

Wasserstoff verhindert die Energiewende

Eine umfassende Energiebetrachtung

Ulf Bossel

PhD. (UC Berkeley), Dipl. Mach. Ing. (ETH Zürich)

Nachhaltige Energielösungen

Morgenacherstrasse 2F

CH-5452 Oberrohrdorf / Schweiz

15. Juni 2021

Klima- und Umweltbündnis

Stuttgart

Das bin ich:

Ulf Bossel

Dipl. Ing., ETH Zürich, Schweiz (1961)

Aerodynamik, Thermodynamik, Energietechnik

Ph.D., University of California, Berkeley (1968)

Raumfahrtaerodynamik, Molekularstrahlen

Assistant Professor, Syracuse University (1968-1970)

Mechanical and Aerospace Engineering

Gruppenleiter, DLR, Göttingen (1970-1979)

Freimolekulare Strömungen, Satellitenaerodynamik

Mitbegründer und Präsident der DGS (1975)

Gründer und Geschäftsführer der SOLENTEC GmbH (1978)

Erneuerbare Energie und rationelle Energienutzung

Projektleiter Brennstoffzelle, ABB Schweiz (1986-1990)

Leiter der weltweiten BZ-Aktivitäten des Konzerns

Berater für nachhaltige Energielösungen und Brennstoffzellen (1990 bis heute)

Gründer und Veranstalter des European Fuel Cell Forum (1994 bis 2010)

Inhaber und Geschäftsführer der ALMUS AG (Brennstoffzellen)



Die Europäische Wasserstoff-Vision

European Commission High Level Group draft report (v4.8 1/04/03)
HYDROGEN ENERGY AND FUEL CELLS – A VISION OF OUR FUTURE
http://europa.eu.int/comm/research/energy/pdf/hlg_interim_report_en.pdf

1. Bestehende Strukturen:

Die Stromverteilung funktioniert bestens.
Wasserstoffinfrastruktur muss geschaffen werden

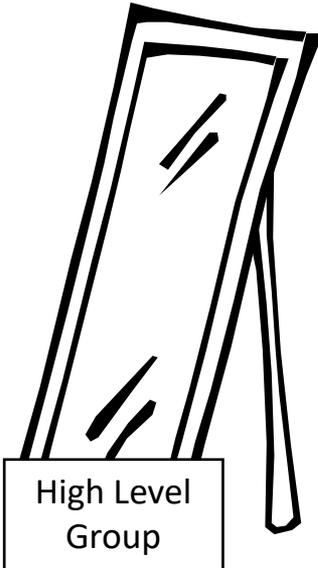
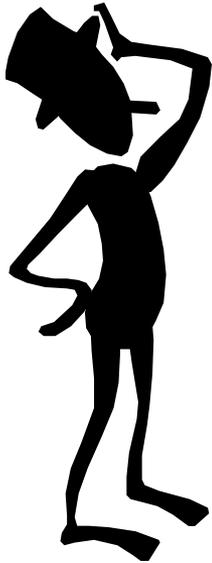


2. Energiequelle: Woher kommt der Strom? Erneuerbar oder Atom? Menge? Kosten?



3. Vergleichende Energiebilanz: Gleiche „grüne“ Strommenge für 3 Häuser mit Netzstrom und Wärmepumpe aber nur für 1 Haus mit Wasserstoff und Brennstoffzellen-Heizgerät

Energiepolitik nach dem „Schneewittchen-Prinzip“



**Spieglein, Spieglein an der Wand:
Welch' Energie für unser Land?**

**O Herr, ihr seid der König hier,
nur Wasserstoff empfehlen wir!**

(Aber hinter den sieben Bergen bei den sieben Zwergen findet man vielleicht - hoffentlich bald und so Gott will - auch die benötigte Energie dafür.)



Die Antwort darf nicht verwundern, denn gefragt wurden:

Hersteller (Wasserstoff und die Technik dafür ist unser Geschäft)

Wasserstoffverbände (Wasserstoff ist unser satzungsgemässer Vereinszweck)

Energieversorger (Wasserstoff erhöht die Nachfrage nach Energie)

Lehre und Forschung (Wasserstoff bringt uns neue Forschungsaufträge)

Energieberater (Wasserstoff verschafft neuen Beratungsbedarf)

Journalisten (Wasserstoff ist für uns ein heisses Thema)

Umweltverbände (Wasserstoff + Luft = Energie + Trinkwasser, kein CO₂, perfekt)

Das grosse Ziel der Energiewende: Nachhaltige und saubere Energieversorgung

Zwei unabdingbare Voraussetzungen hierfür:

1.

**Nachhaltige Energiegewinnung
aus erneuerbaren Quellen**

(Sonne, Wind, Wasserkraft, Geothermie, Biomasse usw.)

2.

**Rationellster Umgang mit Energie
von der Quelle bis zur Nutzung**

Nachhaltig gewonnene Energie

Chemische Energie

Natürlich gewachsen	Biomasse
Landwirtschaftlicher Anbau	Biomasse
Organische Abfälle	Biomasse

20% des Energiebedarfs

Physikalische Energie

Wind	Strom
Sonne (Photovoltaik , Solarthermik)	Strom und Wärme
Geothermie	Strom und Wärme
Wasserkraft, Wellen, Tidenhub	Strom

80% des Energiebedarfs

Physikalische Naturenergie wird fast ausschliesslich als Strom “geerntet”

**Elektrizität wird zur Basisenergie,
die direkt verteilt und genutzt werden kann,
oder in Wasserstoff verwandelt, so verteilt
und in Strom zurückverwandelt werden muss.**

„Erzeugung“ von „Wasserstoff - Energie“

Unsinn: Wasserstoff ist lediglich ein Energieträger

Energie kann nicht erzeugt oder vernichtet, sondern nur umgewandelt werden!

