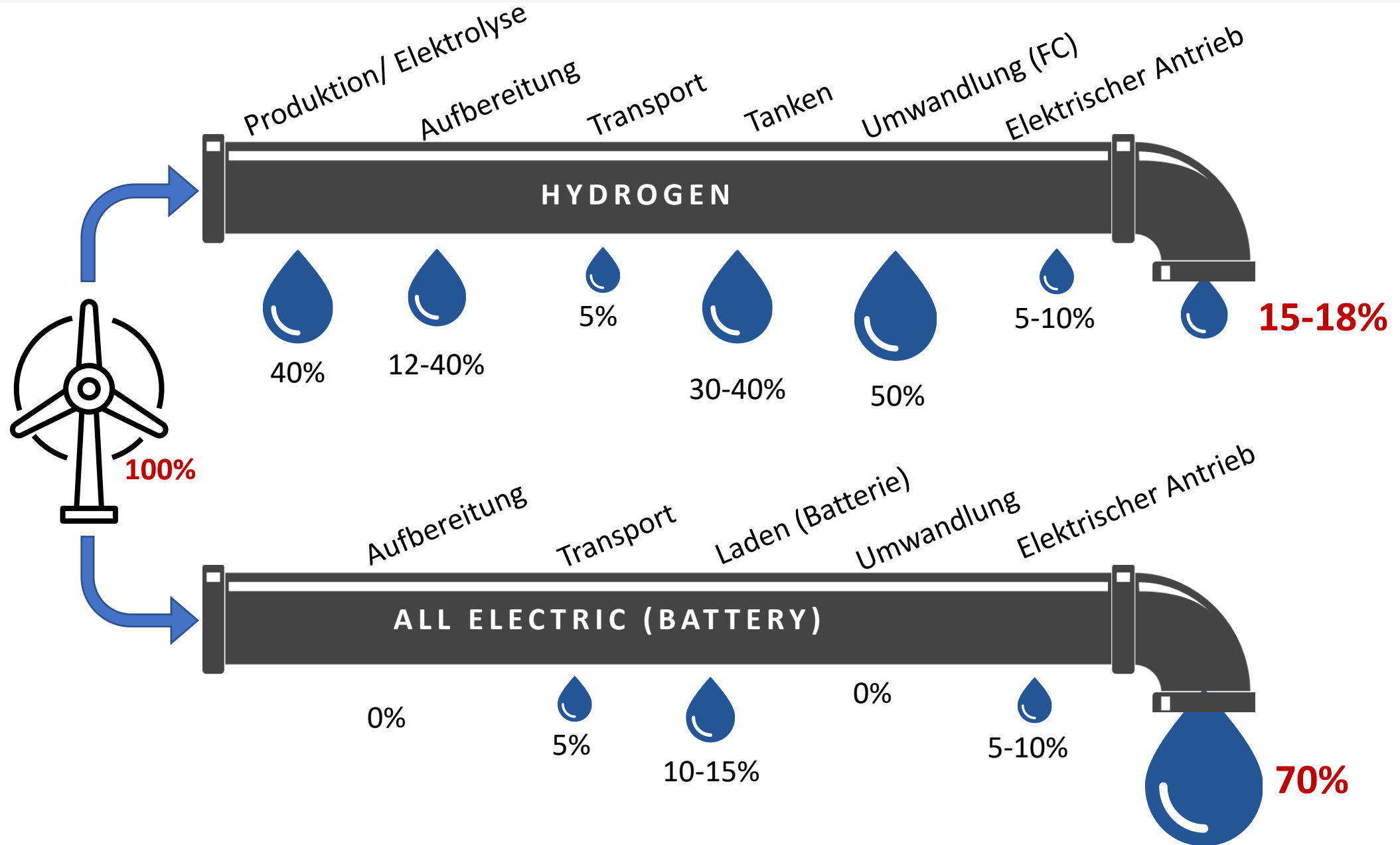
www.celest.de

www.hiu-batteries.de

www.postlithiumstorage.org



Verluste zwischen Quelle und Rad



Infrastructure:

- 1 H₂ **delivery** truck brings H₂ for 60-65 tank fillings → **5 trucks needed per day of an average gas station.**
- 2-3 fillings in 15 min – but max. **40 fillings per day**
- 1 H₂ filling station: **1-2 Mio EUR invest** – 1 charging station BEV: 0.1 Mio EUR invest

User friendliness/costs:

- Hyundai Nexu **costs** 75 TEUR (110 TEUR in production!) → overall factor of 3 cost reduction is necessary
- H₂-FC car needs **thorough service check every 10 Tkm** (H₂ safety)
- Cars are **banned** from basement garages
- 20-25% **lower driving range** at freezing temperatures – and at high temperatures

Safety:

- In U.S., there are 5000 **garage fires** every year. H₂-tank: safety valve releases 4 m³ H₂/sec.
→ within 1 sec. the pressure limit of civil building is exceeded (even without ignition).

Climate:

- The **CO₂ footprint** of a current H₂-FC car (H₂ from natural gas) is that of a Hybrid and a Diesel car. → car manufacturers may not reach their CO₂ goals for their fleet
- The National H₂ strategy in Germany foresees a **green H₂ production until 2030** of 14 TWh which can just supply steel industry (10 TWh).
A 100% FCEV car fleet would need approx. 900-1000 TWh

Lithium Produktion und Wasserverbrauch

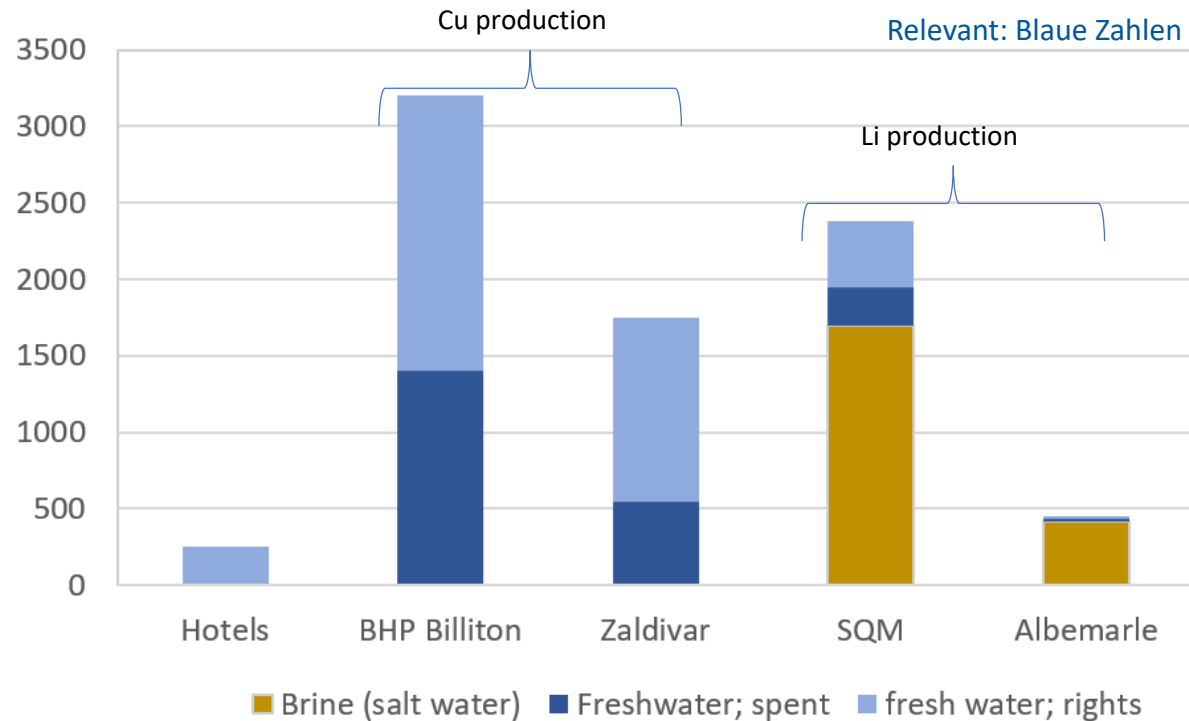
Zur Produktion einer **60 kWh Autobatterie** (400 km Reichweite) werden ca. **6 kg Li** gebraucht.
→ Die Produktion 1 Fahrzeugbatterie verbraucht **4000-5000 L Wasser**, welches aus der Salzlake verdunstet und das Salz zurücklässt.

