

DIE ZUKUNFT DER ELEKTRISCHEN ANTRIEBSSYSTEME – AKKU ODER WASSERSTOFF ?

WELCHE TECHNOLOGIE BIETET BESSERE CHANCEN?

**VERTRÄGT UNSER STROMSYSTEM
100% ELEKTROMOBILITÄT?**

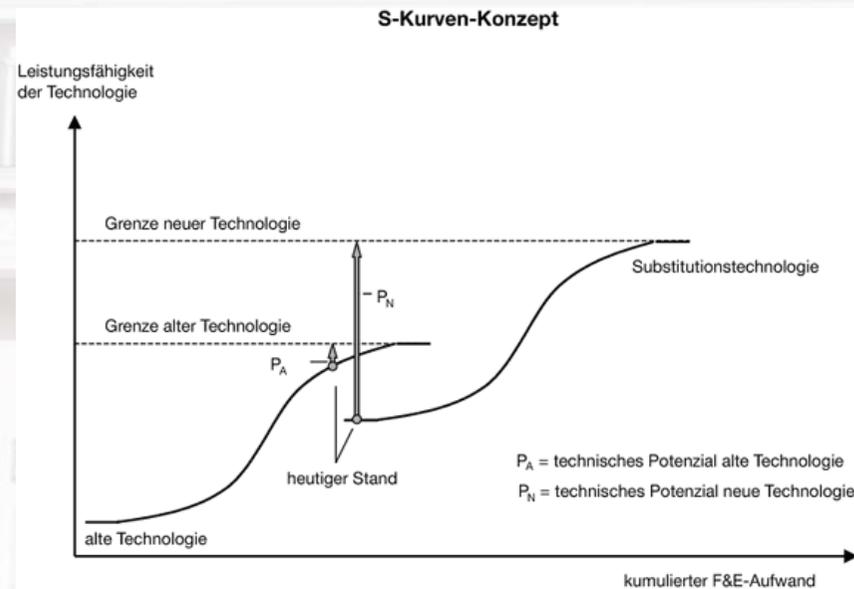
**Univ.Prof. Dr. Manfred Schrödl
Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe
TU Wien**

**Vortrag für VDV Management-Symposium Stuttgart
12. Nov. 2022**

Inhaltsverzeichnis

- 1) Vergleich Verbrenner <-> Neue Antriebstechnologien
- 2) Eigenschaften und Entwicklung der Batteriefahrzeuge
- 3) Vergleich Batterie- und Wasserstoff/Brennstoffzellen-KFZ
- 4) Auswirkungen der E-Mobilität auf unser Stromnetz
- 5) Zusammenfassung

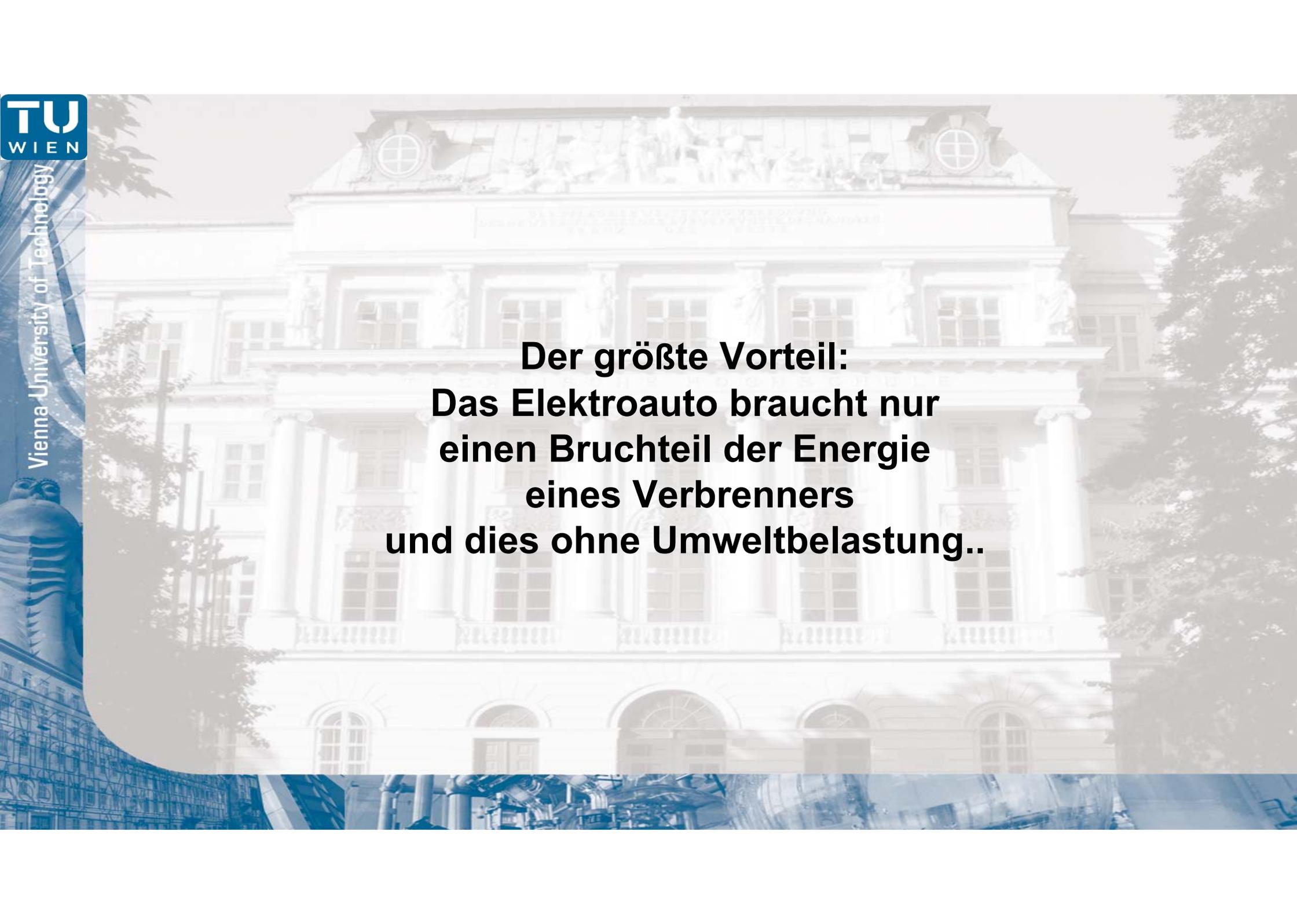
Wo steht das Verbrenner-Auto und das Elektroauto in der technologischen S-Kurve?



Beispiel für Grenze von Technologien:

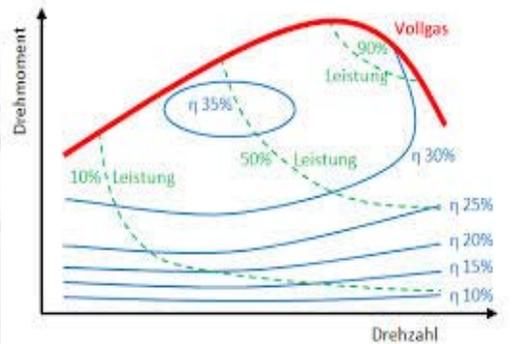
Alte Technologie mit Verbrenner: Verbrauch auf 100 km begrenzt durch Carnot-Prozess (ca. 40 kWh oder 4 l Benzin) plus Raffinerie, Öltransport,..

Neue Technologie (PV-Anlage + Elektroauto): 15 kWh kein Problem.

The background of the slide is a faded, light-colored image of a grand, classical building with a portico supported by columns and a pediment with a relief sculpture. The text is centered over this image.