1. Wasserstoff aus Wasser durch Elektrolyse



elektrische Energie + H₂O
286 kJ/mol
100%

= Wasserstoff-Energie + ½ O₂
= 286 kJ/mol
= 100%

Realität: 130% Energiezufuhr

= 100% H₂-Energie + 30% Verluste

2. Wasserstoff aus Erdgas durch Reformierung



Methan-Energie + Wärme + H₂O
890 kJ/mol + 254 kJ/mol
78% + 22%

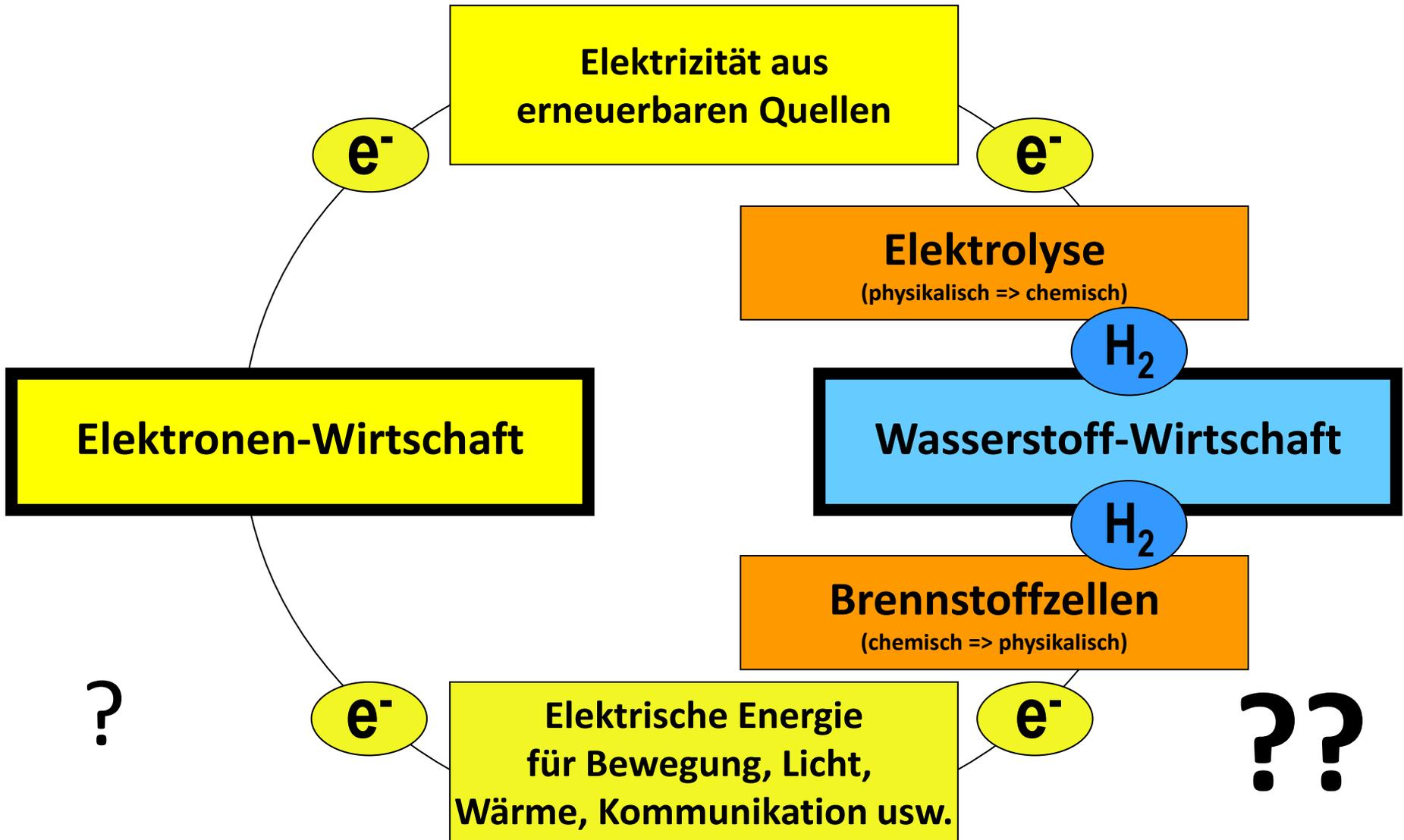
= Wasserstoff-Energie + CO₂
= (4 x 286 kJ/mol =) 1,144 kJ/mol
= 100%