Das entspricht einem Wasserverbrauch bei der Produktion von

- **250g Rindersteak** oder
- **1/2 Jeans (Baumwolle)** oder
- **30 Tassen Kaffee** oder
- **10 Avocados**

(danwatch.dk/en/undersogelse/how-much-water-is-used-to-make-the-worlds-batteries/)

(en.wikipedia.org/wiki/Virtual_water)



data from:
Ministerio de Minería
Chile (2018)



ref.: en.mercopress.com/2011/07/22/

8x höherer Wasserverbrauch
für die Kupferproduktion am
Salar

Süßwasserverbrauch + Wasserrechte in der Salar de Atacama Region:

710 Mio m³/a für Li (Verbrauch: **260** Mio m³/a)

4950 Mio m³/a für Cu (Verbrauch: **2000** Mio m³/a)

250 Mio m³/a für Hotels (= Verbrauch)

Grundwasser sinkt seit den 1960er Jahren

Und TESLA?

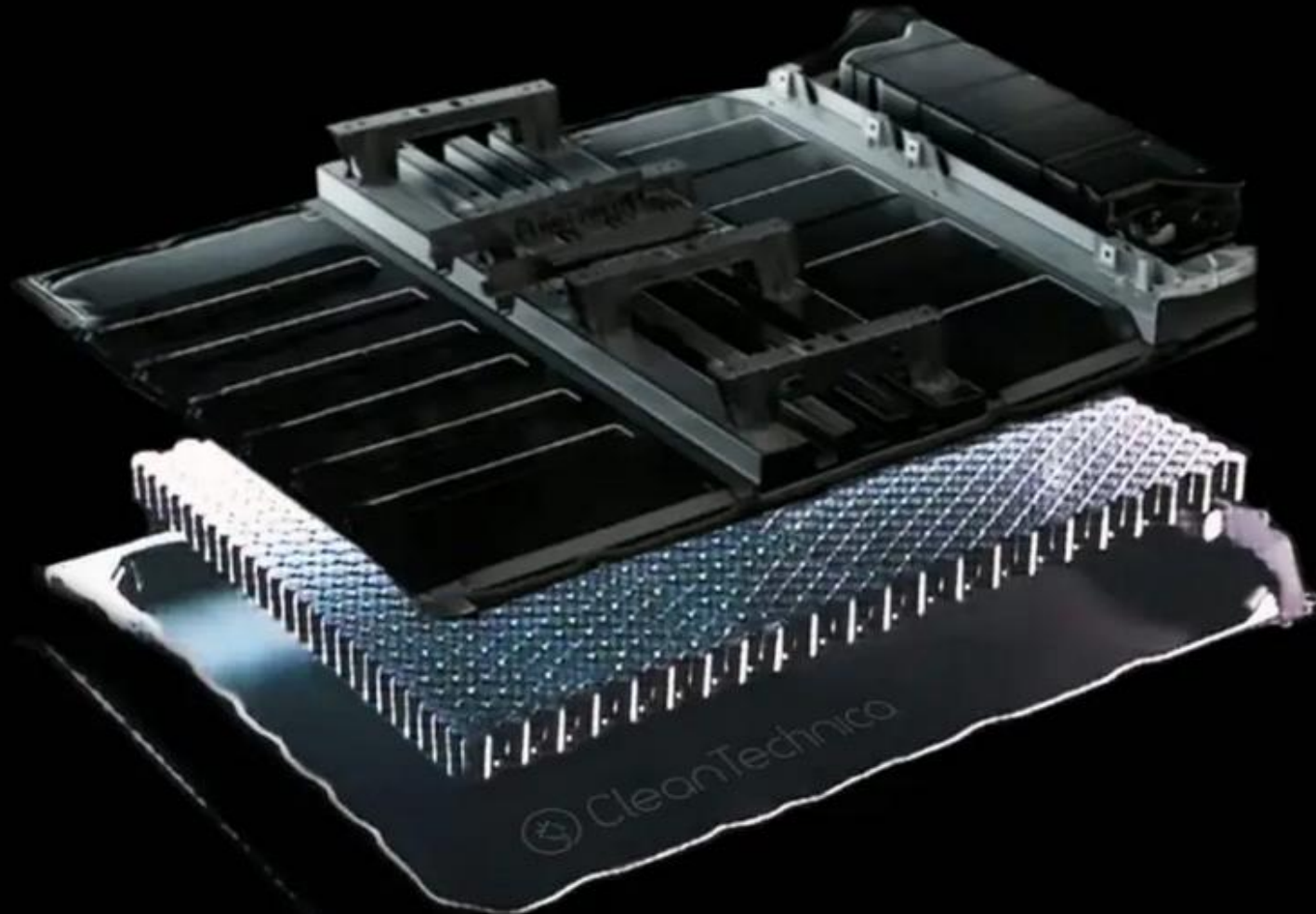
10% MASS REDUCTION

14% RANGE INCREASE OPPORTUNITY

370 FEWER PARTS

About ▾

Cell-To-Body



TESLA LIVE