**Der größte Vorteil:
Das Elektroauto braucht nur
einen Bruchteil der Energie
eines Verbrenners
und dies ohne Umweltbelastung..**

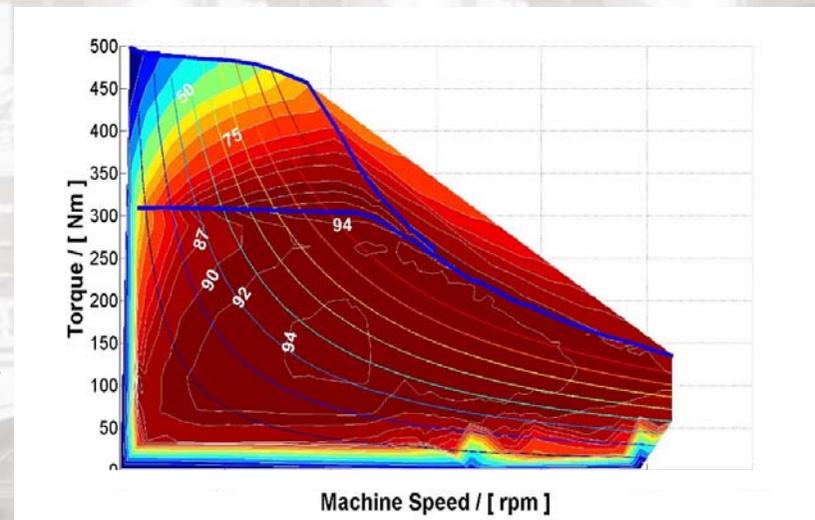
Vergleich der Wirkungsgrade von Verbrennungskraftmaschinen und Elektromotoren



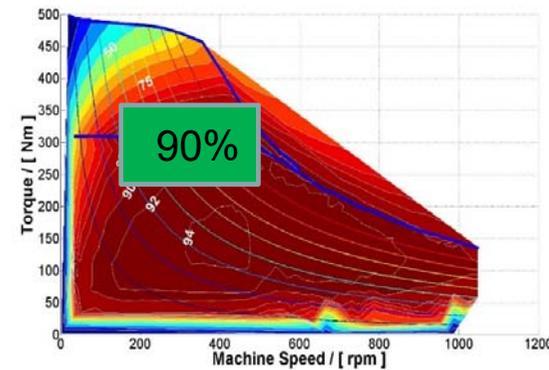
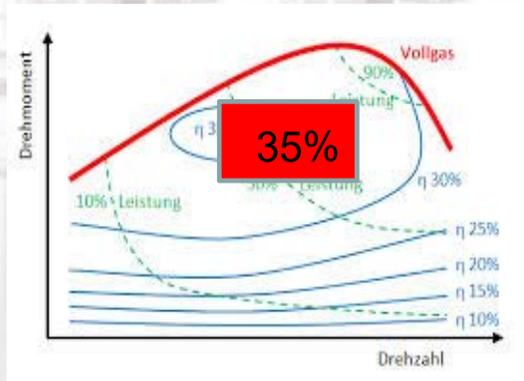
Typisches Kennfeld eines Ottomotors.
Wirkungsgrad im Bestpunkt etwa 35%.
Rasches Absinken im Teillastbereich.

**Aus dieser Betrachtung folgt:
Elektromobilität braucht nur ca 1/3
der Energie im Vgl. mit Verbrenner
Wenn die Strombereitstellung
effizient erfolgt (Kernproblem des
Wasserstoffantriebs).**

Typisches Drehmoment-Drehzahl-
Kennfeld eines Permanentmagnet-
Synchronmotors (TU Wien).
Wirkungsgrad in weitem Bereich über
90%. Sehr guter Wirkungsgrad auch im
Teillastbereich.



Vergleich der Wirkungsgrade von Verbrennungskraftmaschinen und Elektromotoren



**KILLERKRITERIUM FÜR
„SYN-FUELS“, „E-FUELS“ etc.
im großflächigen Mobilitätseinsatz**

Was bedeutet die derzeitige Mobilität für den Treibhausgas-Ausstoß?

Der Verkehr verursacht 1/3 der energetisch bedingten Treibhausgasemissionen! (Diese machen ca. 80% der gesamten Emissionen aus)

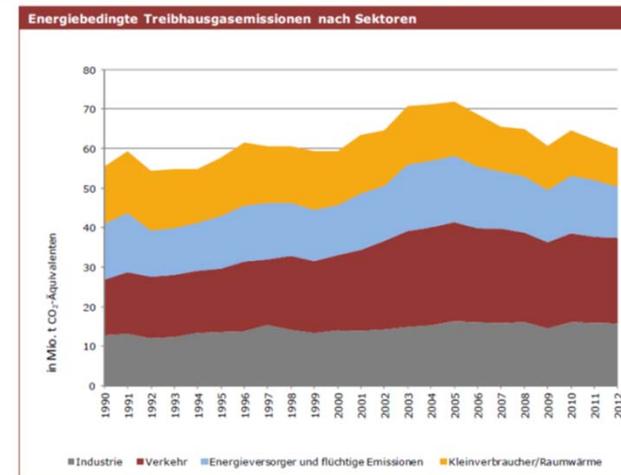
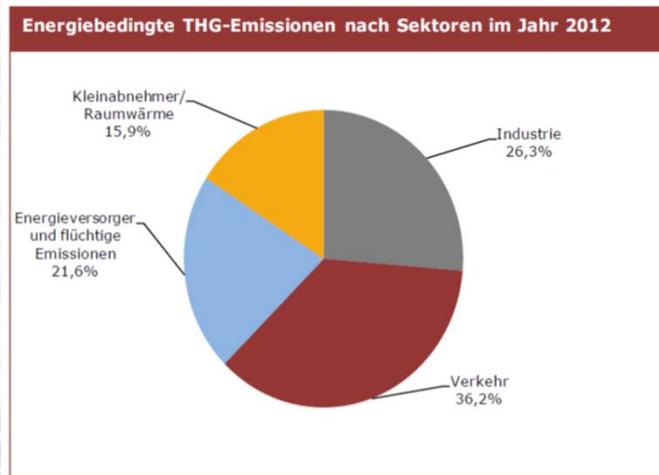


Bild: Treibhausgasemissionen 1990-2012

Würde man den Verkehr auf nachhaltige Elektromobilität umstellen, könnte ca. 1/3 der Treibhausgasemissionen eingespart werden.

Wer kriegt den knappen, kostbaren Wasserstoff?

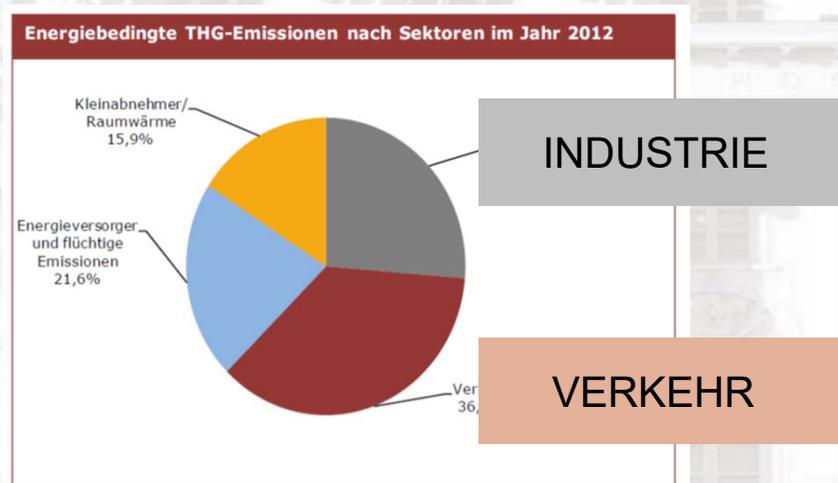
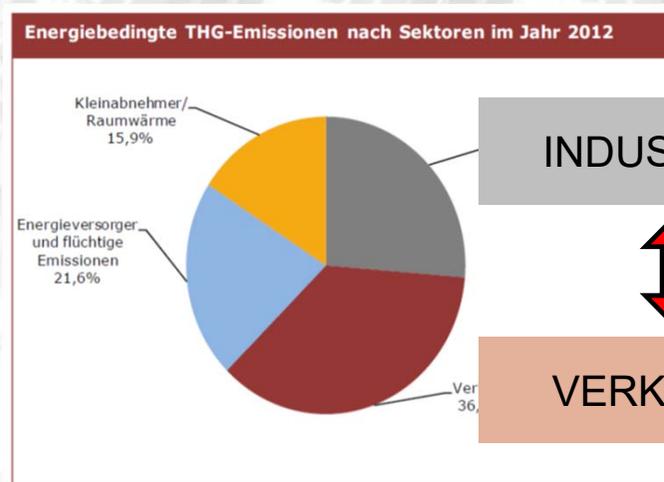


Bild: Treibhausgasemissionen 2012

Wer kriegt den knappen, kostbaren Wasserstoff?

Da Wasserstoff ein knappes Gut ist..



INDUSTRIE



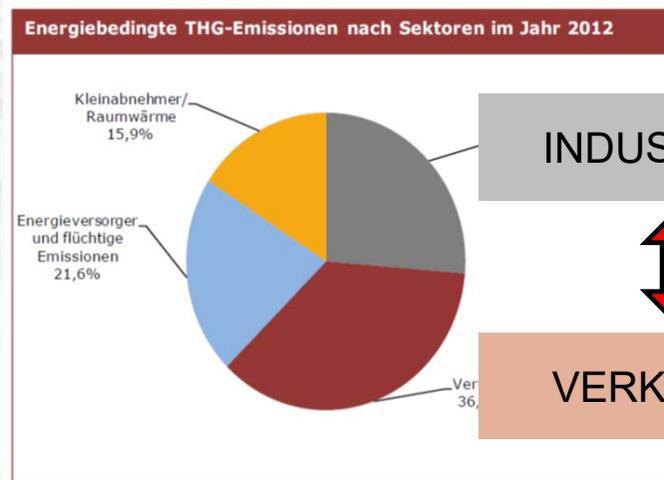
Konkurrenzsituation!

VERKEHR

Bild: Treibhausgasemissionen 2012

Wer kriegt den knappen, kostbaren Wasserstoff?