Realität: 110% Energiezufuhr

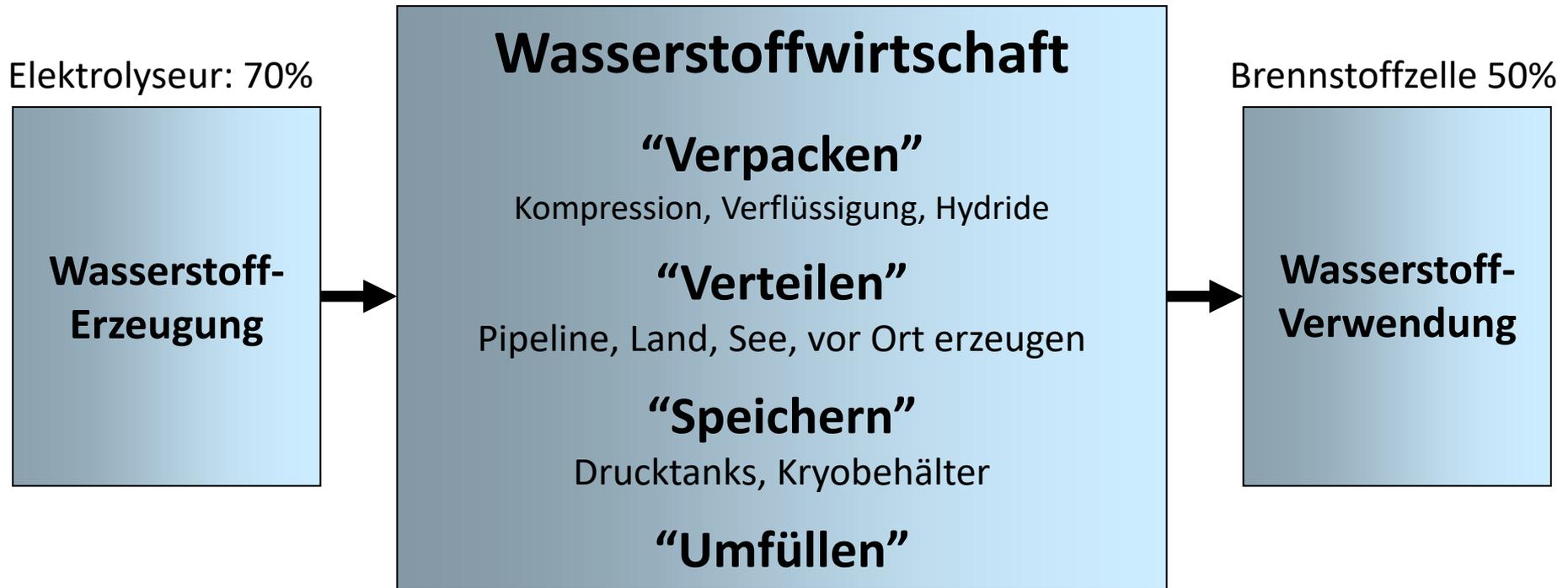
= 100% H₂-Energie + 10% Verluste

Strom zum Verbraucher

Direkt oder mit Umweg über Wasserstoff

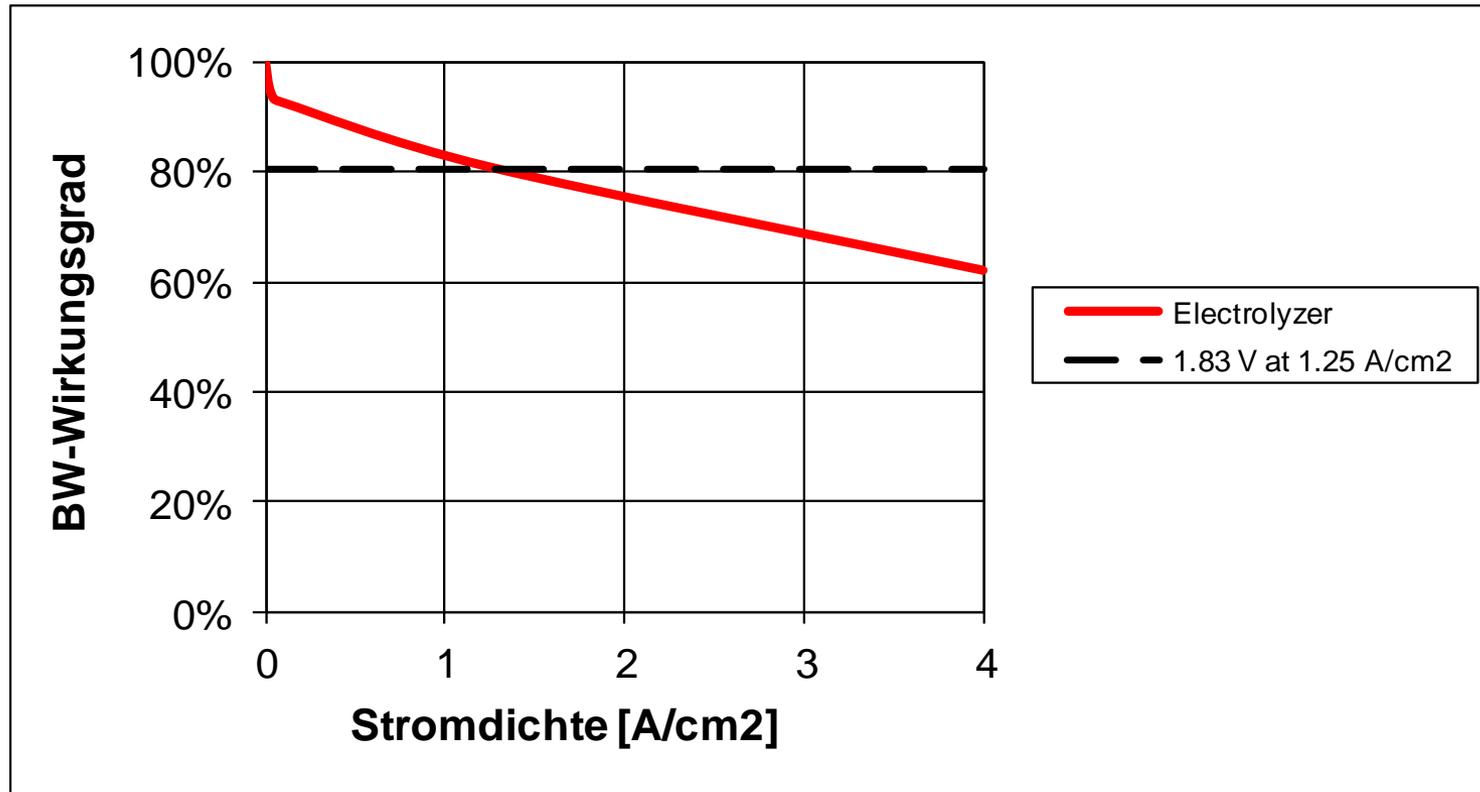


Energieaufwand für den “Betrieb” einer Wasserstoffwirtschaft



**Wesentliche Verluste und Energiebedarf für alle notwendigen
Stufen der Wasserstoffwirtschaft**

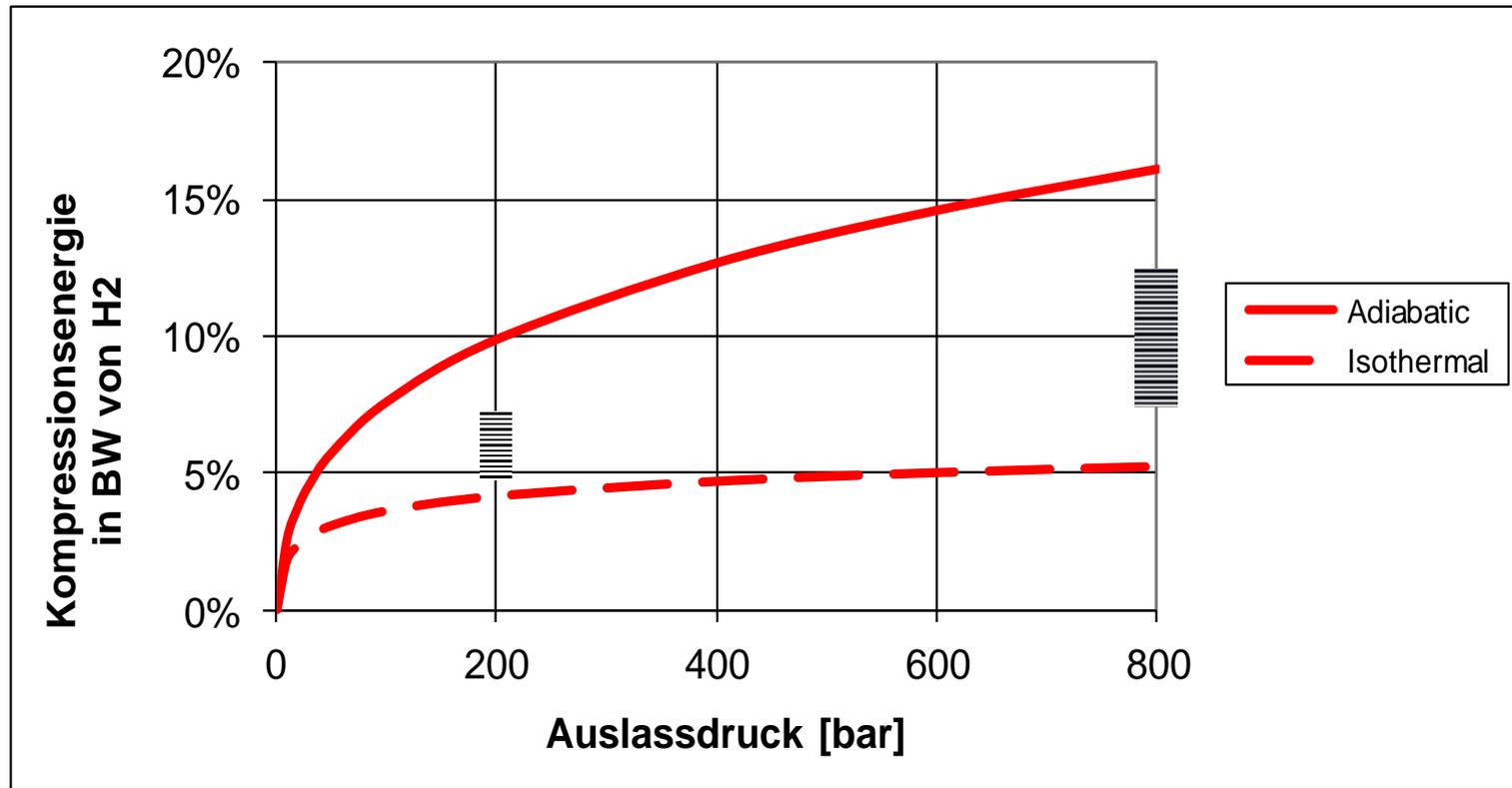
Elektrolytische Gewinnung von Wasserstoff: Energieverluste in Brennwert-% von H₂



