HIU HELMHOLTZ INSTITUTE ULM
Electrochemical Energy Storage

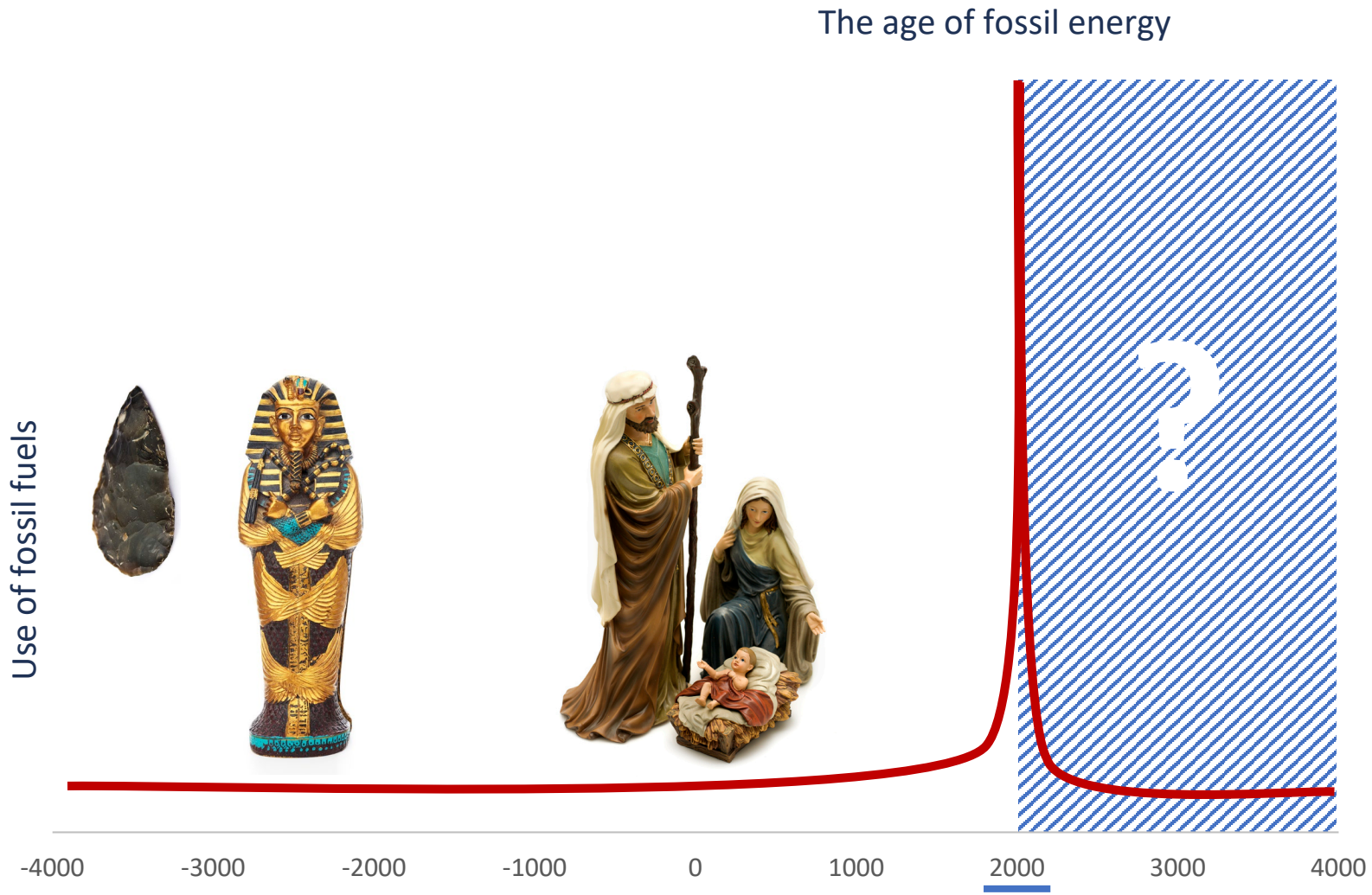
Maximilian Fichtner

Die Transformation der Antriebe

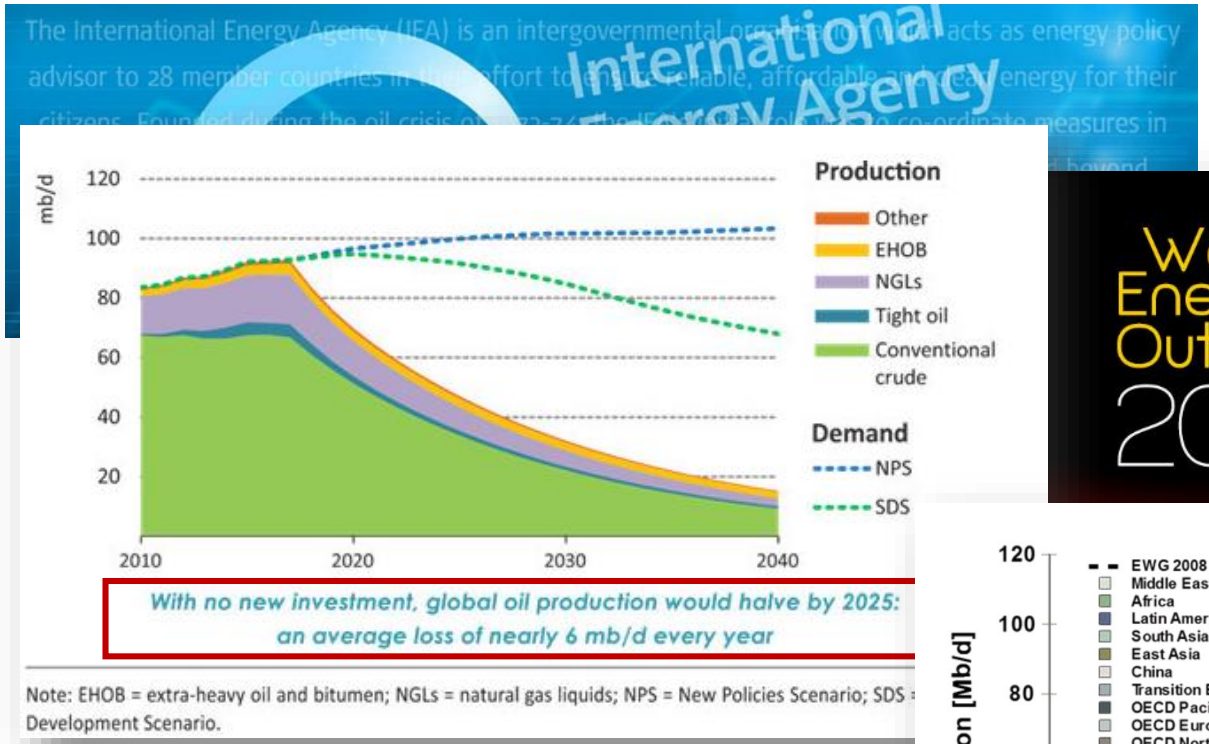
Vollelektrische Antriebe im Vergleich zu Wasserstoff- und Verbrennungsmotoren mit e-Fuels

Göppinger Technikforum, 30. Juni 2021

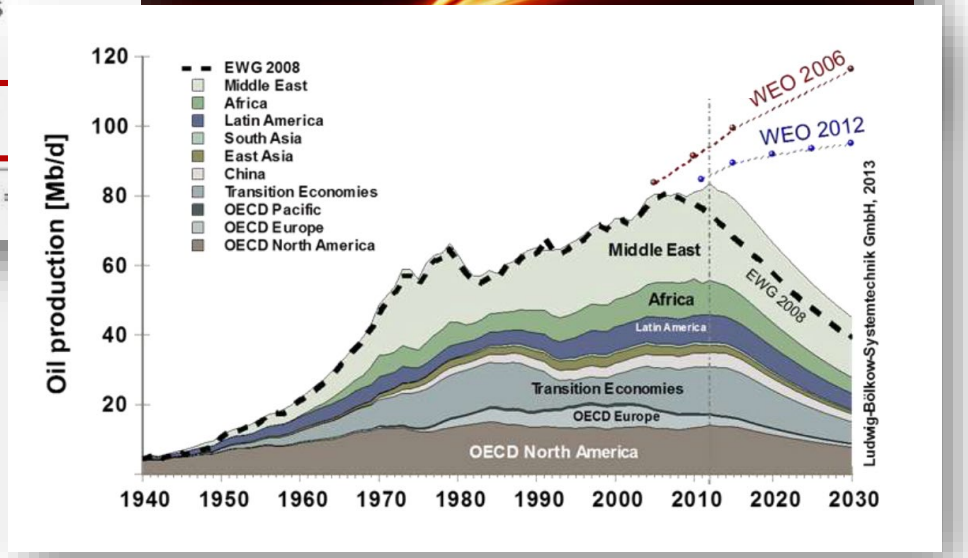
Verbrauch fossiler Energieträger auf historischer Zeitskala…



Situation beim Rohöl: gibt es eine Notwendigkeit, umzudenken?



(Ref.: IEA, World Energy Outlook 2018, p.159)



Independent institutes

(Ref. EWG, The Supply Outlook, 2013, p. 22)

Historischer Tiefstand für Ölfunde in 2016

08 Mai 2017

Wie die Internationale Energie Agentur (IEA) berichtet, fielen die weltweiten Ölfunde im Jahr 2016 auf ein Rekordtief, da die Unternehmen weiterhin die Ausgaben senken und die konventionellen Ölprojekte, die sanktioniert wurden, sich auf dem niedrigsten Niveau seit mehr als 70 Jahren befanden. Die IEA warnt davor, dass beide Trends

(dpa, 2016)

Folgen I

Ab 2025 muss > 50% des Öls (ab 2030 > 80%) aus „unkonventionellen Quellen“ bereitgestellt werden:

- Öl aus Fracking (Schiefergas)
- Öl aus der Arktis
- Öl aus der Tiefsee
- Ölsande

Der „unkonventionelle“ Teil

- Öl aus Fracking (Schiefergas) — **ca. 300 Mrd barrel**
- Ölsande — **ca. 150 Mrd barrel**
- Öl aus der Arktis
- Öl aus der Tiefsee

} **ca. 100 Mrd barrel**

Gesamt: 550 Mrd barrel

(ref. Wirtschaftswoche 2015)

Wie lange reicht das?