Da Wasserstoff ein knappes Gut ist..



INDUSTRIE

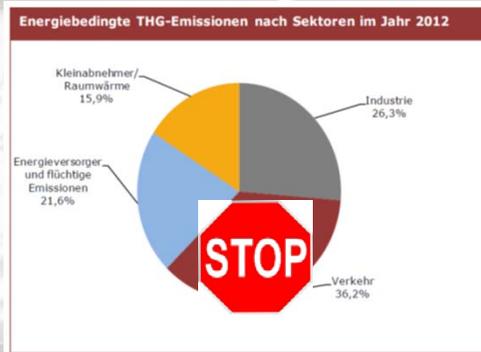
Stahlwerk auf H₂ statt Koks als Reduktionsmittel umstellen ?



Konkurrenzsituation!

VERKEHR

Verbrenner-KFZ auf H₂ / Brennstoffzelle umstellen ?



**Zwei Wege führen aus dem fossilen Smog
in die saubere emissionsfreie Mobilität:**

**Das Elektroauto mit Batterie
oder**

Das Wasserstoffauto mit Brennstoffzelle

Welches Konzept wird sich durchsetzen?

Stand der Technik: Lithium-Ionen Batterie

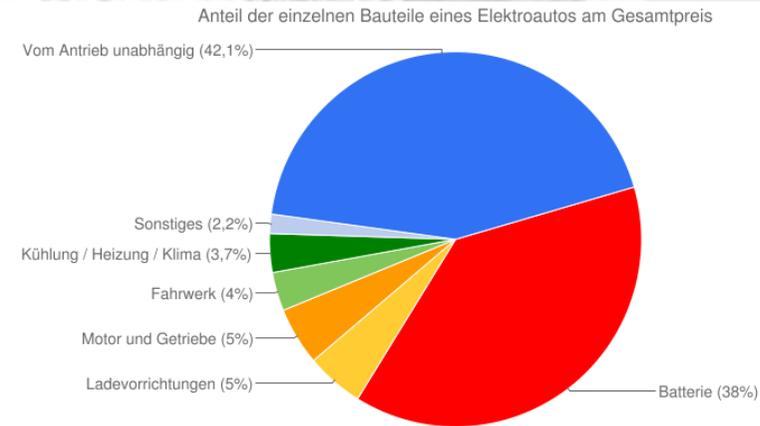
Komponenten - Kosten:

Antriebsunabhängig .. 40 %

Batterie 35 % Tendenz fallend

Elektroantrieb .. 5%

Rest .. 20 %



Zykluswirkungsgrad Li-Batterie: ca. 85-90 %

z.B. E-Auto 50 kWh, 4.000 Zyklen..250 km x 4.000 = 1.000.000 km..ok!

Danach Sekundärnutzung im Haus als PV-Puffer möglich

Wirkungsgrad des E-Antriebs: 90%

- > Verbesserungspotenzial des Antriebs: 5% der Gesamtenergie, 2-3% des Gesamtpreises am Fahrzeug
- > Verbesserungspotenzial der Batterie: 5 % der Gesamtenergie, **30%** des Gesamtpreises.

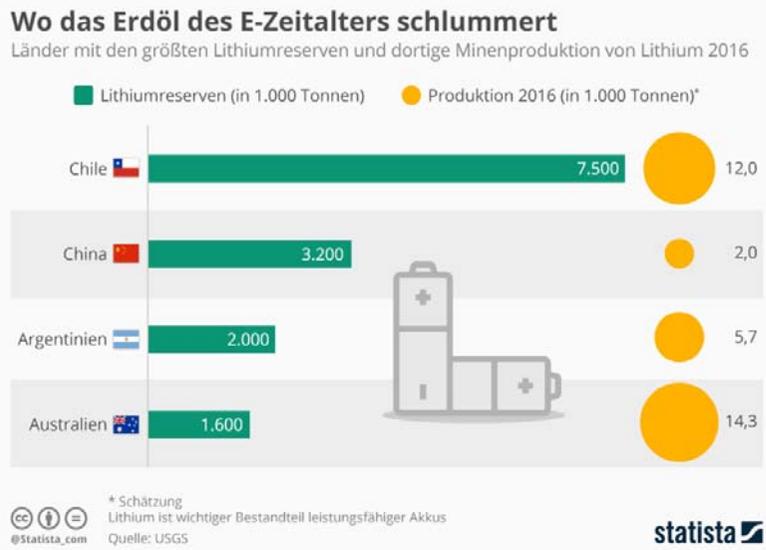
Lithium – Derzeit erste Wahl für Akkus

Lithium-Vorkommen: Südamerika, Australien, China

In Europa: Portugal, Serbien, Österreich (Koralpe), Deutschland (Oberrheingraben)

Lithium-Produktion: Australien – Hartgestein (Bild: Tagesspiegel)

Chile, Argentinien – Sole (Bild: Chemetall)



Lithium – Preis

Lithium kostet ca. 50 EUR / kg. Für eine typische Auto-Batterie benötigt man etwa 10-50 kg Lithium.

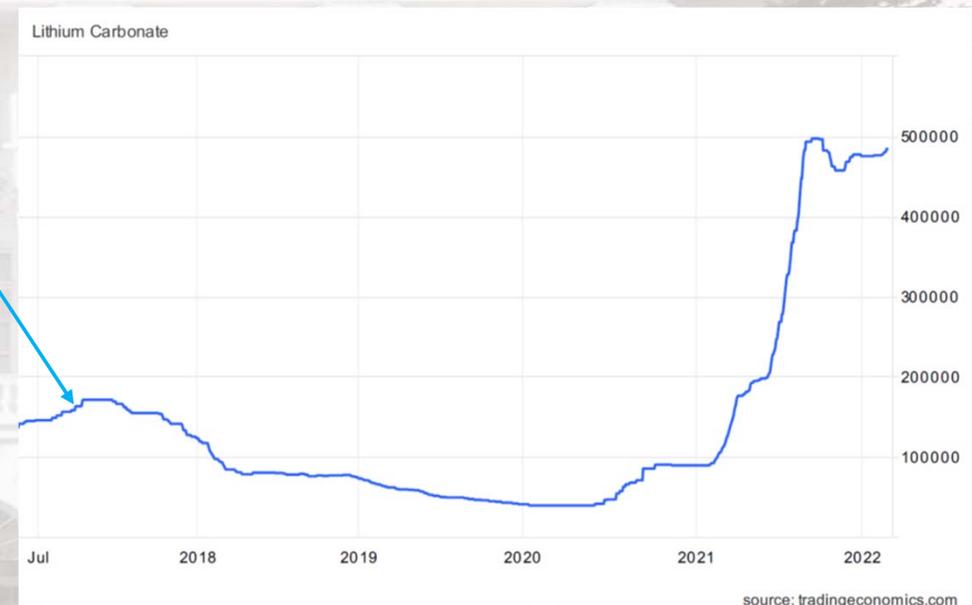
-> Lithium ist nicht primär preisbestimmend in Akkus!

Lithiumcarbonat-Preisanstieg seit 2005 von ca. 1.500 EUR auf ca. 15.000 EUR (linkes unteres Bild)

2018 – 2021 Preis stabil (rechtes Bild)

2021->2022: Preis verdreifacht

Quelle: All-electronics.de



Quelle: Trading Economics

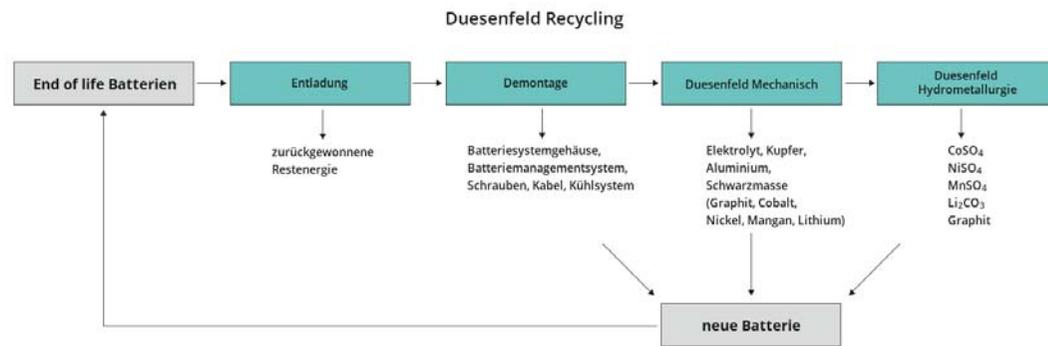
Lithiumakkus – Recycling

Recycling-Quote bereits heute über 90% realisierbar
Graphit und der Elektrolyt werden dabei nicht verbrannt, sondern rückgewonnen.