Realistischer Wirkungsgrad der Elektrolyse 60%:

Kompression von Wasserstoff

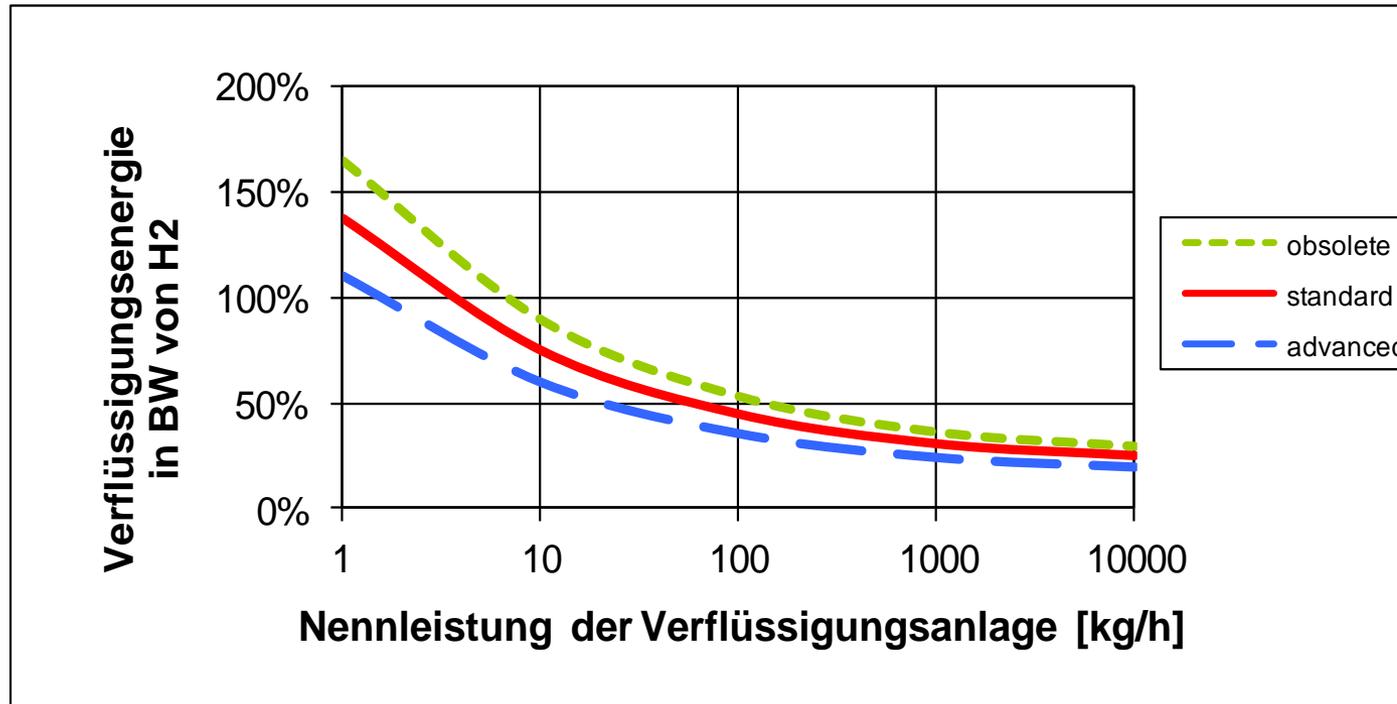
Kompressionsenergie in Brennwert-% von H₂



Kompressionsenergie für H₂ :
8 mal mehr als für Erdgas, 15 mal mehr als für Luft

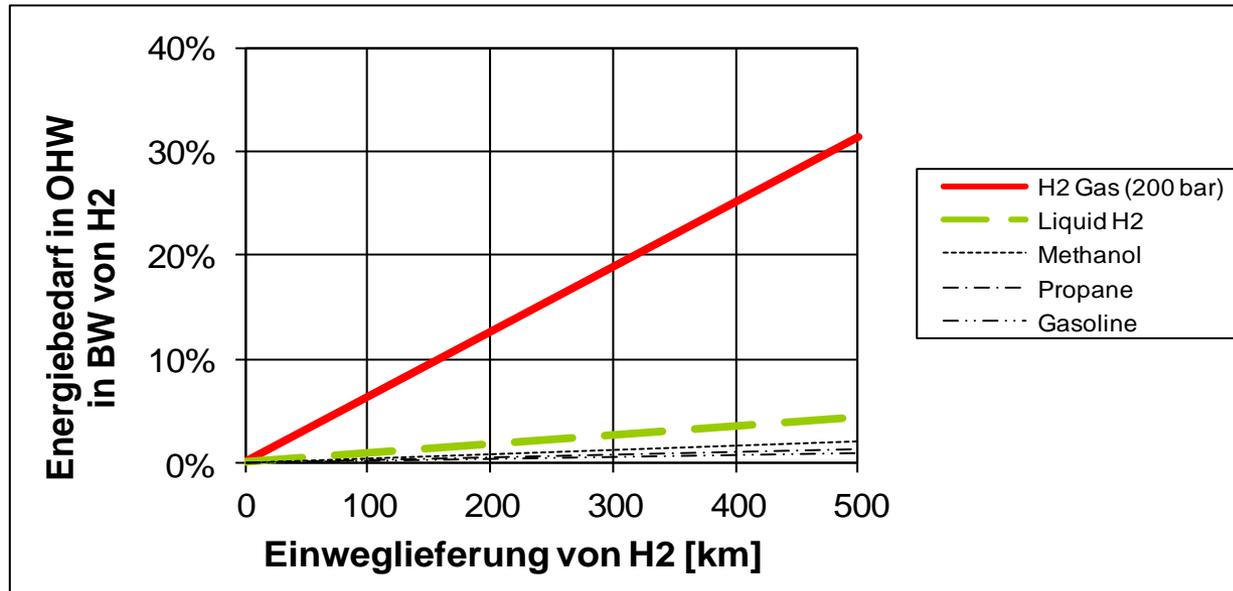
Verflüssigung von Wasserstoff:

Verflüssigungsenergie Brennwert-% von H₂



Energiebedarf für Verflüssigung
etwa 50% der mit Wasserstoff gelieferten

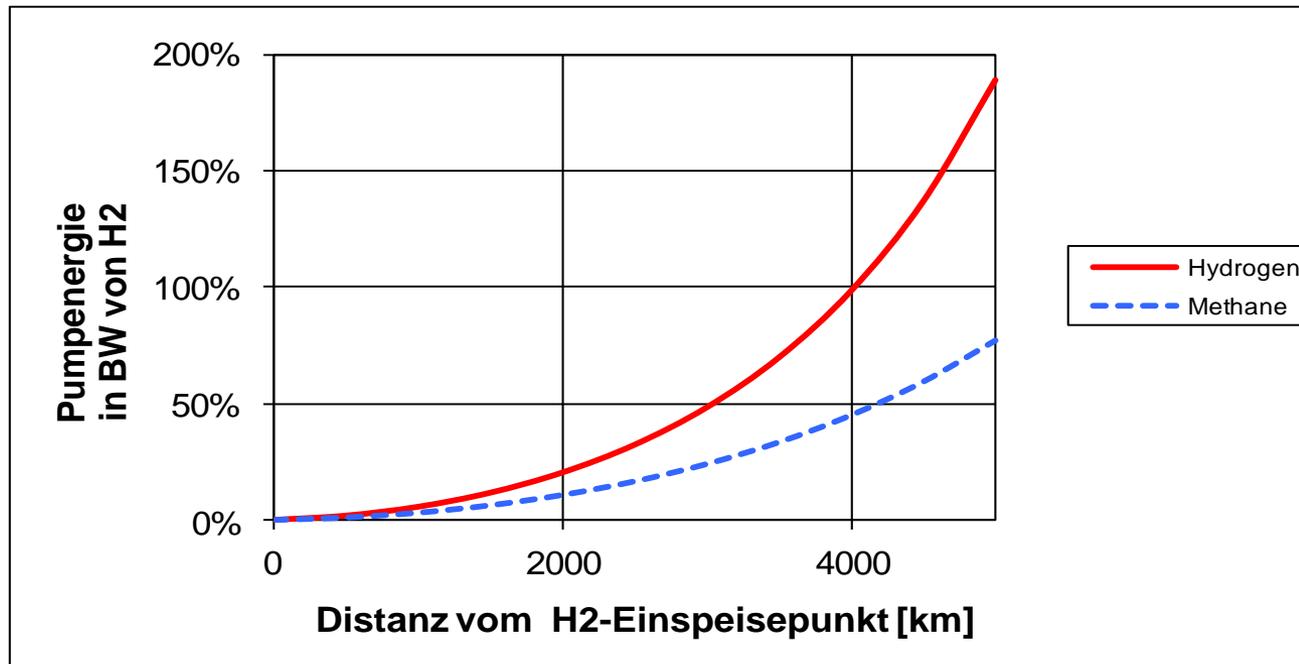
Strassentransport von Wasserstoff: Energiebedarf in Brennwert-% von H₂



16 Wasserstoffgas-(400 bar) oder 4,5 flüssig-H₂-Tankwagen transportieren die gleiche Energiemenge wie ein einziger Benzin-Tankwagen

Pipelinetransport von Wasserstoff:

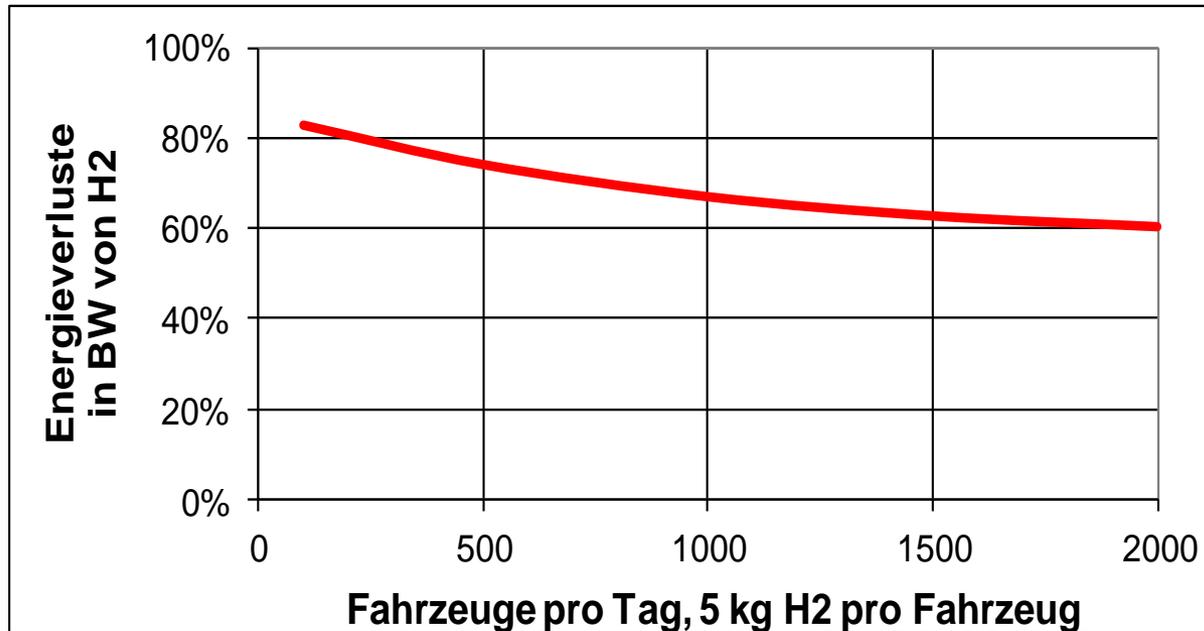
Energiebedarf in Brennwert-% von H₂



Pipelinetransport von Wasserstoff über längere Distanzen kostet viel Energie.