Derzeitiger Verbrauch weltweit: 110 Mio barrel / Tag (IEA, 2018)

→ 550 Mrd ÷ 0,11 Mrd/Tag = 5000 Tage

Das restliche Öl reicht ca. 13,5 Jahre

Konsequenzen II

Um **<u>1 liter Öl</u>** über Fracking oder Teersande zu erzeugen, ist ein großer Energieaufwand nötig:

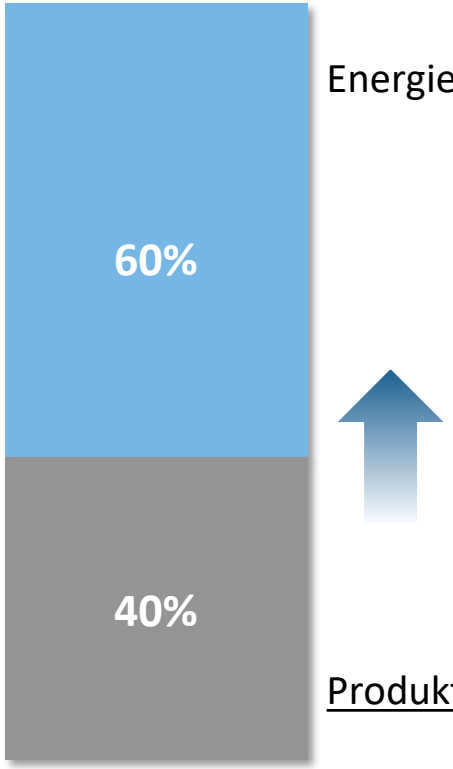
(https://www.chemie.de/lexikon/Ölsand.htm)

- aus Teersanden: Energie equ. 1/2 Liter Öl
- aus Fracking: Energy equ. 1/3 Liter Öl

Teersandabbau in Alberta

Energiebilanz von Diesel (2018)

Gesamtbilanz Diesel



Energieinhalt Diesel

Produktion, Transport, Raffinerie

In 6 L Diesel steckt eine Energiemenge von 52,8 kWh (Heizwert)

Für die Produktion der 6 L Diesel werden 42 kWh benötigt (2018).

Mit dieser Energiemenge (95 kWh), kann ein E-Auto 600 km weit fahren (Dieselfahrzeug: 80-100 km)

M.S. Masnadi et al., *Global carbon intensity of crude oil production*, Science 361 (2018)

https://de.wikipedia.org/wiki/Well-to-Tank

https://www.springerprofessional.de/elektromobilitaet/dieselmotor/endenergiebezogene-analyse-diesel-versus-elektromobilitaet/16673694

Die Transformation der Antriebe

© HIU

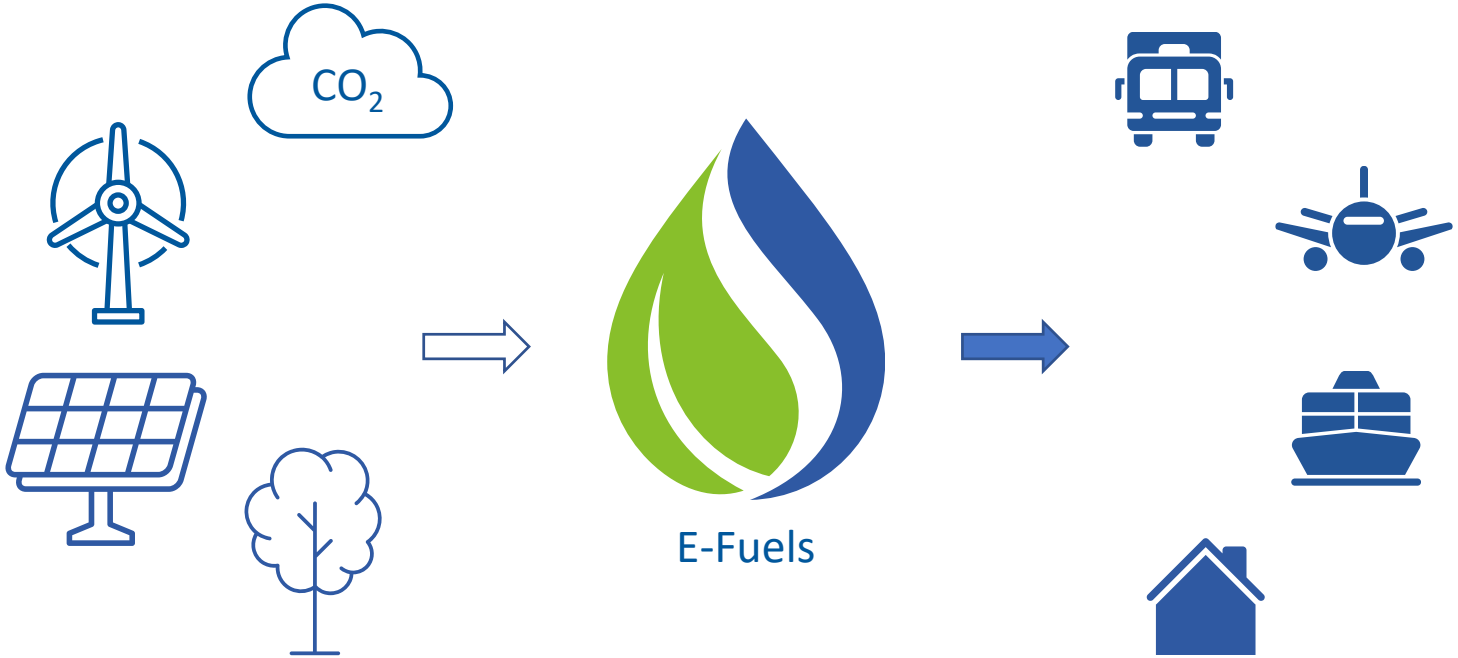
Weiterbetrieb des Verbrennungsmotors

e-Fuels

© HIU

Weiterbetrieb des Verbrennungsmotors: E-fuels; E-Diesel

Synthese aus CO_2, Wasserstoff (H_2), und elektrischer Energie



Die Produktion von **1 Liter** e-Diesel aus CO_2 und H_2 benötigt 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 1000 km weit fahren (mit e-Diesel PKW: 100 km)**

→ **Nach wie vor lokale Emissionen (Ruß, NOx, Lärm)**

→ **Sehr teuer (Tankfüllung für 300-400 EUR o. Steuer)**

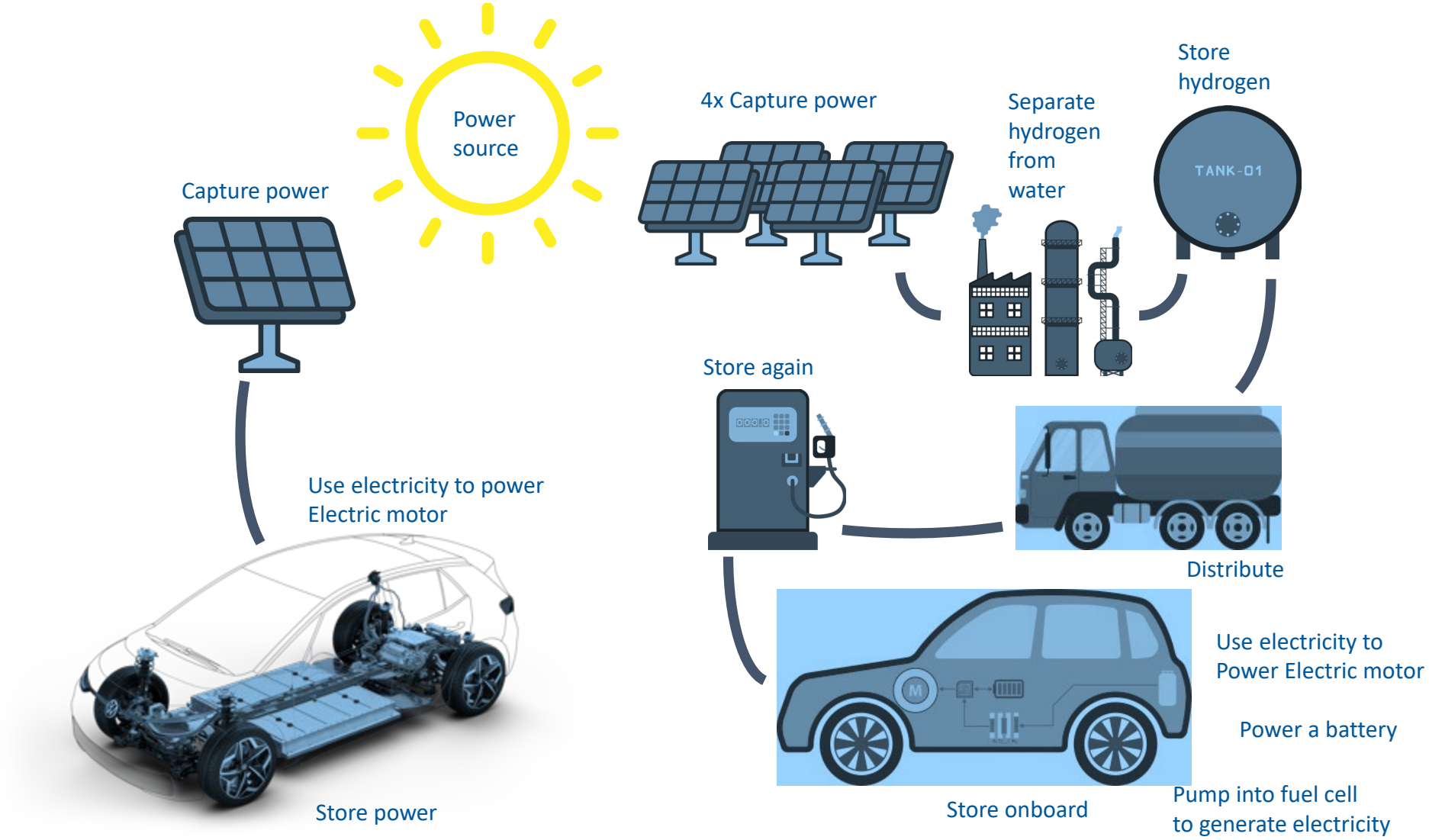
 © HIU

Alternative Antriebe:

Vergleich der Optionen

© HIU

Elektrische Antriebe als effizienteste Art des Antriebs

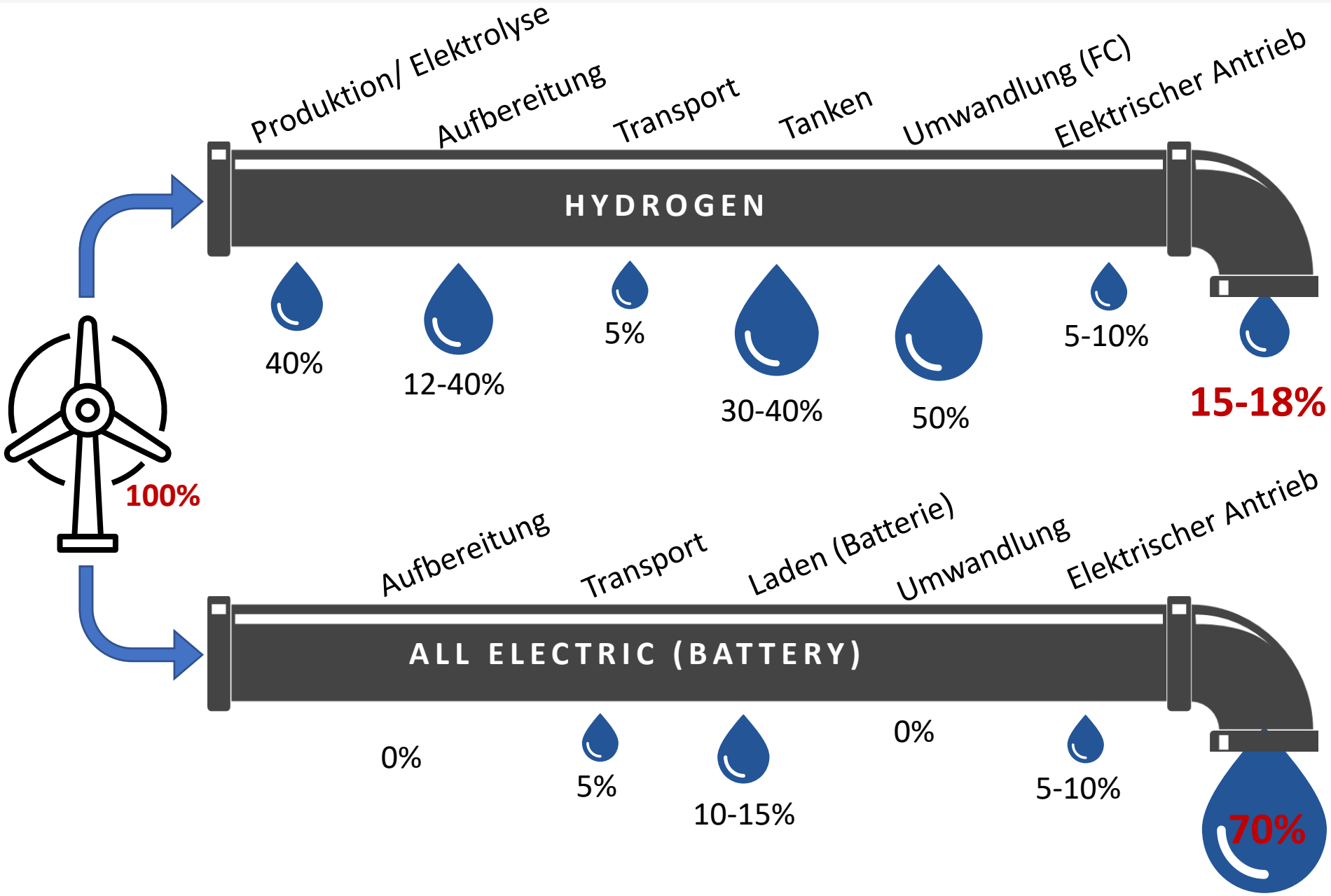


Batterieelektrischer Antrieb

H_2 Antrieb mit Brennstoffzelle

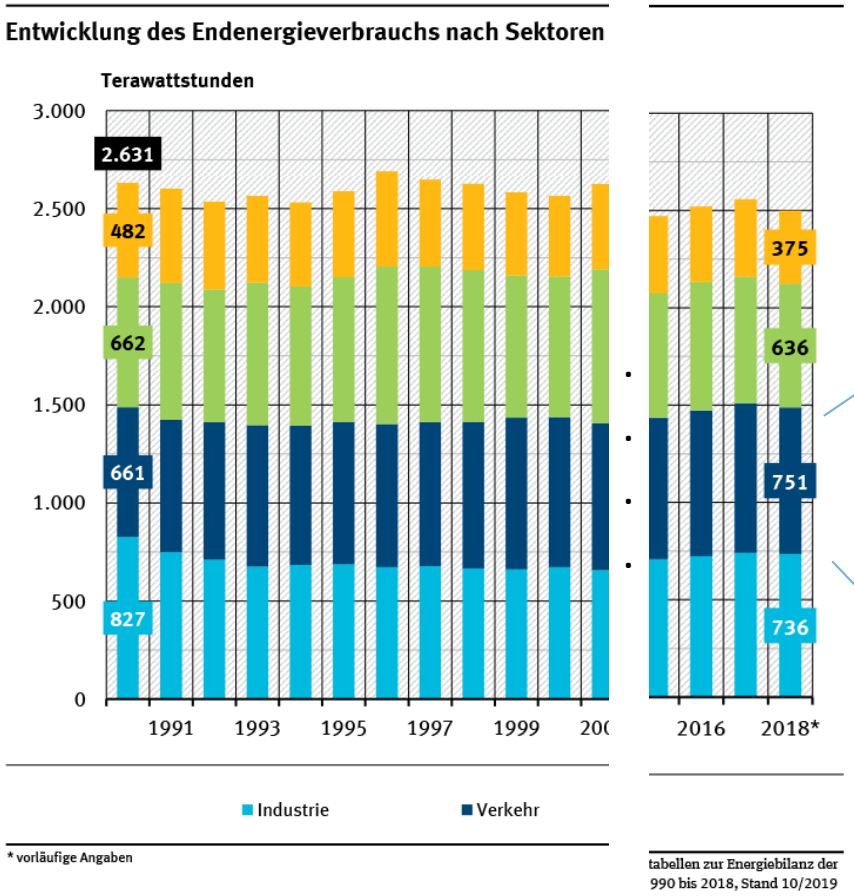
 © HIU

Verluste zwischen Quelle und Rad



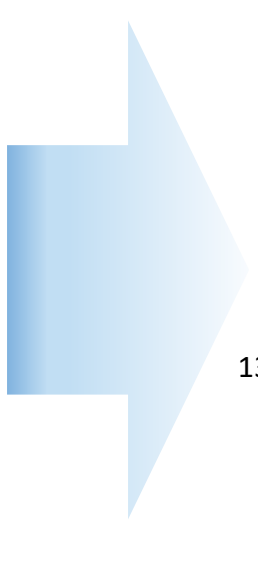
© HIU

Für Entscheidungsträger:
Energiebedarf des Transportsektors mit H_2–FC oder batterieelektrisch

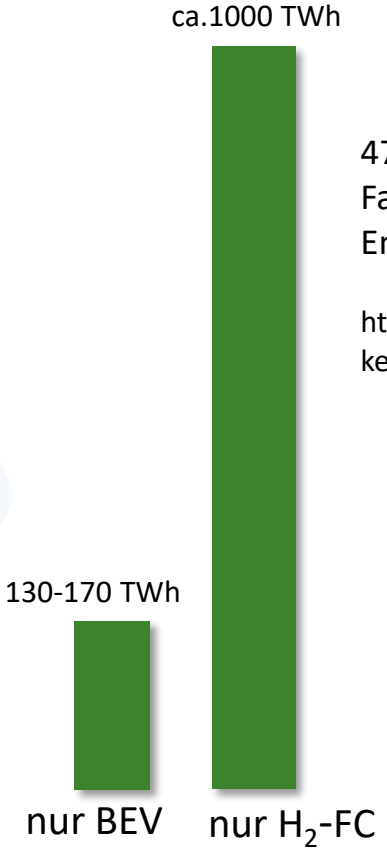


(Umweltbundesamt/AG Energiebilanzen, 2020)

Transport 2018:
751 TWh



Szenario für jeweiligen Energiebedarf



47 Mio Fahrzeuge, mit jährlicher Fahrleistung und mittlerem Energieverbrauch gerechnet

https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/VerkehrKilometer/verkehr_in_kilometern_node.html