Durch mobile Container:
Mechanische
Vorverarbeitung –
dadurch kein
Gefahrguttransport
Hydrometallurgisches
Recycling zentral im Werk



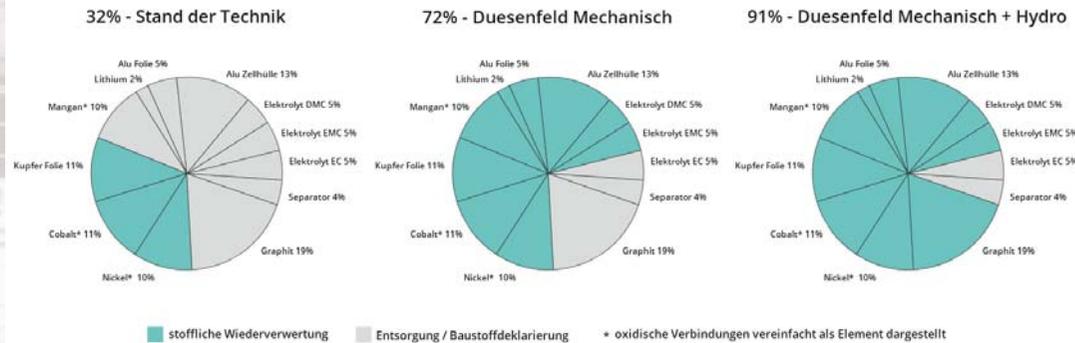
Quelle: Duesenfeld GmbH.



Volkswagen / Redwood:
95% Recyclingrate durch
chemische Verfahren
(Kobalt, Kupfer, Nickel,
Lithium,..) geplant (in
Nordamerika)

In Europa: Werk Salzgitter
wird Kompetenzzentrum
von VW für Batterien

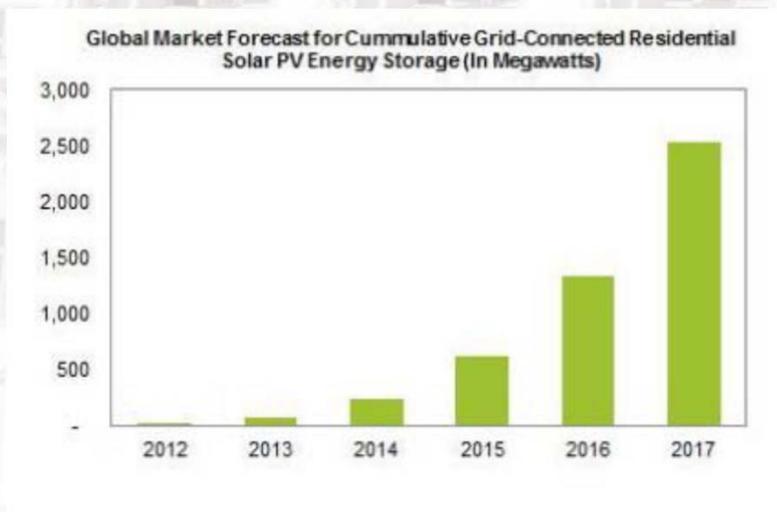
Recycling Effizienz einer Lithium-Ionen-Batterie zelle



Quelle: Redwood Materials

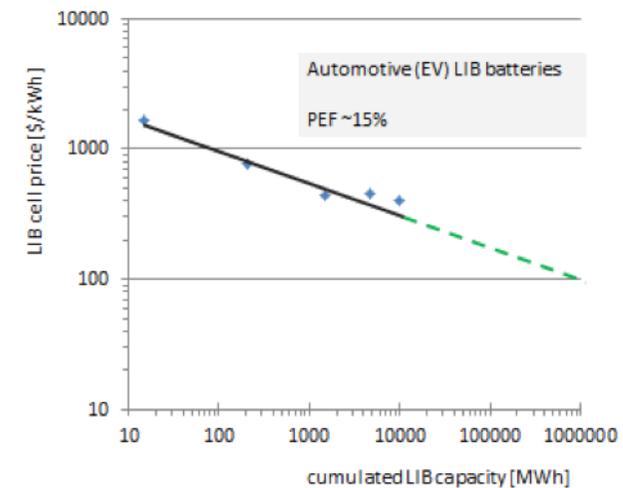
Lithium-Ionen-Speicher Lernkurve

Installierte Kapazität und Lernkurve von Lithium-Ionen Speichern



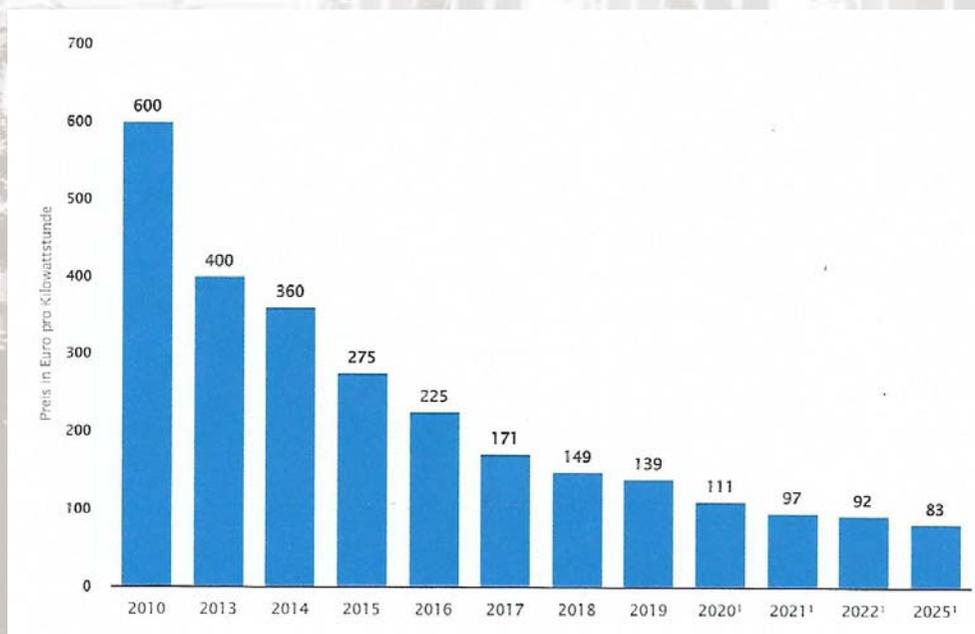
Installierte Kapazität Lithium Speicher
Etwa Verdopplung pro Jahr erwartet

Preise für Li-Akkus: 2010: 600 EUR/kWh
2015: 300
2020: 100 EUR/kWh

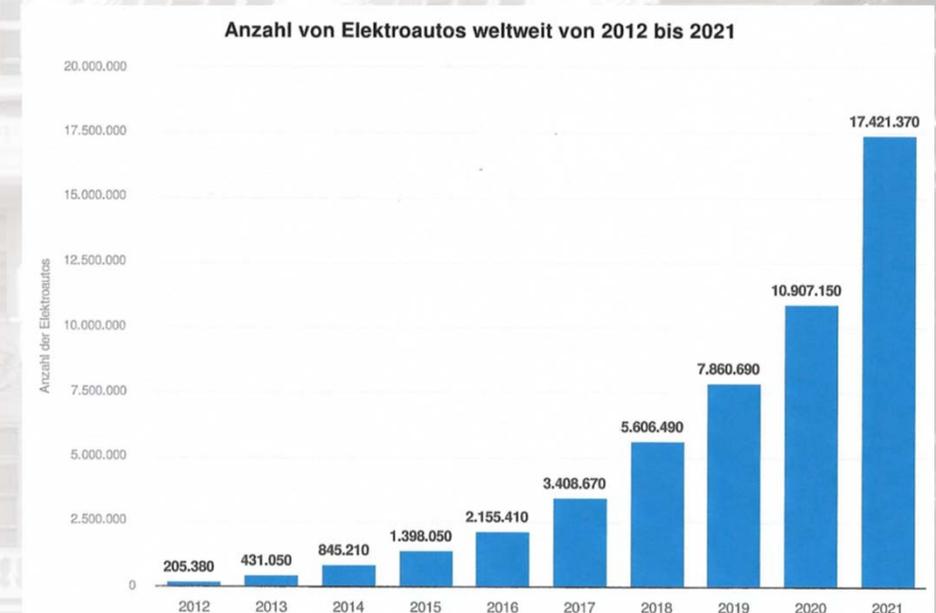


Lernkurve: Li-Batteriepreise
fallen um 15% pro
Verdopplung der installierten
Kapazität (Bild: W. Hoffmann)

Preise für Lithium-Ionen-Akkus 2010-2025 sowie Weltweite Anzahl der Elektroautos 2012-2021