Erdgas-Pipelines können nicht für Wasserstoff genutzt werden

Wasserstoff-Elektrolyse an Tankstellen : Energiebedarf in Brennwert-% von H₂



Für nur 200 Fahrzeuge pro Tag:
Anschlußleistung: 6 MW
Wasserbedarf: 18 m³ pro Tag

Wasser- und Strombedarf für Elektrolyse



Aus 9 kg Wasser werden
1kg Wasserstoff und 8 kg Sauerstoff

Für die elektrolytische Gewinnung von 1 kg Wasserstoff
benötigt man 45 bis 55 kWh Strom

Energieinhalt von 1 kg H₂ etwa 33 kWh/kg
Vergleich: 9.6 kWh in 1 kg Heizöl

Wirkungsgrad der Wasserelektrolyse: 60 bis 70%
Wirkungsgrad einer guten Brennstoffzelle: 50%
Aber erheblicher Energieaufwand oder Verluste für

Energiebedarf für Wandlungsstufen einer Wasserstoffwirtschaft

Energiebedarf in Brennwert-% des Wasserstoffs

Repräsentative Werte:

Wasserstoff durch Wasserelektrolyse		50%
Verdichtung auf:	200 bar	8%
	800 bar	13%
Verflüssigung in:	kleinen Anlagen	50%
	grossen Anlagen	30%
Speicherung in Metallhydriden		60%
200 km Straßentransport	200 bar	13%
	Flüssig-H ₂	3%
2000 km Pipeline		20%
Elektrolyse vor Ort		50%
Umfüllen von 100 bar Tank in 700 bar Fahrzeugtank		8%
Rückwandlung in Strom mit Brennstoffzellen		50%

„The Future of the Hydrogen Economy: Bright or Bleak?“ (2002)

„Wasserstoff löst keine Energieprobleme“ (2006)