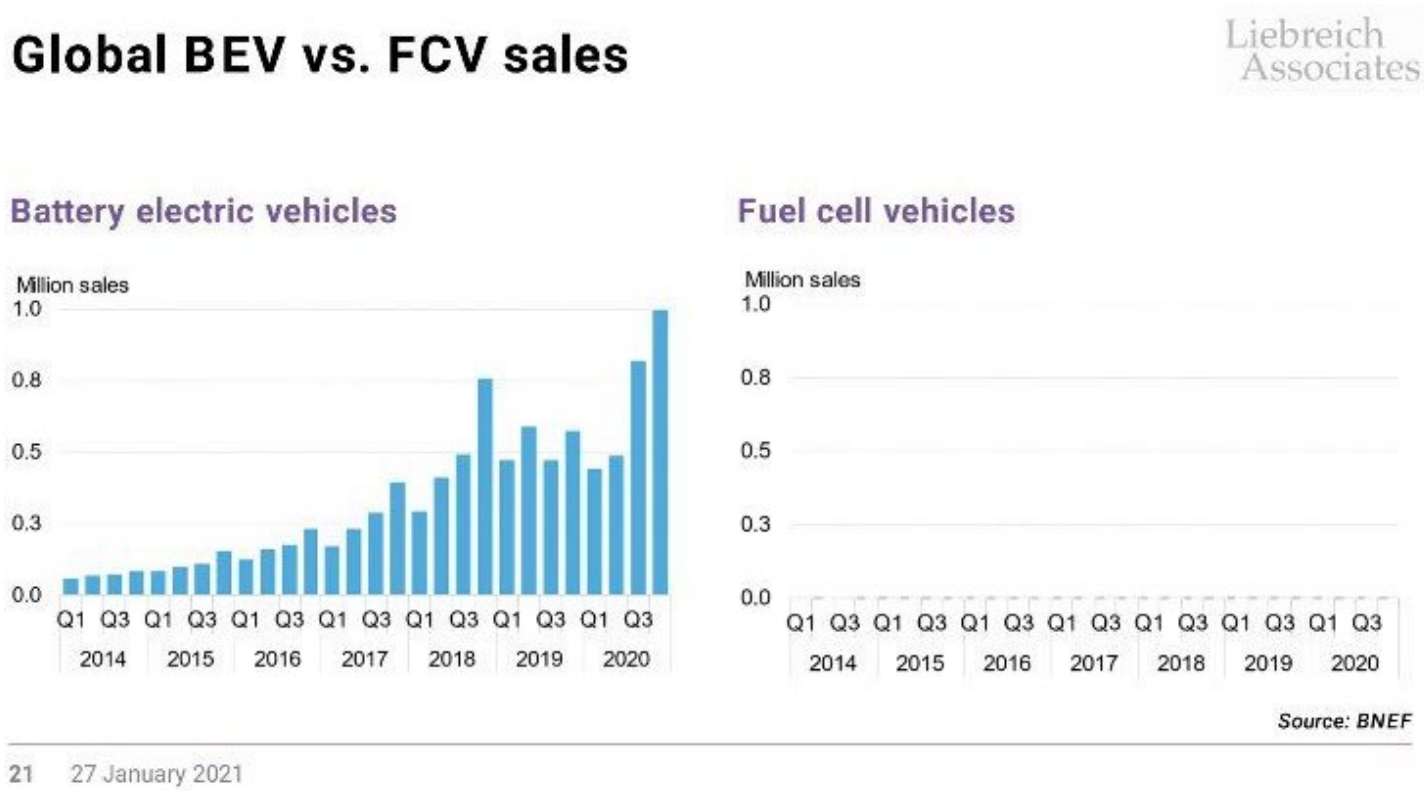
Fahrzeug mit Verbrennungsmotor: ca. 20-24% Wirkungsgrad
Kette für H2/BZ: nur 15-18% Wirkungsgrad → höherer Energiebedarf

 © HIU

Trends im Transportsektor

© HIU

Entwicklung der Anteile von BZ Fahrzeugen (PKW, LKW)

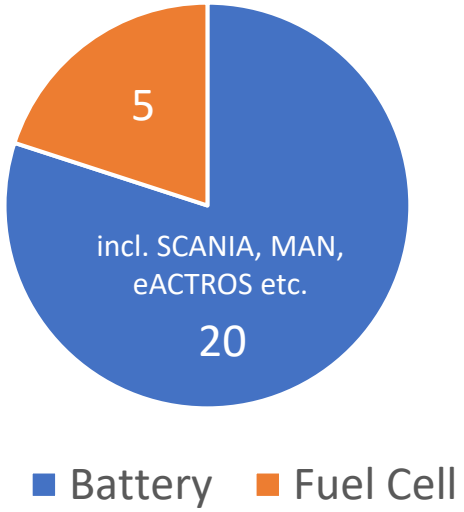


„Tipping point“ einer neuen Technologie bei 10-11% Markteinführung

→ „Markt-Trauma“ für die „alten“ Technologien

Und LKWs ?

Drivetrains of zero emission trucks developed by 25 companies worldwide



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

Elektromobilität

Studie: Batteriezug schlägt Wasserstoff-Triebwagen

Eine Studie des VDE zeigt, dass mit Brennstoffzellen angetriebene Züge auf Nebenstrecken nicht wirtschaftlich sind. Genau dort sollen sie aber die Dieseltriebwagen ersetzen.

12.08.2020 | von Dieter Fockenbrock Handelsblatt

Wasserstoffzug © imago/Sebastian Willnow

VDE

"Netz Düren" als Praxisbeispiel
(Linien RB 21 Nord, RB 21 Süd und RB 28).

Monetärer Unterschied beträgt über 30 Jahre Laufzeit **bis zu 59 Millionen Euro**

In Anschaffung, Betrieb und Wartung ist ein **HEMU um bis zu 35 Prozent teurer** als ein batterieelektrischer Zug (Battery Electric Multiple Unit, BEMU).

Wasserstoff im Transportwesen: aktuelle Hindernisse

Infrastructure:

- 1 H_2 **delivery** truck brings H_2 for 60-65 tank fillings → 5 trucks needed per day/average gas station.
- 1 filling in 5 min – but max. **40 fillings per day** – 1 filling every 35-40 minutes
- 1 H_2 filling station: **1-2 Mio EUR invest** – 1 charging station BEV: 0.1 Mio EUR invest

User friendliness/costs:

- Hyundai Nexo **costs** 75 TEUR (110 TEUR in production!); overall factor 3 cost reduction is necessary
- H_2-FC car needs thorough **service check** every 10 Tkm (H_2 safety)
- Cars are **banned** from basement garages
- 20-25% **lower driving range** at freezing temperatures – and at high temperatures

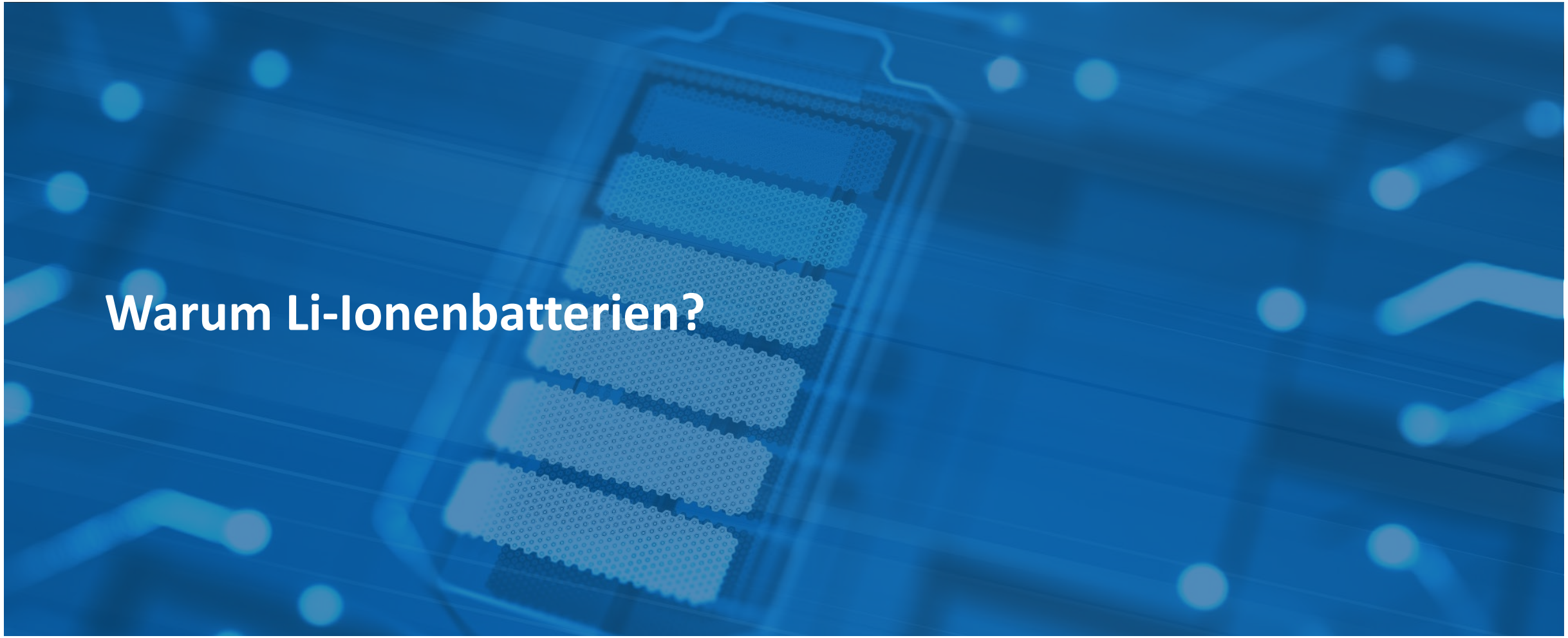
Safety:

- In U.S., there are 5000 **garage fires** every year. H_2-tank: safety valve releases 4 m^3 H_2/sec.
  → within 1 sec. the pressure limit of civil building is exceeded (even without ignition).