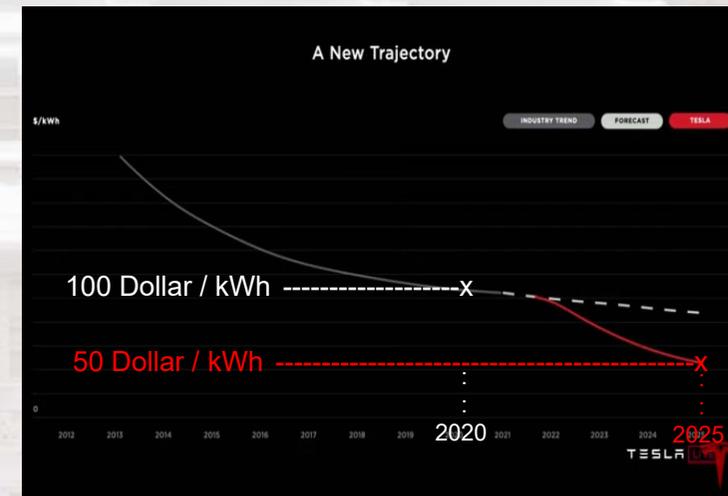
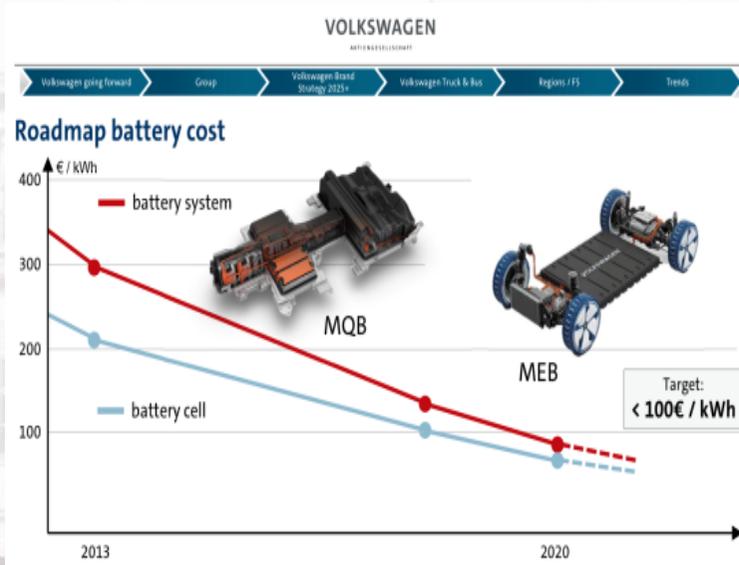
Preise für Li-Akkus: 2010: 600 EUR/kWh
 2015: 300
 2020: 100 EUR/kWh



Anzahl der Elektroautos steigt exponentiell (ca. + 50% / Jahr)

Quelle: Statista

Roadmap der Batteriekosten (Vergleich Volkswagen AG und Tesla)



Beide Kurven zeigen: Die Kosten auf Systemlevel liegen 2020 sowohl bei VW als auch bei Tesla bei ca. **100 EUR/kWh**. Tesla erwartet Halbierung der Kosten bis 2025 (Interview von Elon Musk im Rahmen der Konferenz der EU zu Batteriezell-Fertigung im Nov. 2020)

Kapazität der geplanten **Tesla-Batteriefabrik** in Grünheide **100-250 GWh**

Kapazität der geplanten **VW/Northvolt-Batteriefabrik** in Salzgitter **40 GWh**.

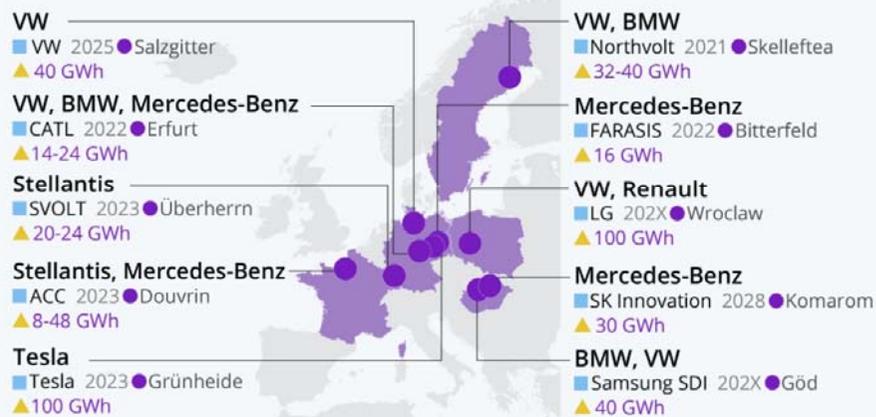
(Anmerkung: Aktuelle Tesla Gigafactory in USA .. 35 GWh)

Geplante Batteriefabriken in Europa

Europas Batteriefabriken

Geplante Jahreskapazitäten ausgew. Produktionsanlagen für Hochvoltbatterien für E-Autos

● Standort ▲ Jahreskapazität ■ Betreiber



Stand: 03.11.2021

Quelle: Union Investment



Zählt man die Kapazitäten zusammen, kommt man auf etwa 400 GWh in den nächsten Jahren.

Vergleich: Teslas erste Gigafactory: ca. 35 GWh.

Massive Kostenreduktion bei Batterie-KFZ durch Stückzahleffekt und Großserienfertigung



2014 => 2020
2-3-fache Reichweite
Gleicher Preis

Preisdegression:
20%/Jahr

Volkswagen ID3 (2020):
Batterie ca. 60-77 kWh
Reichweite: 400-500 km
Preis: ab ca EUR 35.000,-

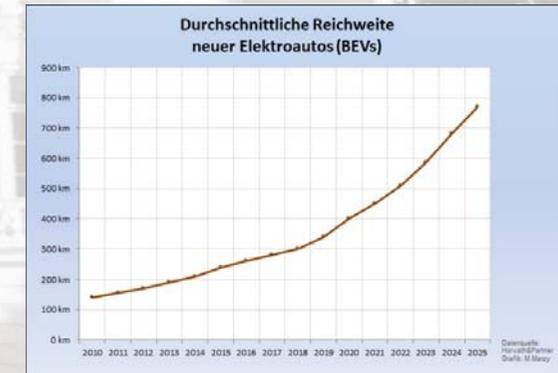
Tesla Model 3 (2018):
Batterie ca. 50-75 kWh
Reichweite: 400-580 km
Preis: ab EUR 35.000,-

E-Golf (2014): Batterie: 24 kWh
Reichweite: 160 km
Preis: EUR 35.000,-

Renault Zoe (2018)
Batterie 50 kWh
Reichweite 400 km
Preis: ca. EUR 33.000,-



BMW i3 (2014): Batterie: 22 kWh
Reichweite: 130 km
Preis: EUR 35.000,-



Reichweiten der Neufahrzeuge
2010-2025

Speicherkapazität, Reichweite und Preis bei höherwertigen Batterie-PKW 2020/21

Hyundai Ioniq 5 (2021)

Preis ab 42.000 EUR
Akku 58 / 72 kWh,
Reichweite WLTP 450 km



VW ID 4 (2021)

Preis ab 43.000 EUR
Akku 52 – 77 kWh, Reichweite WLTP 485 / 520 km



Opel Ampera E

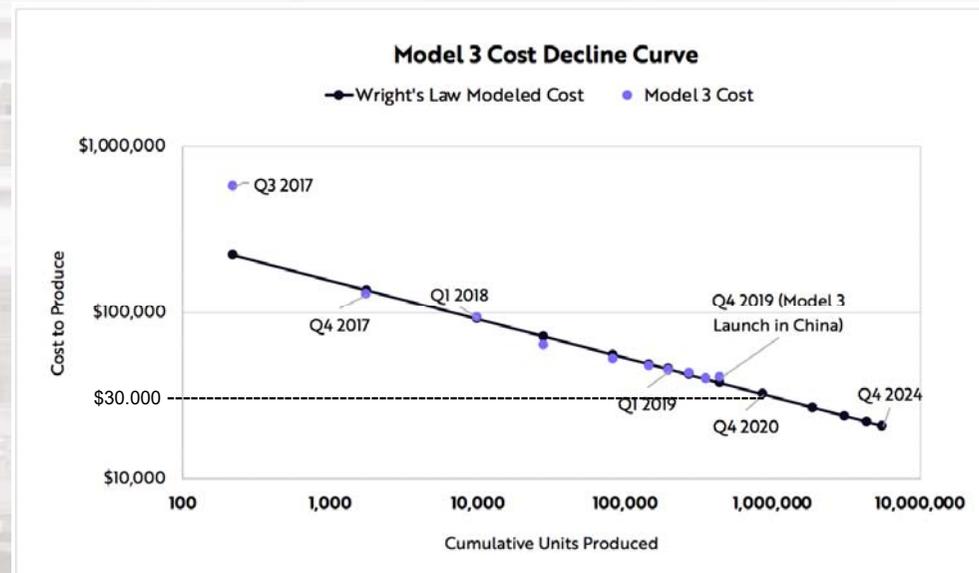
Preis 43.000 EUR Akku 60 kWh, Reichweite WLTP 423 km

Tesla Model 3 Long Range

Preis 50.000 EUR Akku 75 kWh, Reichweite WLTP 580 km



Lernkurve der Herstellkosten von Batterieelektrischen KFZ Am Beispiel Tesla



Forecasts are inherently limited and cannot be relied upon. Source: ARK Investment Management LLC, 2020 | ark-invest.com

Aussage: Die Kosten von Elektro-KFZ gehorchen mit guter Näherung einer **Lernkurve**. Die Gerade zeigt, dass **im Jahr 2024** die Kosten eines Tesla Model 3 (oder äquivalentes KFZ) bei **25.000 Dollar** liegen werden. Die Produktionsmenge wird einige Millionen Stück betragen (Quelle: ARK Investment Management 2020).