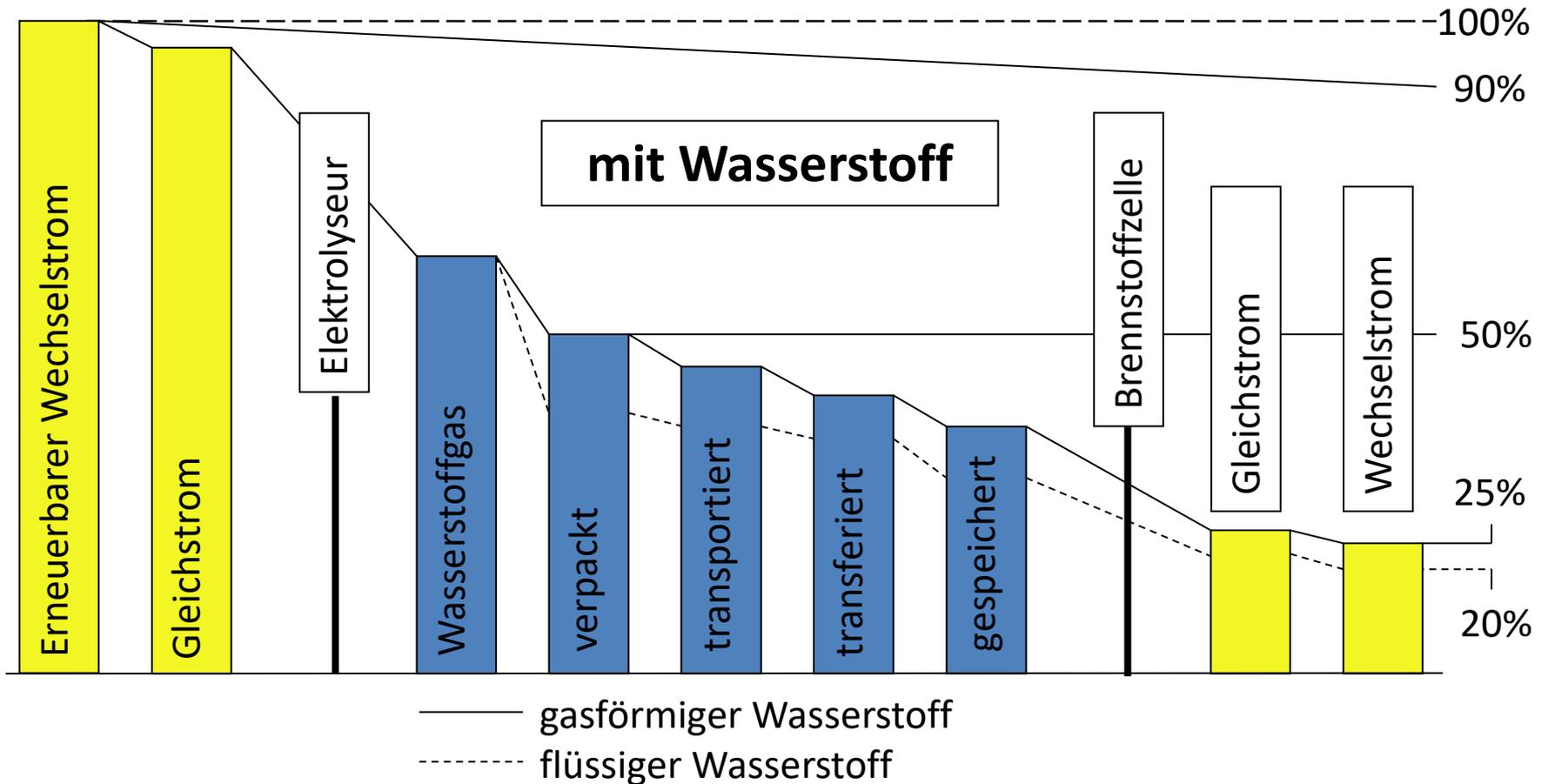
Energieverlustkaskade

Strom von
erneuerbaren
Quellen

Verbraucher

mit Elektronen

mit Wasserstoff

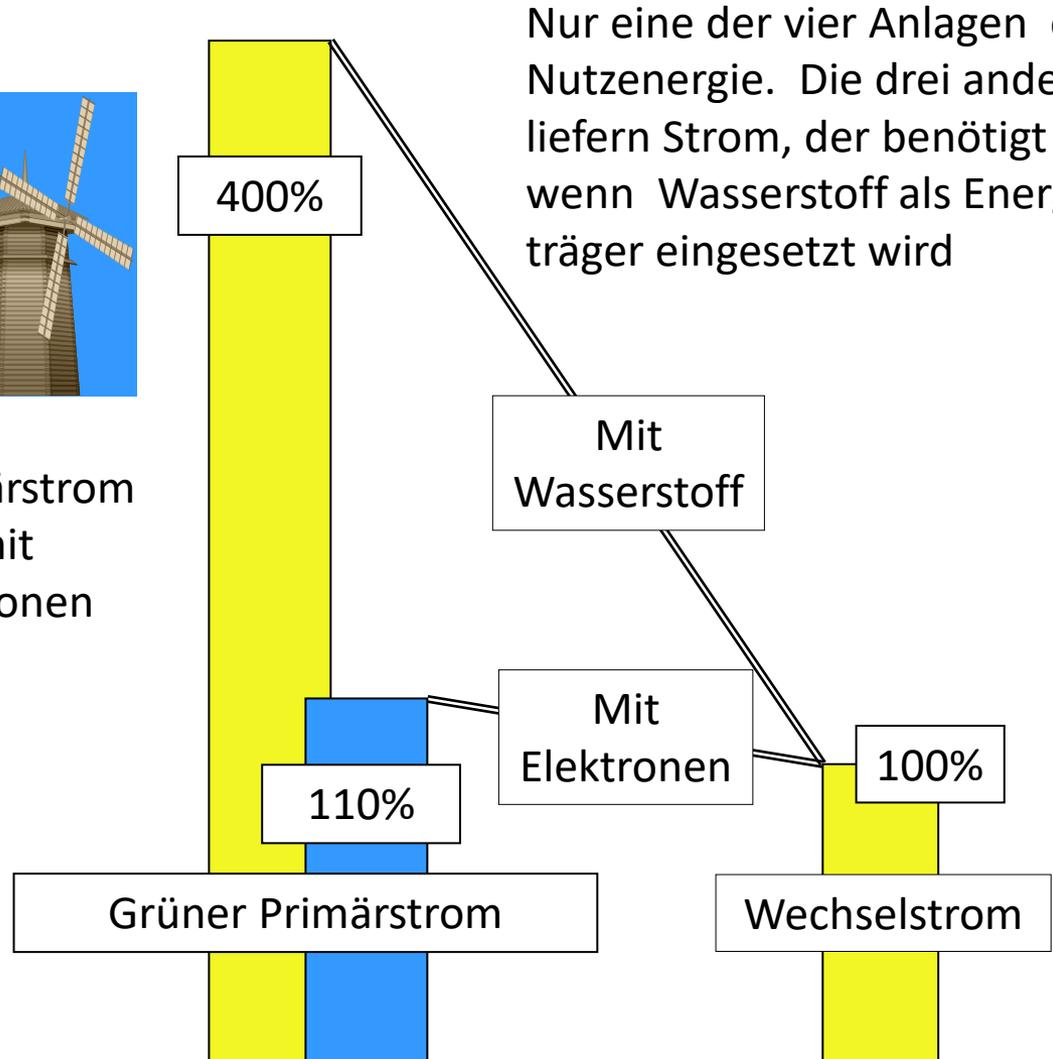


Stromübertragung

mit Elektronen oder Wasserstoff?

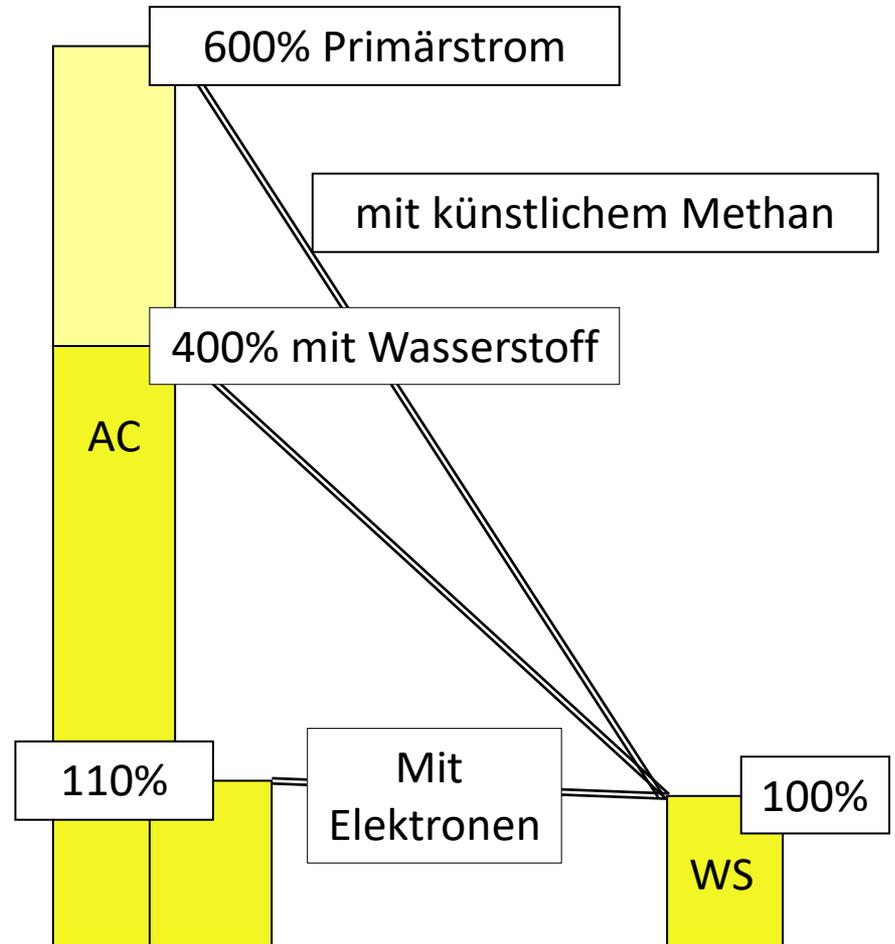
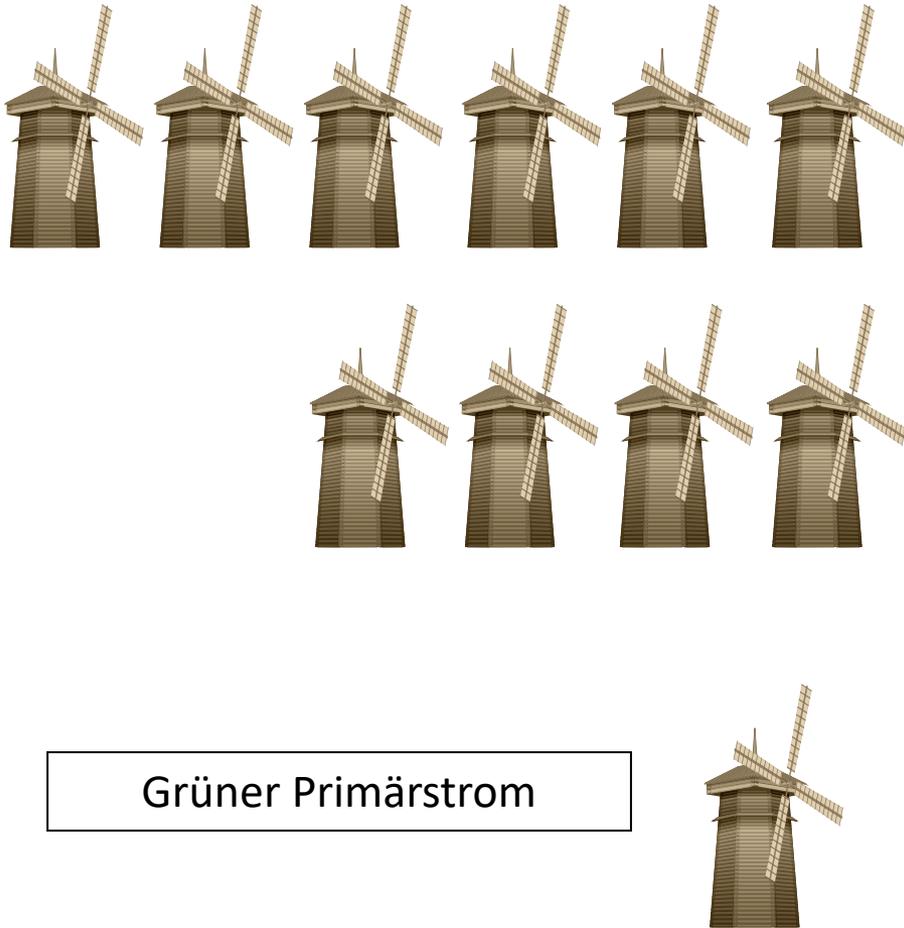