H₂ für Schwerlastverkehr*

wird konkurrenzfähig bei Kosten < 4-5 EUR/ kg H₂

Derzeit: 9,5 EUR/ kg H₂ („grauer“ H₂)

14-16 EUR/kg H₂ („grüner“ H₂) (als Druckwasserstoff !)

→ Faktor 4 für grünen H₂ wird schwierig zu erreichen.


Kosten für Batterien sinken dagegen stetig

Kostenanalyse mit Vorausschau für 2025+:

0,54 €/km 

0,5-0,7 €/km 

Kilometerkosten
20-60% höher als bei vollelektrisch

0,44 €/km 

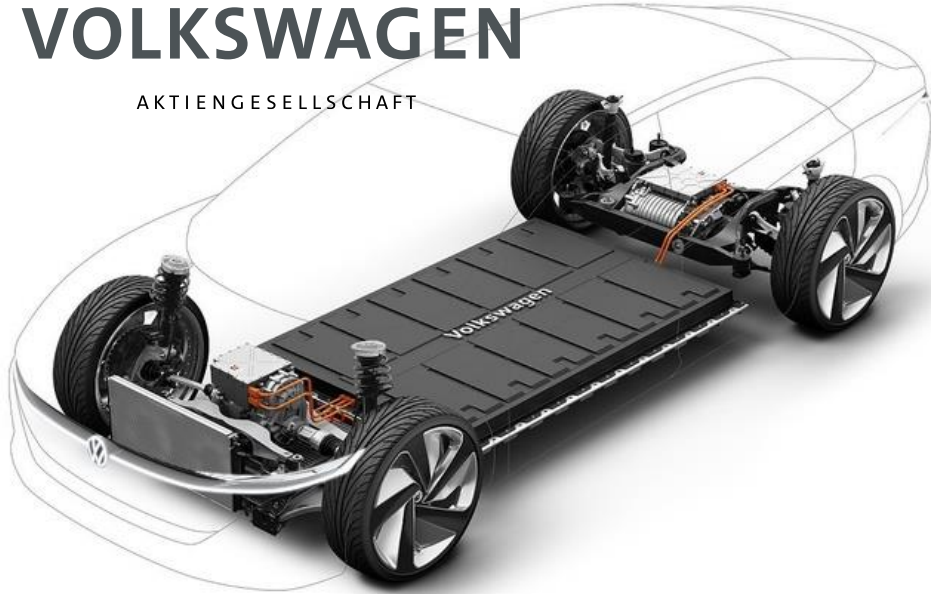


75% der ursprünglich für BZ-H2 avisierten Anwendungen werden als vollelektrisch projiziert.

*J. Schenk, P3 automotive GmbH, UECT, 2021

VOLKSWAGEN

AKTIENGESELLSCHAFT



- Kein Kobalt, kein Nickel
- Kein thermisches Durchgehen
- Sicher in Nagelpenetrationstests
- 5.000 Be-/Entladezyklen
→ > 2 Mio km

Collaboration von VW
mit GOTION:
 LiFePO_4 Kathode



TESLA: bereits im Model 3;
Renault und FIAT wollen folgen