Vergleich Preis-/Leistungsverhältnis Wasserstoff-PKW (links) Batterie-PKW (rechts)



Hyundai Kona

39.000 EUR 449 km

Hyundai Nexo

69.000 EUR 540 km (ADAC)



VW ID 4 (2021)

43.000 EUR 520 km

Toyota Mirai 2 (2021)

65.000 EUR „bis 650 km“
(Hersteller)



Wasserstoffantrieb

Kaufpreis pro km Reichweite:

113 EUR

Relativer Preis 135 %

Batterieantrieb

Kaufpreis pro km Reichweite:

83 EUR

Relativer Preis 100 %

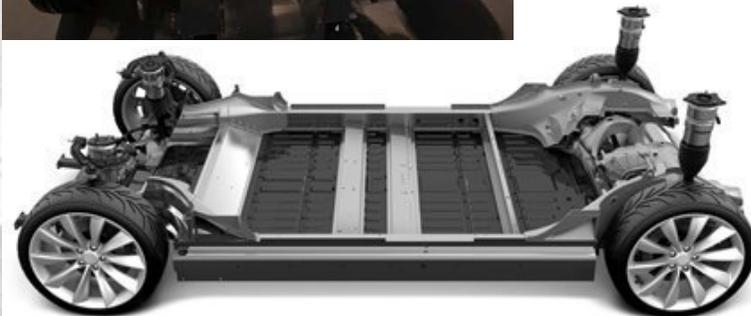
Brennstoffzelle oder Batterie?- Komplexität



Links: Toyota Mirai
mit Brennstoffzelle
600 km Reichweite
ca. EUR 65.000,-



Rechts: Tesla Model 3
mit 75 kWh-Akku
580 km Reichweite
ca. EUR 50.000,-



Brennstoffzelle oder Batterie? - Betriebskosten



Links: Toyota Mirai und Hyundai Nexo mit Brennstoffzelle
5-6 kg H₂ an Bord

Rechts: VW ID 3 und Tesla Model 3 mit 77 / 75 kWh-Akku



alle Fahrzeuge haben etwa gleiche Reichweite (über 500 km)

Energiebilanz:

Brennstoffzellenfahrzeug

Strom aus Wind, Wasser, PV	100 kWh
Elektrolyse (Strom -> H ₂)	75% 75 kWh
Kompression, Transport	85% 64 kWh
Brennstoffzelle	50% 32 kWh
Elektroantrieb	90% 29 kWh

Mit **100 kWh regenerativer Energie** schafft das **Wasserstofffahrzeug 150 km**

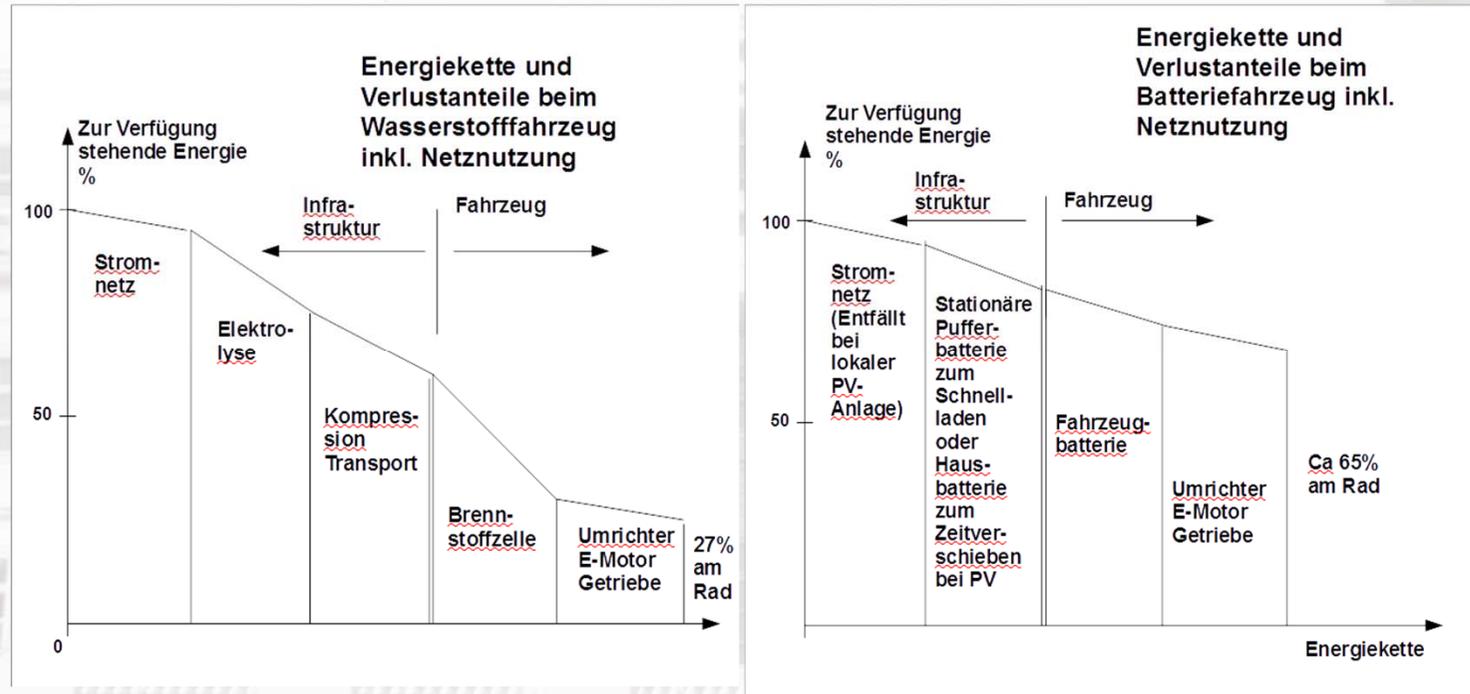
Batteriefahrzeug

Strom aus PV vom Dach	100 kWh
Speicherzyklus Hausbatterie	85% 85 kWh
Speicherzyklus im Fahrzeug	85% 72 kWh
Elektroantrieb	90% 65 kWh

Mit **100 kWh regenerativer Energie** schafft das **Batteriefahrzeug 350 km**

→ Batteriefahrzeug: Um **FAKTOR 2-3** besser!

Energieketten von Wasserstoff- und Batteriefahrzeug



Der Vergleich zeigt, dass beim Betrieb von Wasserstofffahrzeugen sowohl im Bereich Infrastruktur (Elektrolyse sowie Kompression und Transport) als auch im Fahrzeugbereich (Brennstoffzelle) energetische Nachteile gegenüber Batteriefahrzeugen vorliegen.

Akku oder Wasserstoff im LKW?



Links: Tesla Semi
1000 kWh Akku
800 km Reichweite
125 kWh/100 km Volllast
Erste Serie ab Ende 2022



Rechts: Nikola Motors
Wasserstoff-LKW
1200 km Reichweite, Serie ab ???

Batterie-LKW:

Akkukapazität für 800 km / 40 Tonnen etwa 1000 kWh, d.h. ca. 5-6 Tonnen Akku-Gewicht, Günstige km-Kosten

Problem des Akku-LKWs: Batteriegewicht für Langstrecke senkt Zuladungsgewicht

Ladung am Supercharger: 400 km Reichweite (50%) in 30 Minuten

Batterie mit Flüssigkeitskreislauf, Basis vermutlich Lithium Ionen

Leistung ca. 1 MW

Laufleistung über 1.000.000 km sollte ohne Probleme möglich sein

Wasserstoff-LKW: Schnelle Betankung möglich, hohe km-Kosten für den Wasserstoff

Problem: Woher kommt der Wasserstoff? Aus Erdgas wie bisher? Aus regenerativer Energie -> sehr teuer (3-fache Betriebskosten pro km im Vgl. mit Batterie-LKWs)

→ **Break-even ab einer gewissen Reichweite möglich: darunter Akku, darüber eventuell Wasserstoff ?**

Schienenfahrzeuge: Brennstoffzelle oder Akku?

Jahresbedarf eines Schienenfahrzeugs mit 100.000 km Jahreslaufleistung



=



Batteriefahrzeug:

Nötige mechanische Energie (angenommen: 3.5 kWh / km) ohne Klimaanlage etc.

100.000 km x 3,5 kWh/km = 350.000 kWh bzw. elektrisch 500.000 kWh bei 30% Verlusten (siehe Aufstellung früher) ab regenerativer Energiequelle.