Etwa viermal mehr Primärstrom für Energieübertragung mit Wasserstoff als mit Elektronen



Energiebedarf

für Power-to-Gas oder Power-to-Liquid



Straßentransportbilanz



Ein 40 t Benzin-Tankwagen transportiert ebenso viel Energie wie 12 Wasserstoff Druckgas-Tankwagen, ebenfalls 40 Tonnen Gesamtgewicht, aber nur 700 kg Nutzlast



Wasserstoff-PKW: Gesamtenergiebilanz

Ein Fahrzeug mit Wasserstoff



Mit der gleichen Menge Primärstrom können vier batterie-elektrische Fahrzeuge , aber nur ein mit Wasserstoff und Brennstoffzelle betriebenes Fahrzeug gleicher Größe betrieben werden.



Vier
Fahrzeuge
mit
Batterie



Wasserbedarf



1 kg Wasserstoff trägt gleichviel Energie wie 3,5 kg Benzin

1 Tanklastwagen transportiert 30 Tonnen Benzin.

Das entspricht etwa 8,6 Tonnen Wasserstoff, für dessen Herstellung 77 Tonnen Wasser benötigt werden.

Woher kommt das Wasser für die Wasserstoffproduktion in Wüstenregionen?

Transportenergiebedarf grösser als gelieferte H₂-Energie

Bitte Spekulationen über Wasserstoffimporte beenden!

Dimension des Energieproblems

Rhein-Main Flughafen Frankfurt (2004)

Ein Jumbo Jet tankt 130 t Kerosin = 50 t flüssiger Wasserstoff

50 Jumbo Jets pro Tag

Dafür werden benötigt:

2,500 t = 36,000 m³ flüssiger H₂, hergestellt aus 22,500 m³ Wasser plus gesamte Stromproduktion von etwa acht 1 GW Kraftwerken für Elektrolyse, Verflüssigung, Transport, Umfüllen usw.

**Wenn alle 520 Flugzeuge/Tag mit Wasserstoff betankt würden:
Wasserverbrauch der Stadt Frankfurt und Strom von 25 Kernkraftwerken**

Energieprobleme können nicht durch Substitution fossiler Kraftstoffe durch Wasserstoff gelöst werden!

Schwachstellen der Wasserstoffwirtschaft

Für Versorgungskette von Primär- zu Nutzstrom

PHYSIKALISCH BEDINGT:

Miserabler Gesamtwirkungsgrad

Hoher Energieaufwand

Primärenergiebedarf wird weltweit erheblich gesteigert

Energiebedarf kann nicht aus grünen Quellen gedeckt werden

Enorme Kosten für neue Infrastruktur

Es bleibt bei fossil und nuklear

Klimakatastrophe ist unvermeidbar

PRO GENUTZTER ENERGIEEINHEIT:

„Grüner“ Wasserstoff-Strom immer wesentlich teurer als „grüner“ Strom

„Grüner“ Wasserstoff immer teurer als Erdgas oder Erdöl

„Grüner“ Wasserstoff-Strom teurer als Atomstrom

Wasserstoff wird zum teuersten Energieträger

Kauf von Energie: Der Verbraucher hat die Wahl!

€1 für erneuerbare Elektrizität vom Netz

€3 für Wasserstoff aus der Leitung oder an der Tankstelle

€5 für Strom von der Wasserstoff-Brennstoffzelle

Wie würden Sie handeln?

Mit hoher Wahrscheinlichkeit:

Das Haus isolieren, Heizenergiebedarf minimieren
und auf elektrische Heizung (Wärmepumpe) umrüsten

Mit einem Elektromobil, zur Arbeit fahren
oder öffentliche Verkehrsmittel benutzen

Für lange Distanzen Autos mit effizientem Verbrenner fahren
und bio-synthetische Flüssigkraftstoffe tanken

aber aus Kostengründen Wasserstoff meiden!

Energiewende führt zur Elektronenwirtschaft

Grüner Strom in Zukunft günstigste CO₂-freie Energie
Elektrolytische Wasserstoffherzeugung mit grünem Strom

Keine wirtschaftlichen Anreize für
Umstellung von fossilen Energieträgern und Uran auf Wasserstoff
Wasserstoff (alle Farben) immer teurer als grüner Strom

Deshalb:

Aufbau einer Elektronenwirtschaft sofort beginnen.

Wasserstoffweg = Sackgasse

Vergeudung von Geld, Zeit, Entwicklungspotential, Ressourcen vermeiden

Eine Wasserstoffwirtschaft wird scheitern !

Wasserstoffwirtschaft in Kürze

Technisch: **Alles machbar, bekannt, entwickelt**

Energetisch: **Unsinn** (als Gesamtsystem betrachtet)

Kommerziell: **Pleite** (Wasserstoff immer teurer als Erdgas.
Fossile Energie kann nicht durch
Wasserstoff verdrängt werden)

Ökologisch: **Katastrophe** (CO₂-Problem bleibt ungelöst)

Wasserstoff verhindert die Energiewende

Die Energiezukunft ist ELEKTRISCH

Elektronenwirtschaft: ... danach lasst uns alle streben , brüderlich ...

Dank für Ihre Aufmerksamkeit
Fragen?

Wasserstoff löst keine Energieprobleme, Ulf Bossel, 2006
Leibnitz Institut für Technologiefolgeabschätzungen