

Spickzettel – Wasserstoff (H₂) und Fahrzeuge

Prof. Dr. Hubert Kirmann, 2021-03-31

Vorteile:

- 1) Wasserstoff H₂, kombiniert mit Sauerstoff O₂ zu Wasser H₂O, gibt Energie ohne CO₂ Ausstoss frei.
- 2) H₂ dient diversen Industrieprozesse (Stahlwerke, Dünger...) - Hauptanwendung heute, erzeugt Elektrizität mit Brennstoffzellen und ist Grundstoff für synthetische Treibstoffe (Synfuel).
- 3) H₂ hat die höchste Energiedichte aller Substanzen:

Treibstoff	MJ / kg	kWh/kg	Speicherung	MJ / L	kWh/L
H ₂ (Brennwert)	141	39	gasförmig 700 bar	5	1,5
H ₂ (Heizwert)	119	33	flüssig bei -270°C	8,4	2,4
Erdgas	54	15	gasförmig, 250 bar	9	2,5
PG/PNG	46	13	flüssig	24	7
Benzin	42	12	flüssig	34	9,4
Methanol	19	5.5	flüssig	10	2,7

Nachteile:

H₂ ist schwer zu speichern, besonders langfristig, H₂ taugt nicht für saisonale Speicherung

- 1) Die hohe Energiedichte wird durch Speichervolumen und Behältergewicht verschlechtert.
- 2) Bei einem Auto wiegt der H₂-Tank mit 700 bar das Zwanzigfache des darin enthaltenen H₂.
- 3) Ein Flugzeug mit H₂-Antrieb benötigt einen zweiten Rumpf, um den H₂ für die Überquerung des Atlantiks zu transportieren.
- 4) Die H₂-Behälter lecken, weil die H₂-Moleküle sehr klein ist. H₂ verursacht Risse in Gasleitungen, was der Anteil auf 5% reduziert.
- 5) Die Speicherung als Flüssigkeit bei -270°C kostet Geld, Energie und Verluste (-3%/Tag).
- 6) Synthetische Treibstoffe aus H₂ (z.B. Methanol) sind lagerfähig und werden Erdöl und Erdgas ersetzen, insbesondere für Luftverkehr und Schiffsverkehr und für die Langzeitspeicherung.

Produktion: (Farbenlehre)

1) Elektrolyse von Wasser: (20 g H₂ / kWh, Wirkungsgrad:70%, Kosten: 6€/kg)

- grün:** aus Elektrizität aus Wasserkraft, Sonne oder Wind
grüner H₂ kostet das Mehrfache vom grauen Wasserstoff und dies selbst mit kostenloser Überschusselektrizität – die in der Schweiz kaum vorhanden ist.
grüner H₂ aus Wasserkraft ist ein Verschleiss an wertvoller erneuerbarer Energie.
Die Kappung von Solarspitzen ist mit dem Dauerbetrieb eines Elektrolyseurs inkompatibel.
grüner H₂ lässt sich billiger in Afrika herstellen, aber Gastransport kostet mehr als Stromtransport.
- violett (EU) oder rosa (Deutschland):** aus Atomstrom (UK macht vor).
- gelb:** aus dem Netz mit dem Strommix
dies ist die Hauptquelle, denn es gibt kaum Elektrolyseure mit eigenen Kraftwerk, ein Elektrolyseur kann nicht bestimmte Quellen für sich beanspruchen – ausser durch Zertifikate.



Werbung: grüner H₂ aus Wasserkraft (die anderswo fehlt). Foto: Alpiq/Hydrospider



Wirklichkeit: gelber H₂ aus Strommix des Netzes (AKW in Hintergrund) – Foto P. Tschanz

2) Gewinnung aus Erdölprodukte

- grau:** durch Reformierung von Erdgas, Methan oder Kohlendioxid, (Wirkungsgrad: 50%, Kosten: 3 €/kg)
99 % des H₂ ist heute grau und dies wird für die nächsten 20- 30 Jahre so bleiben
- blau:** durch Reformierung mit Abtrennung und Speicherung des CO₂ (CCD) – Pilotversuche (teuer)
- türkis:** durch Methan-Pyrolyse mit Abscheidung des Kohlenstoffes in fester Form (Forschung)
- weiss:** als Abfallprodukt von chemischen Prozessen (selten).

3) Andere Methoden

- Wasserzersetzung durch gebündelte Solarstrahlung (in den Tropenländern)
- durch Pflanzen-Photosynthese sind nicht marktreif.

Nur grüner, violetter und blauer Wasserstoff werden CO₂ – arm hergestellt

Wasserstofffahrzeuge

- H₂ –Fahrzeuge sind nur besser für das Klima als Diesel, Benzin oder LNG-Fahrzeuge, wenn sie mit grünem oder violetterem Wasserstoff fahren.
- H₂-Fahrzeuge haben eine schlechte Energieeffizienz vom Stromnetz bis zur Radnabe: Li-Ion-Batterie: 73%; H₂-Brennstoffzelle: 22%; Power-to-Liquid + Verbrennungsmotor: 13%.
- Der Wirkungsgrad der Kette „Elektrizität-H₂-Speicherung-Verteilung-Elektrizität“ liegt bei 25% (0,7 Elektrolyse x 0,88 Kompression x 0,86 Transport & Tankstelle x 0,50 Brennstoffzelle = 0,26)
- H₂-Autos benötigen etwa dreimal so viel Strom wie Batterieautos. Also braucht H₂ die dreifache Fläche an erneuerbaren Energien und stößt dreimal so viel CO₂ aus.
- H₂-Fahrzeuge müssen abgeschleppt werden, wenn der Kraftstoff ausgeht
H₂ kann nicht von einem anderen Fahrzeug übertragen werden.
- H₂-Fahrzeuge mit Kryo-Tanks (wie BMW) können nicht lang vollgetankt gelagert werden – der Tank leert sich in etwa einer Woche durch das Überdruckventil.
- H₂-Verteilung an Tankstellen ist ungelöst (H₂-Gasnetz? Megatrucks?) und kostet Energie.
- Hauptvorteil H₂: Tanken ist schneller, aber Fahrer brauchen Pausen und das Laden der Batterien macht Fortschritte.
- Werbung für H₂-Fahrzeuge
Es läuft eine grosse (und nicht ganz ehrliche) Werbekampagne für Wasserstoff,
Viele Politiker sind dem Wasserstoff verfallen, weil sie sich davon viel versprechen und wenig verstehen.



Tesla taumelt

Megatrend 2020: Wasserstoff löst schmutzige Batterien ab.
Kurse gehen durch die Decke.

Internationale Wasserstoffprojekte

Europa : Ziel 1 Million Tonnen grünes H₂ pro Jahr bis 2024, 10 bis 2030 (24 bis 42 Milliarden €, plus 220 bis 340 Milliarden € für Sonne und Windanlagen).

Frankreich : 3,4 Milliarden € bis 2023 (54% Dekarbonisierung, 27% Mobilität, 19% Forschung)

Deutschland: 9 T€ bis 2030.

Die Erdöl- und Gasindustrie unterstützt H₂, um die Zukunft ihres Vertriebssystems zu sichern.

H₂ erhält das Erdgasnetz, indem behauptet wird, dass es auch für Biogas und H₂ taugt, was nur teilweise stimmt.

H₂ ist zuerst für Industrie (z.B. NH₃-Herstellung), dann für Synfuel bestimmt, nicht für Strassenfahrzeuge.

<https://de.wikipedia.org/wiki/Brennstoffzellenfahrzeug>