- Entspricht bilanziell einer Photovoltaik-Anlage von 500 kW (3.000 m² bzw. 60m x 50m Fläche)
- Vergleich: **1 modernes Windrad** 3,5 MW (2.000 Vollaststunden) liefert 7 Mio kWh oder Energie für **14 Batterieloks**



=



Wasserstofffahrzeug:

Nötige mechanische Energie (angenommen: 3.5 kWh / km) ohne Klimaanlage etc.

100.000 km x 3,5 kWh/km = 350.000 kWh bzw. elektrisch 1.200.000 kWh bei 70% Verlusten (siehe Aufstellung vorher) ab regenerativer Energiequelle

- Entspricht bilanziell einer Photovoltaik-Anlage von 1.200 kW (7.500 m²)
- Vergleich: **1 modernes Windrad** 3,5 MW (2.000 Vollaststunden) liefert 7 Mio kWh oder Energie für **6 Wasserstoff-Loks**



Schienerfahrzeuge: Brennstoffzelle oder Akku?

Beispiel Zillertalbahnhof



Stadler
Akku-Zug

Reichweite Akkuzug:
80-100 km (ÖBB/Siemens, Stadler)
Reicht für Mayrhofen-Jenbach-Mayrhofen



Stadler Wasserstoff-Zug
Zillertalbahnhof

Strombedarf Oberleitungsfahrzeug: 4 Millionen kWh pro Jahr

Strombedarf Akkuzug: 5 Millionen kWh pro Jahr

Strombedarf Wasserstoffzug: 10 Millionen kWh pro Jahr

66 Fahrten pro Tag zu je 32 km, ca. 200 kWh pro Fahrt bei Batteriebetrieb, 500 km pro Tag und Zug
14.000 kWh pro Tag elektrisch (Akku) bzw.

27.000 kWh für Wasserstoffelektrolyse (ergibt bei 70% Elektrolysewirkungsgrad und 10%
Kompressionsverlusten ca. 500 kg H₂ pro Tag). Anmerkung: 1kg H₂ enthält 33 kWh Energie.

Mögliches Problem der Variante „Akku“: Ladezeit am Zielbahnhof (geschätzt 30 min) mit ca 1 MW

Alternativ: Laden 2 x 15 min in Mayrhofen und Jenbach an Oberleitung im Bahnhof mit ca. 1 MW

Oder: **Wechselakkustation** im Kopfbahnhof (Ein Akku unterwegs, zweiter wird im Bhf. geladen)

Wasserstoff-Elektrolyseur hat Leistung von ca. 1,5 MW, (Durchschnitt 27.000 kWh:24h=1.125 kW)

Vorteil Wasserstoffsystem: Es kann billiger Nachtstrom genutzt werden,

Tagesbedarf eines Wasserstoffzuges kann am Fahrzeug mitgeführt werden.

Schienerfahrzeuge: Brennstoffzelle oder Akku?

Beispiel Zillertalbahn



Reichweite Akkuzug:
80-100 km (ÖBB/Siemens)
Reicht für Mayrhofer



Strombedarf Oberleitung

Strombedarf Akkuzug

Strombedarf Wasserstoffzug

66 Fahrten pro Tag

14.000 kWh pro Tag

27.000 kWh für Wasserstoff

Kompressionsverluste

Mögliches Problem der Variante

Alternativ: Laden 2 x 15 min in

Oder: **Wechselakkustation** im Ko

Wasserstoff-Elektrolyseur hat Leistu

Vorteil Wasserstoffsystem: Es kann b

Tagesbedarf eines Wasserstoffzuges



RINGEN DAUERT AN

Wasserstoff-Träume im Zillertal auf Abstellgleis



mehr

Tag und Zug

und 10%
hält 33 kWh Energie.

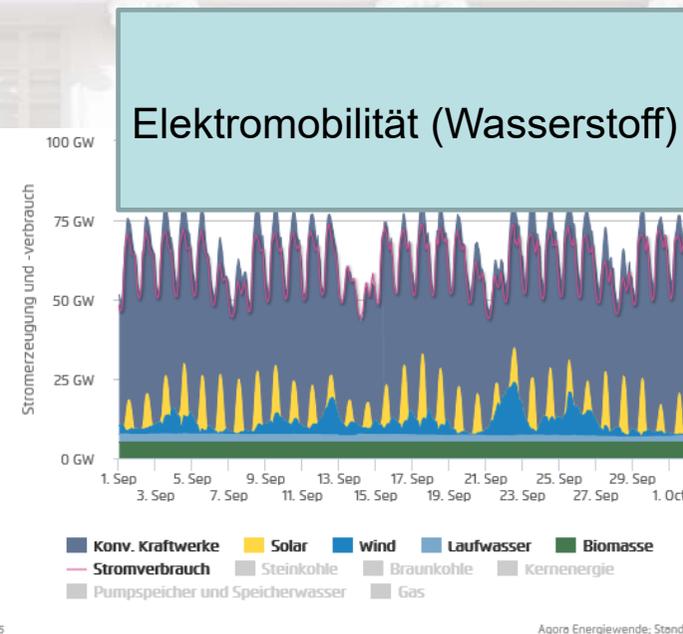
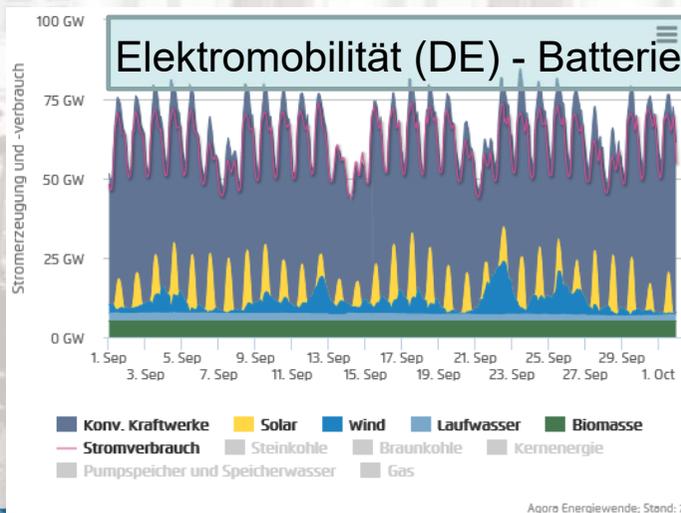
(geschätzt 30 min) mit ca 1 MW
leitung im Bahnhof mit ca. 1 MW
legs, zweiter wird im Bhf. geladen)
(Durchschnitt 27.000 kWh:24h=1.125 kW)
um genutzt werden,
fahrzeug mitgeführt werden.

Was bedeutet ein massiver Durchbruch der Elektromobilität für unser elektrisches Energiesystem?

Elektrische Energie bei 100% Elektromobilität: Der elektrische Ausblick

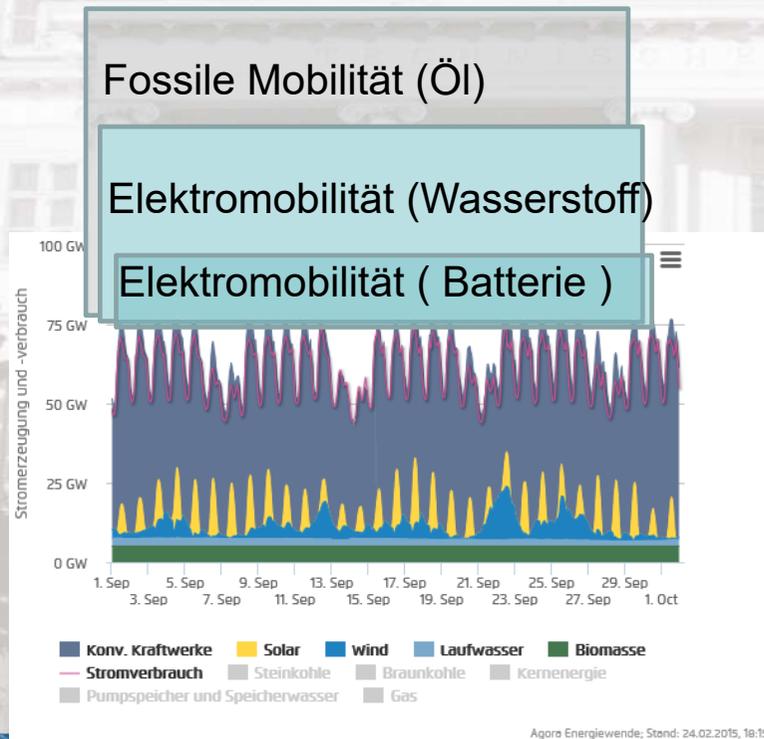
Deutschland: Täglich 3,2 Mrd km x 0,15 kWh/km = 480 Mio kWh = 480 GWh
 Gleichmäßig auf 24 Stunden aufgeteilt, ergibt dies 480 GWh / 24h = **20 GW**
**Elektro-KFZ (Basis Batterie) braucht nur ca. 1/4 der Energie verglichen mit
 Verbrenner-KFZ!**

**Achtung: Wasserstoff-KFZ bräuchte 3 mal soviel Strom wie Batterie-KFZ
 Vom Windrad oder PV weg gerechnet (DE: 60 GW).**



Brennstoffzelle oder Batterie? - Volkswirtschaftliche Betrachtung: Zusätzlicher Strombedarf

Das Bild zeigt den Primärenergieeinsatz für nachhaltige Mobilität im Vergleich mit dem derzeitigen fossilen Einsatz in Deutschland:



Erdöl (90 GW Durchschnittsleistung)

Wasserstoff / Brennstoffzelle (60 GW)

Batterieelektrischer Antrieb (20 GW)

Vergleich Stromproduktion (70 GW)

Grobe Aussage:

Batterie-KFZ: +20% Strom

Wasserstoff-KFZ: +60% Strom

2030+ .. Wasserstoff als Langzeitspeicher Nötige Voraussetzungen

Tägliche bis wöchentliche Strombedarfs- und Erzeugungsschwankungen können mit Akkus und Pumpspeichern ausgeglichen werden.