Climate:

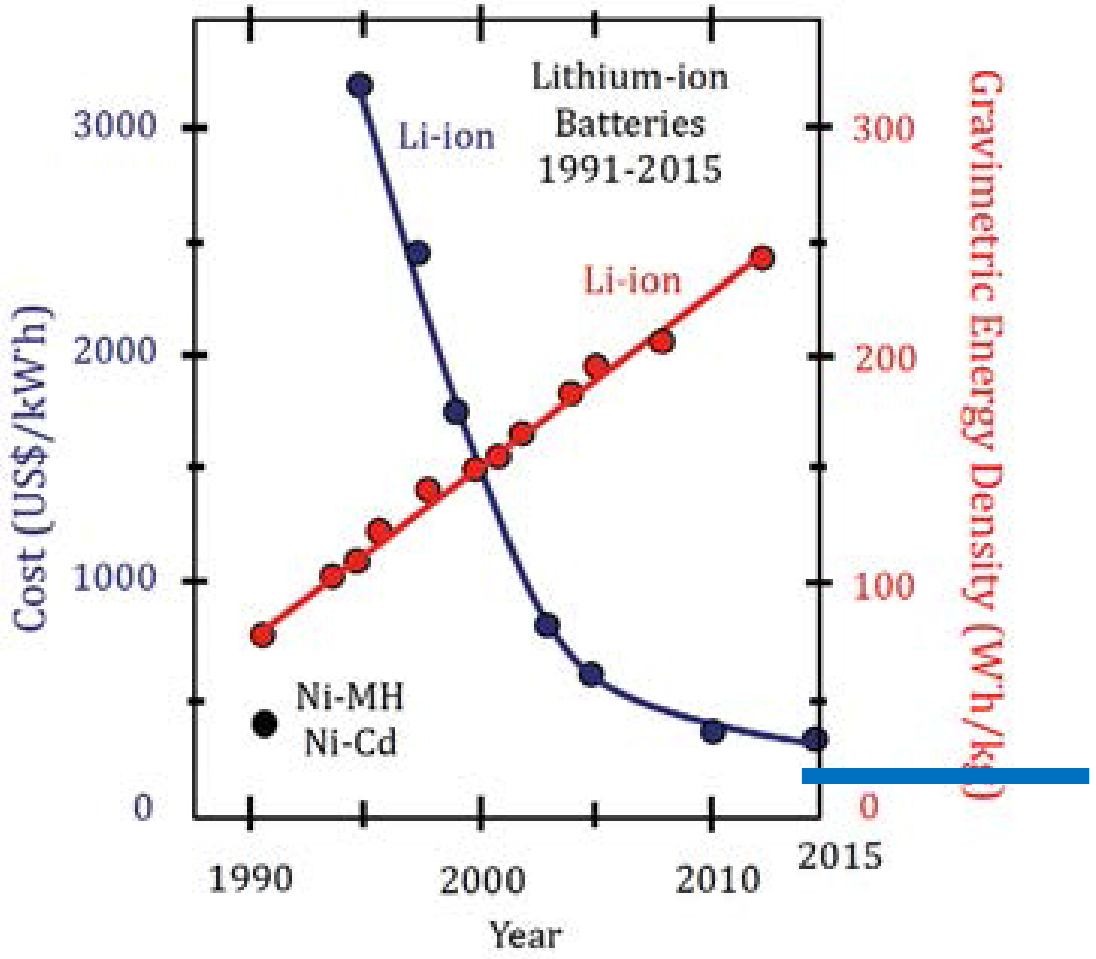
- The **CO_2 footprint** of a current H_2-FC car (H_2 from electrolysis with current electr. mix) is ca. 2x that of a Diesel car. → car manufacturers may not reach their CO_2 goals for their fleet
- The German H_2 strategy foresees a **green H_2 production until 2030** which can just supply steel industry

 © HIU



Warum Li-Ionenbatterien?

© HIU



Seit der Markteinführung:
Energiedichte: x4
Kosten÷18

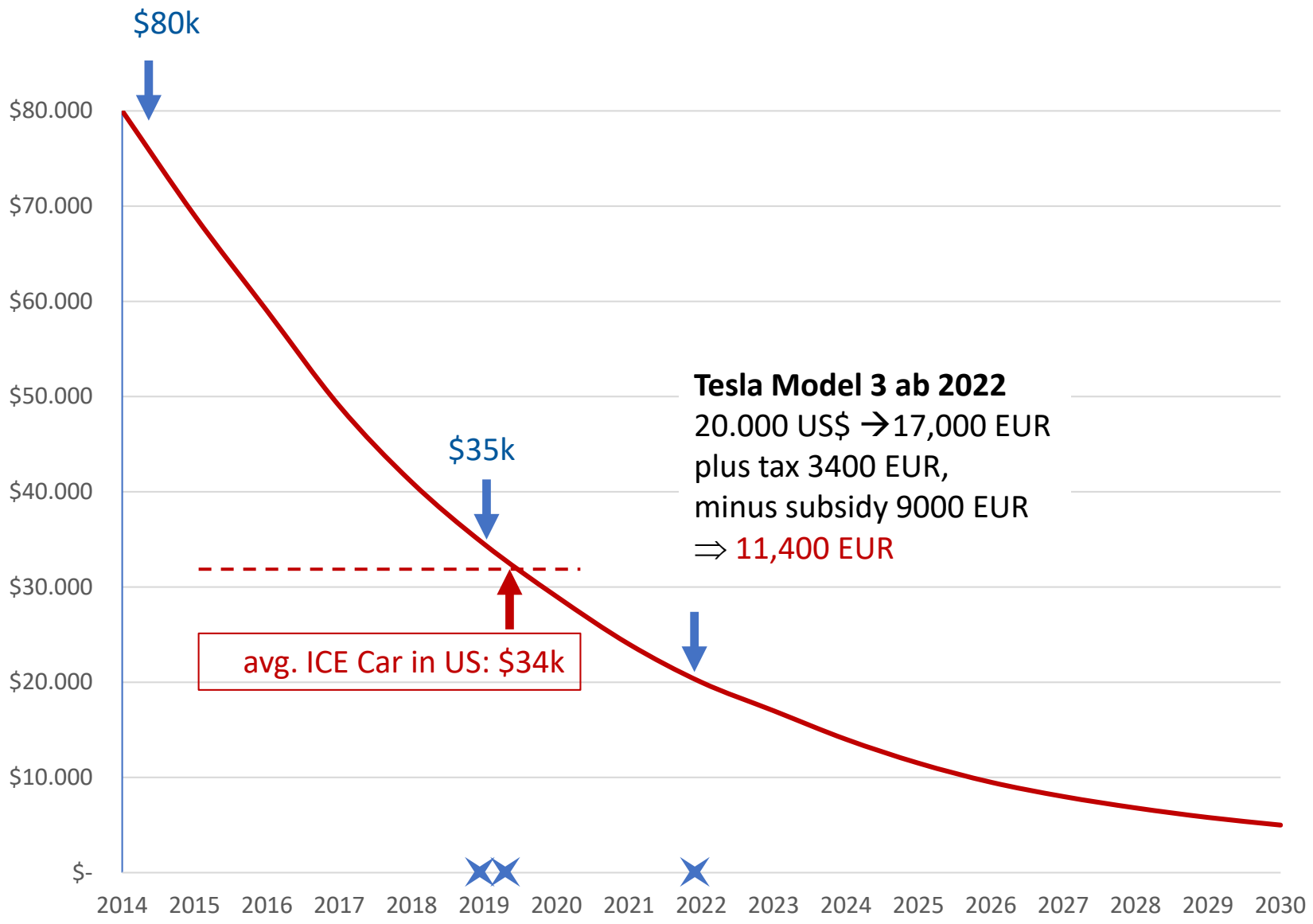
- **90% Kostenreduktion in den letzten 10 Jahren**
- **Kapazität verdoppelt**

Kostenziel
für 2020

📖 G.Crabtree, *MRS Bulletin* 40, 1067 (2015)