Halbjährliche Schwankungen (PV-Produktion Sommer : Winter ca. 6:1) nur chemisch sinnvoll auszugleichen

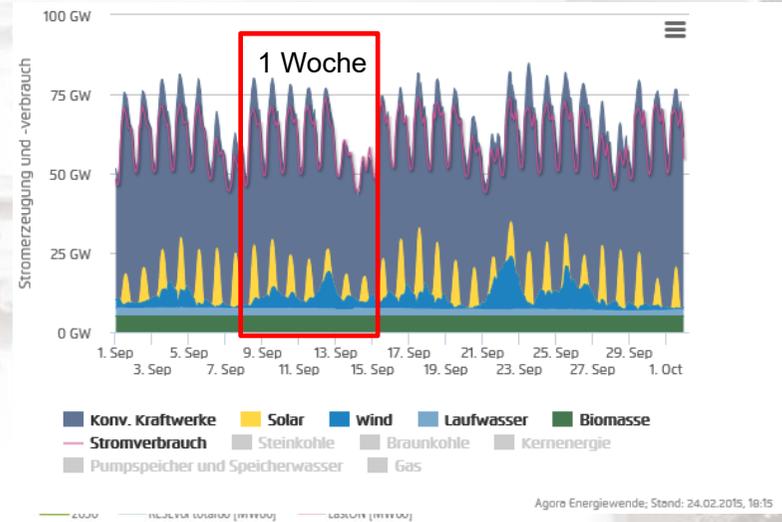
Entwicklung großtechnischer **Elektrolyseanlagen im 100-1000 MW-Bereich** (Umwandlung überschüssiger Wind-/PV-Energie in Wasserstoff, primär für direkte stoffliche Verwendung, sekundär für stationäre Rückverstromung inkl. Abwärmenutzung)

Förderung stationärer Brennstoffzellen-Entwicklung
(„PV-Strom vom Sommer in den Winter verschieben“)

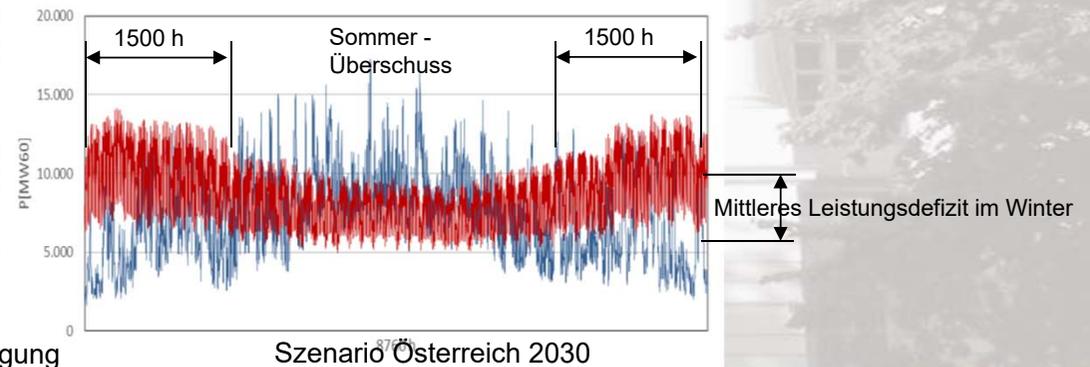
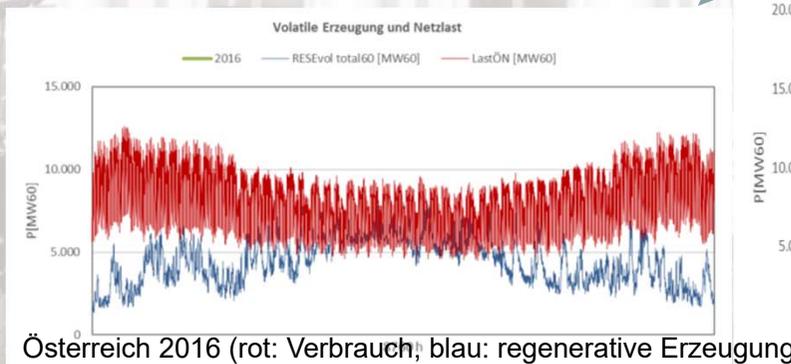
Ziel: Senkung der Wasserstoff-Herstellkosten **auf 1/3 von heute.**

Regenerative Energie vom Sommer in den Winter verschieben – sinnvoll nur chemisch machbar

Leistungsschwankungen innerhalb einer Woche ca. 30 GW .. Kann mit kurzfristigen Speichern gepuffert werden (Pumpspeicher, Akkus etc.)



Energieverschiebung vom Sommer in den Winter (DE) ca. 50 GW x 3000 h .. Langfristspeicher (Wasserstoff) mit ca. 150 TWh



Sind 150 Terawattstunden viel oder wenig?

Jährlicher Stromverbrauch Deutschland	ca. 600 TWh
Zusatzverbrauch bei 100 % Batteriemobilität:	ca. 150 TWh
Zusatzverbrauch bei 100% Wasserstoff/Brennstoffzellen KFZ:	ca. 450 TWh
Ein Donaukraftwerk (Österreich)	liefert jährlich ca 1 TWh
Ein großes Innkraftwerk (Bayern)	ca 0,5 TWh
Größter Pumpspeicher Deutschland (Goldisthal) 1000 MW / 8h	< 0,01 TWh
Großer Pumpspeicher Österreich	0,5 TWh
Alle Windräder Deutschlands liefern jährlich	130 TWh
Alle PV-Anlagen Deutschlands liefern jährlich	50 TWh
Umstellung Stahlwerk auf „grünen Stahl“ (Statt Koks wird H ₂ zur Reduktion von Eisenoxid verwendet)	30 TWh

Zusammenfassung 1: Brennstoffzelle oder Batterie für KFZ?



Brennstoffzellenfahrzeug

Sehr komplex und teuer (Invest +35 %)

3x so viel Primärenergieeinsatz

d.h. **60% Zusatzstrom** im Vgl. zu jetzt

Komplexe Tank-Infrastruktur

Kunde befindet sich in Abhängigkeit

Kunde zahlt den **3-fachen Preis / km Fahrt**

Kleinerer Akku trotzdem nötig für Dynamik



Batteriefahrzeug

einfacher Aufbau, wenige Teile

1x Primärenergieeinsatz

20% Zusatzstrom im Vgl. zu jetzt bereitstellen

90% der Ladungen an Steckdose (Heim, Parkhaus)

10% am Schnellader (Tesla, Ionity: 1.000 km/Stunde)

Kunde kann Laden selbst organisieren

Kunde zahlt den **einfachen Preis / km Fahrt**

Batterieperformance steigt rasch, Kobaltfrei möglich

Feststoffakku ab 2025: doppelte Leistung, rasch laden

Akkuerstellung unter Verwendung von Ökostrom!

100% Batterie-Recycling ist anzustreben!

Zusammenfassung 2: Wasserstoff als Langzeitspeicher



Links: Power to Gas – Anlage

Überschüssige Wind- oder PV-Energie kann mittels Power-to-Gas über Elektrolyse zu Wasserstoff umgewandelt werden.
Wirkungsgrad dieses Prozesses: ca. 65-75%.

Nutzung **stationär** über Brennstoffzelle / Stromversorgung liefert davon 50% elektrische Energie + **50% Wärme z.B. zu Heizzwecken**

Nutzung **mobil** über Brennstoffzelle / Elektromotor liefert davon 40% mechanische Energie (+ **60% weitgehend verlorene Wärme**)

Daher sind stationäre Wasserstoff-Nutzungen (stofflich in Chemie, Reduktionsmittel im Hochofenprozess, Rückverstromung in Gaskraftwerken etc.) zu bevorzugen.

Gestalten wir die Mobilität von morgen:

Nachhaltig und Effizient!

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit.

Manfred Schrödl, TU Wien

manfred.schroedl@tuwien.ac.at