 © HIU

Kostenkurve für Batteriefahrzeug mit 350-400 km Reichweite



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

Clean Disruption ©2014 Tony Selba

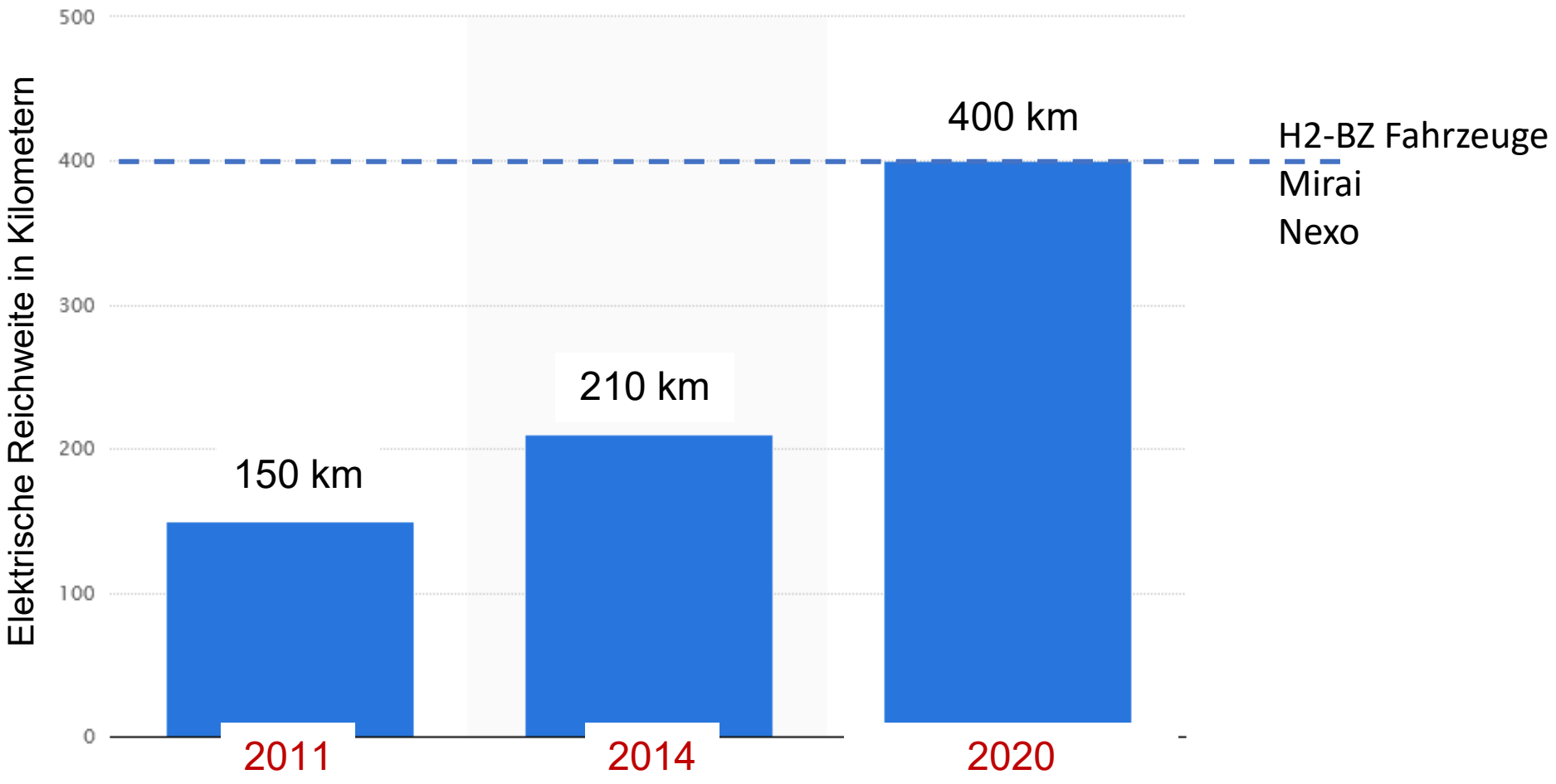
Kritische Punkte bei Li-Ionenbatterien

Reichweite, Rohstoffe

© HIU

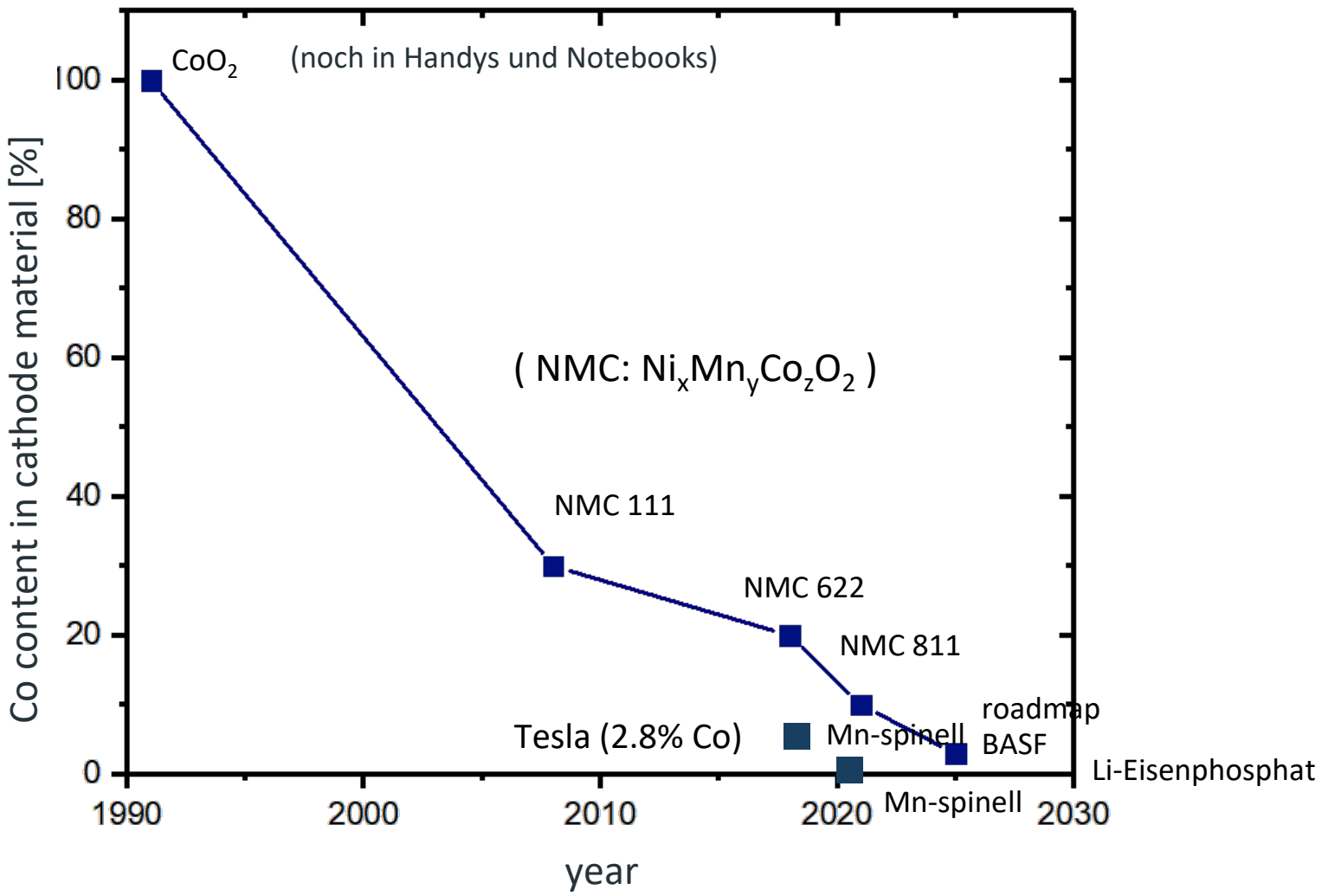
Entwicklung von Reichweiten und Speicherkapazität der Batterie

Durchschnittliche Reichweite aller verkauften Elektroautos in den Jahren 2011 bis 2020 (in Kilometern)



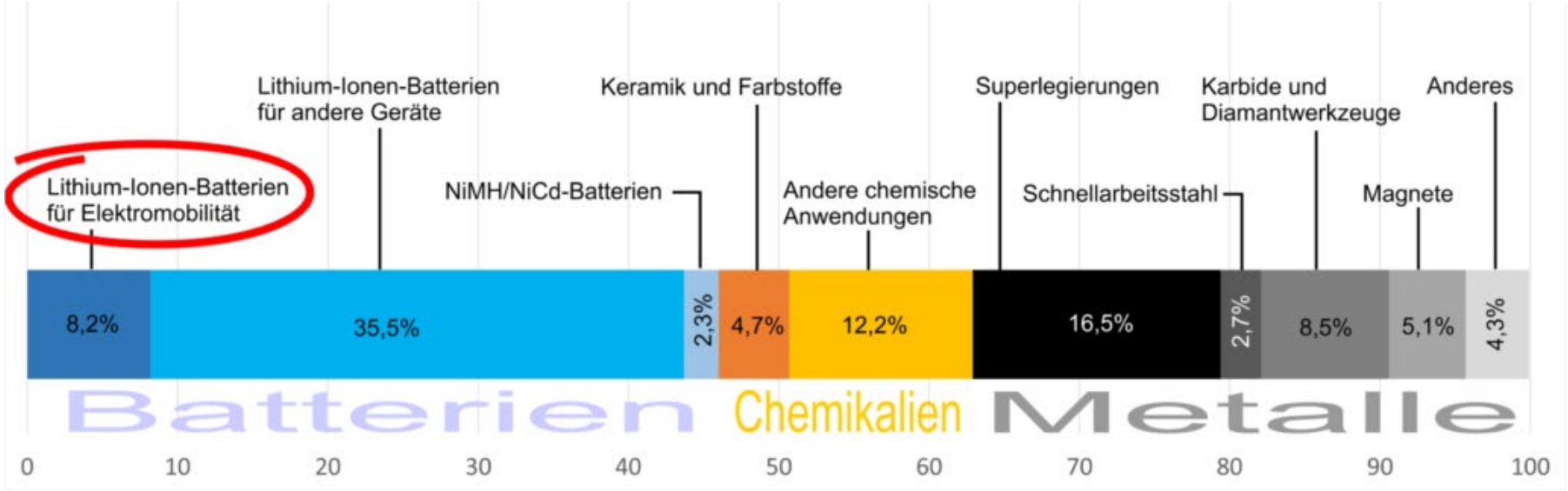
 © HIU

Kobalt-Gehalt in Batterien



 © HIU

Verwendung von Kobalt



Ref.: Commodities Research Unit (2018)

 © HIU

Lithium Produktion und Wasserverbrauch

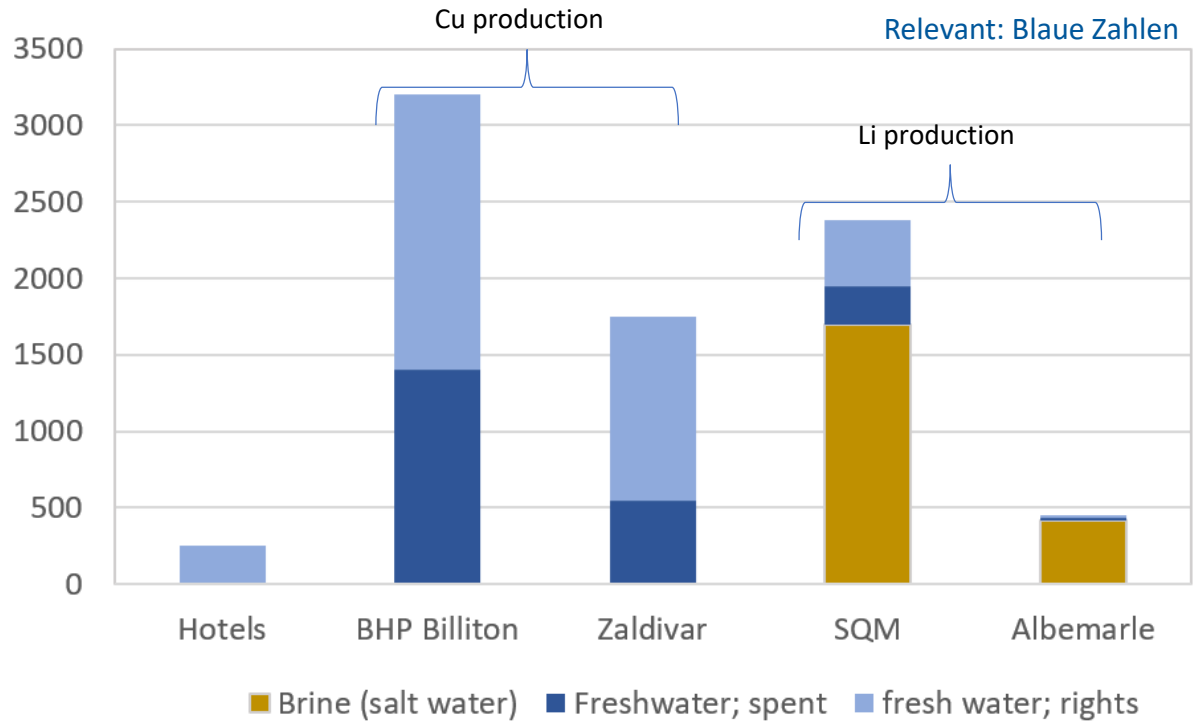
Zur Produktion einer **60 kWh Autobatterie** (400 km Reichweite) werden ca. **6 kg Li** gebraucht.
→ Die Produktion 1 Fahrzeugbatterie verbraucht **4000-5000 L Wasser**, welches aus der Salzlake verdunstet und das Salz zurücklässt.

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/undersoegelse/how-much-water-is-used-to-make-the-worlds-batteries/)
(en.wikipedia.org/wiki/Virtual_water)

Lithium Produktion und Wasserverbrauch/Wasserrechte vor Ort



data from:
Ministerio de Minería
Chile (2018)

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

Süßwasserverbrauch + Wasserrechte in der Salar de Atacama Region:

710 Mio m^3/a für Li (Verbrauch: **260** Mio m^3/a)

4950 Mio m^3/a für Cu (Verbrauch: **2000** Mio m^3/a)

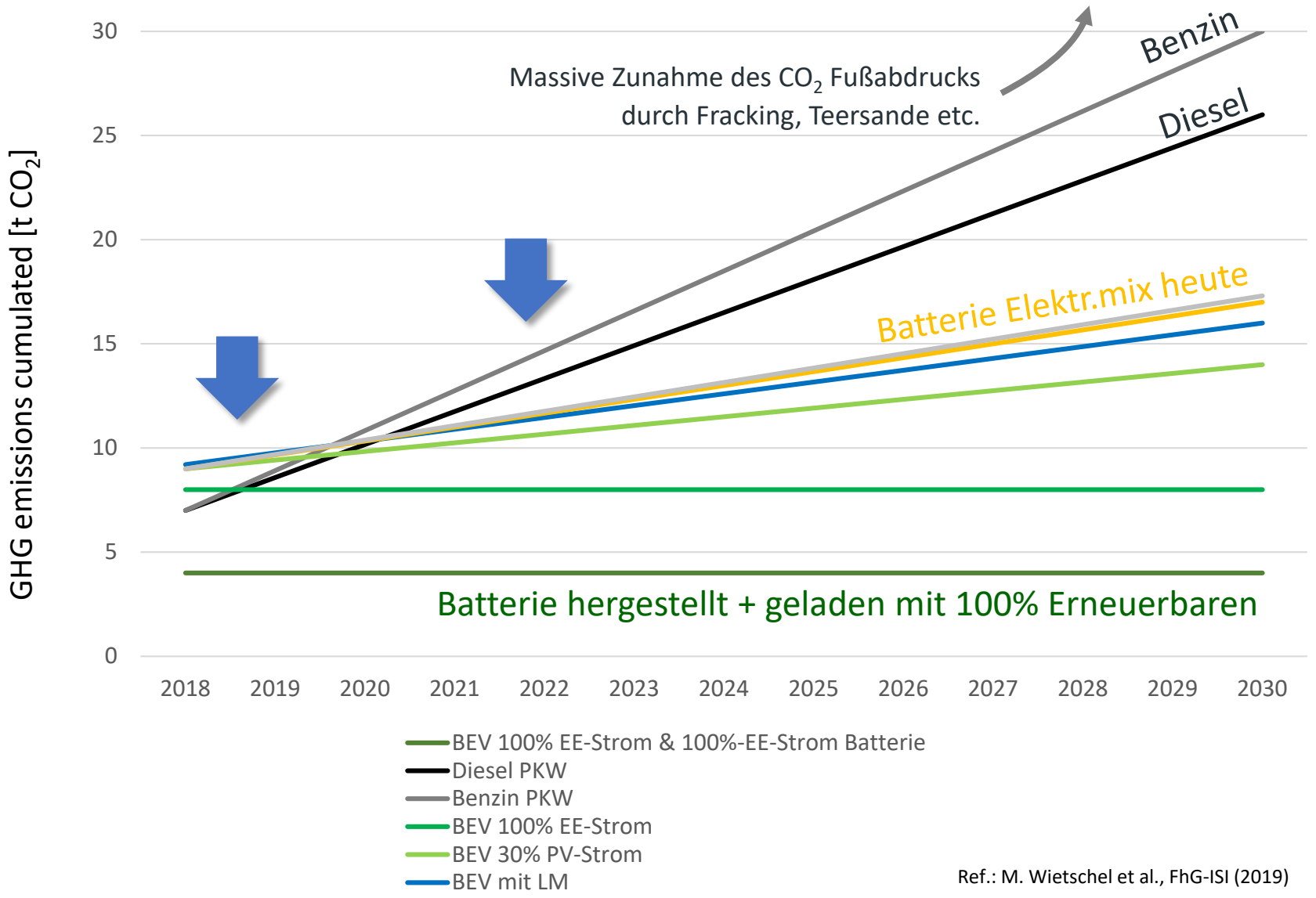
250 Mio m^3/a für Hotels (= Verbrauch)

8x höherer Wasserverbrauch für die Kupferproduktion am Salar

Grundwasser sinkt seit den 1960er Jahren

 © HIU

Kumulierte CO_2 Emissionen Batterie-PKW / Diesel / Benzin



Die Herstellung von 1L Diesel aus einem Teersand benötigt die Energie, die in ½ L Diesel steckt
Bei Fracking: 1/3 L

Neue Batteriefabriken: Produktion mit 100% Grünstrom

Ref.: M. Wietschel et al., FhG-ISI (2019)

 © HIU

Die nächste Zukunft

Ref: www.byd.com, 2020

„**Blade Battery**“ (CTP (cell to pack) Technologie)
LFP-cathode ($LiFePO_4$)
50% Raumgewinn

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

Ref: www.byd.com, 2020

Nagelpenetrationstest

NCM Lithium Battery:
severely damaged
surface temperature exceeded 500 ℃

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

Hohe Sicherheit!

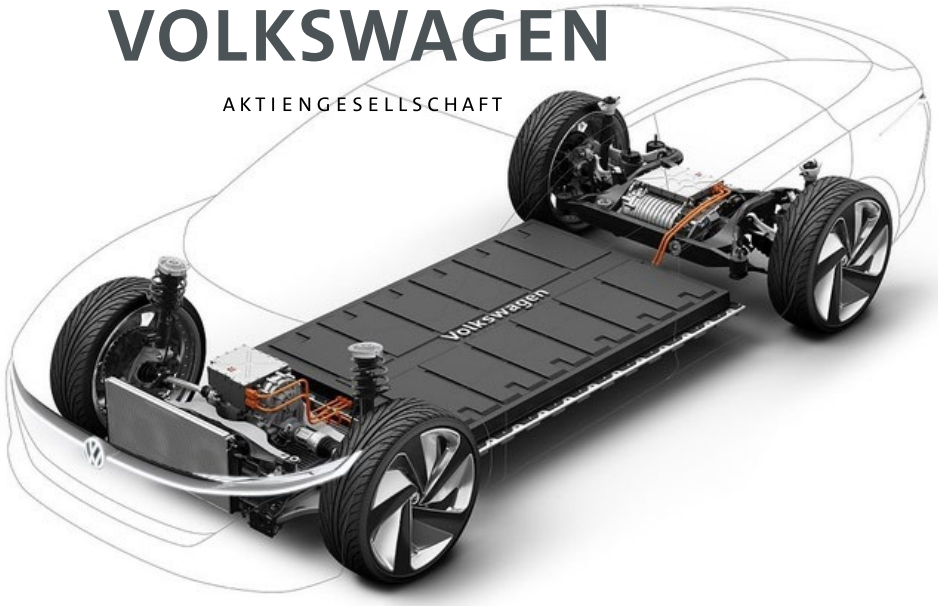
BYD Blade Battery:
no fire or smoke
surface temperature of 30 ℃ to 60 ℃

Ref: www.byd.com, 2020

Kosten ! (1/2 des Materialpreises)
Lebensdauer ! (10.000 Zyklen → 6 Mio km)
Nachhaltigkeit ! (kein Co, kein Ni)

 © HIU

$LiFePO_4$ verbreitet sich



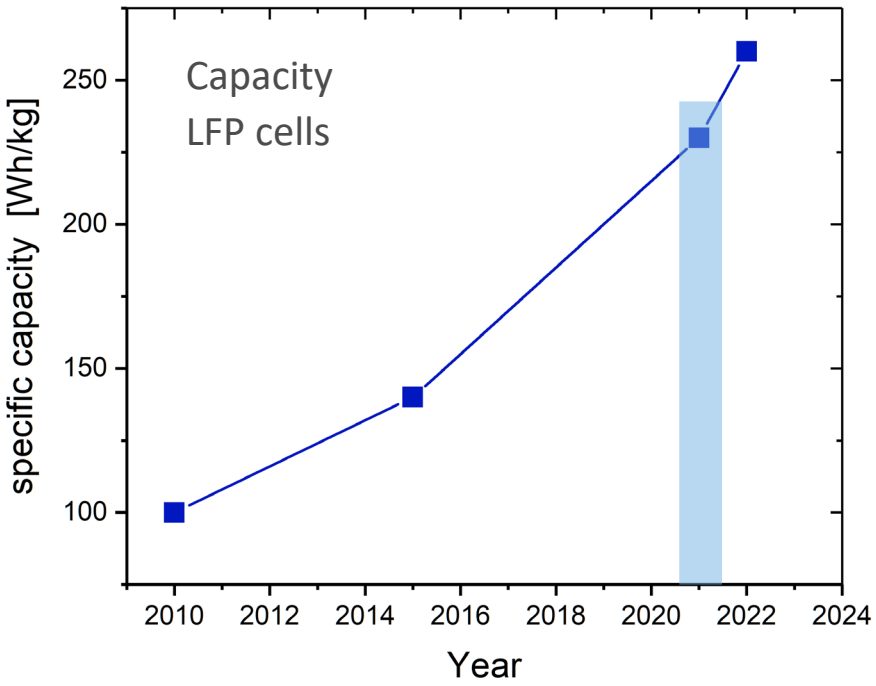
ref: Volkswagen, 2021

Collaboration von VW und GOTION:
$LiFePO_4$ cathode

Markteinführung 2020:
TESLA Model 3

Ankündigungen in 2020:
Volkswagen
Renault

- Kein Kobalt, kein Nickel
- kein thermisches Durchgehen
- Sicher in Nagelpenetrationstests
- 10.000 Ladezyklen → 4 Mio km Lebensdauer



 © HIU

Zusammenfassung

- **Rein elektrische Antriebe** sind heutzutage die energieeffizientesten, sichersten, und kostengünstigsten Antriebe (TCO)
- Die Verbreitung von **H_2–BZ Fahrzeugen** wird derzeit behindert durch hohe Kosten (Faktor 3 zu hoch), mangelnde Infrastruktur, niedrige Wirkungsgrade, Sicherheitsrisiken und die ungünstige CO_2 Bilanz (Flottengrenzwerte).
- E-Fuels werden vorauss. gebraucht für Flugzeuge und Schiffe, sind aber sehr teuer und derzeit uninteressant für PKWs (5-9 EUR/L).

 © HIU

Thank you !

www.celest.de
www.hiu-batteries.de
www.postlithiumstorage.org

Zusatzfolien

 © HIU

Elektrolyse:

1kg H_2 mittels **Elektrolyse** aus Wasser und elektrischem Strom hergestellt
→ dafür werden **55 kWh elektrische Energie** benötigt (LBSt, 2020)

Im Strommix (2019) sind enthalten: 401 g CO_2/kWh
→ 55 kWh x 0,401 kg CO_2/kWh

= 22 kg CO_2 / kg H_2

TOYOTA Mirai verbraucht 1 -1,3 kg H_2/100 km

→ **ca. 22-33 kg CO_2 pro 100 km**

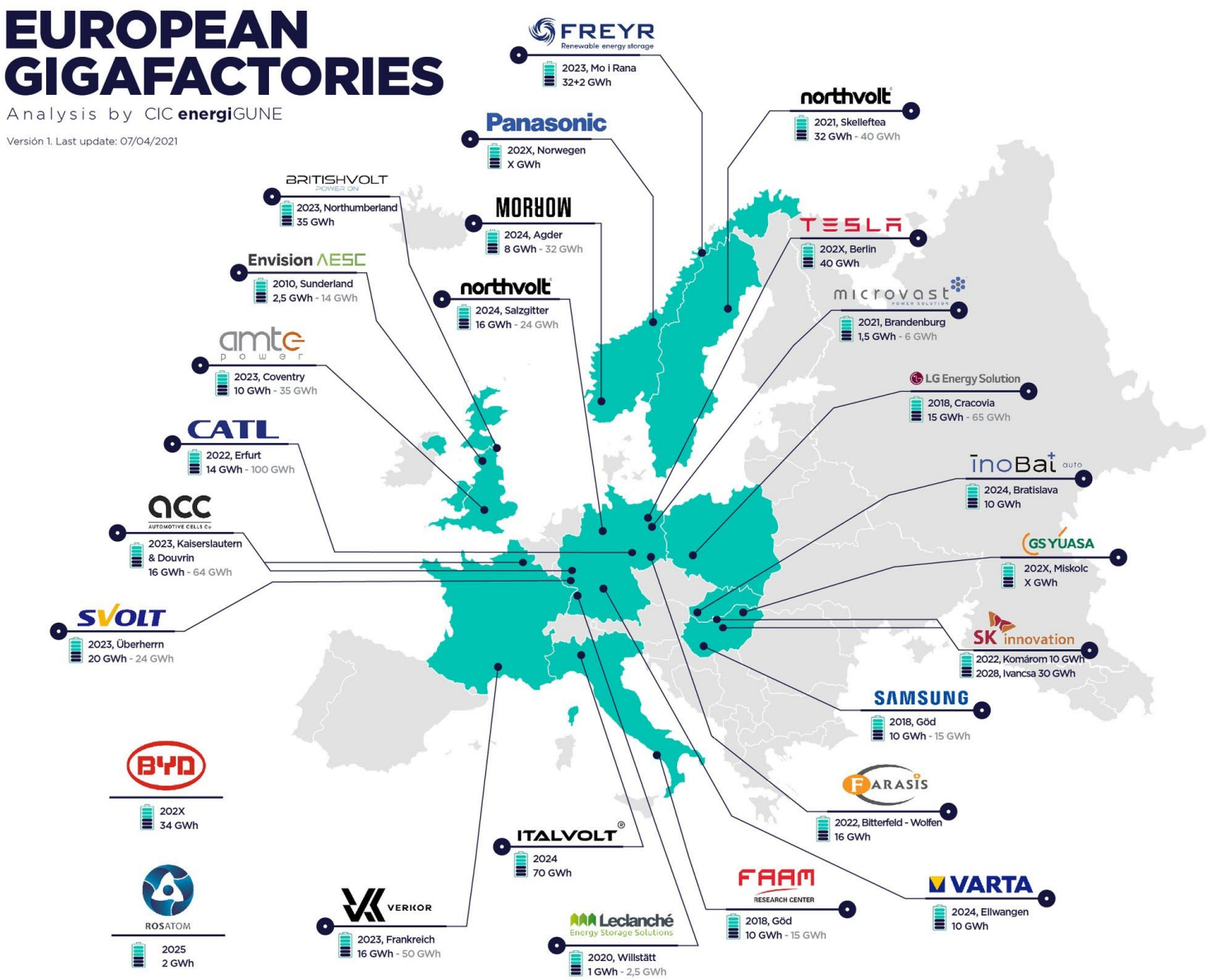
Vergleich:

Golf GTI D verbraucht **6 L Diesel auf 100 km**.
Diese verbrennen zu **15,8 kg CO_2**

Das Wasserstoff-Fahrzeug emittiert derzeit mehr CO_2 als ein Diesel!

 © HIU

Industrie



ca. 400 GWh/a Produktionskapazität

Europäische Linien: ausschließlich 100% Grünstrom

Fracking und Wasserverbrauch

„Hydraulisches Fracking“ → 20 Mio L Wasser ´Verbrauch pro Bohrloch
In Colorado derzeit ca. 22,7 Mrd Liter Verbrauch. Abwassermenge hat sich versechsfacht.
Alberta (CDN): 25% des Trinkwassers wird für Teersandabbau verbraucht/verseucht.

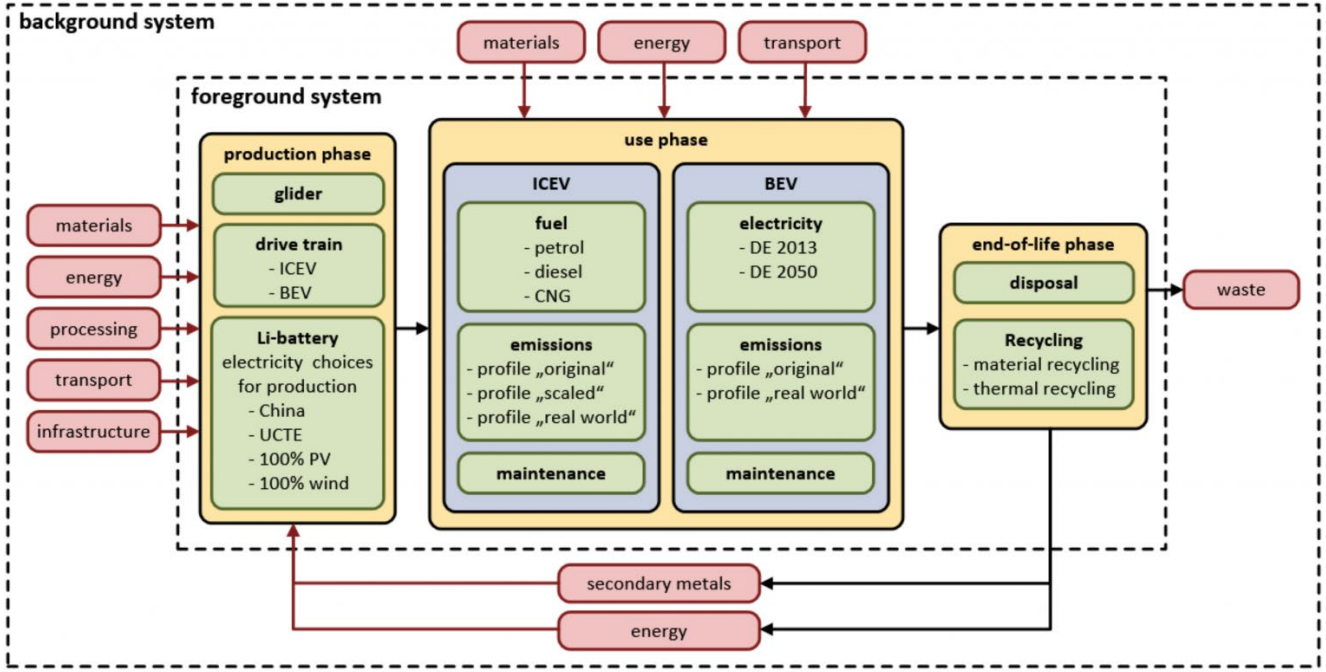
Weiteres Problem:
Erschließung von 55% in Trockenzonen, z.B. in Texas, Colorado, Kalifornien, Arkansas, North Dakota

Öl generell

Verbrauch für Ölförderung insgesamt: 46 Mrd. L Wasser pro Tag
→ entspricht der benötigten Wassermenge für die Produktion von Li für 1,6 Mio Tesla-Akkus -

 © HIU

Lebenszyklus-Analysen (LCA) zur E-Mobilität



“...This specific study finds that the life cycle of selected lithium-ion BEVs emits, on average,an estimated 33% less GHGs, 61% less volatile organic compounds, 93% less carbon monoxide, 28% less nitrogen oxides, and 32% less black carbon than the life cycle of ICEVs. ...”

(Congress. Research Service, 2020)

andere Studien kommen zu ähnlichem Ergebnis, siehe z.B. FhG-ISI von 2019

 © HIU