



powered by klima+
energie
fonds



HYDROGEN
AUSTRIA

WIVAP&G
Energy Model Region

Überblick über Wasserstoffherstellverfahren

Ass.Prof. DI Dr. Alexander Trattner
Geschäftsführer und wissenschaftlicher Leiter

Graz, 06.09.2022



- Weltweit werden circa **600 Mrd. Nm³** (50-60 Mio. t) pro Jahr erzeugt
 - Entspricht 6 EJ (1,7 PWh) → 1 % des globalen Gesamtenergieverbrauchs
- Circa **40 %** stammen aus Industrieprozessen als **Nebenprodukt**, wie aus der Herstellung von Chlor mittels der Chlor-Alkali-Elektrolyse
- Restlichen **60 %** werden **eigens erzeugt**:
95 % aus Kohlenwasserstoffen und zu **5 %** aus Strom

ANTEIL DER PRIMÄREN ENERGIETRÄGER AN DER GLOBALEN WASSERSTOFF-PRODUKTION



Quelle: Shell Studie 2017

E4tech 2014; eigene Darstellung

Wasserstoff ist ein farbloses Gas!

	GREY HYDROGEN	BLUE HYDROGEN	GREEN HYDROGEN
Process	Reforming or gasification	Reforming or gasification with carbon capture	Electrolysis
Energy source	Fossil fuels 	Fossil fuels 	Renewable electricity 
Estimated emissions from the production process ^a	Reforming: 9 – 11 ^b Gasification: 18 – 20	0.4-4.5 ^c	0

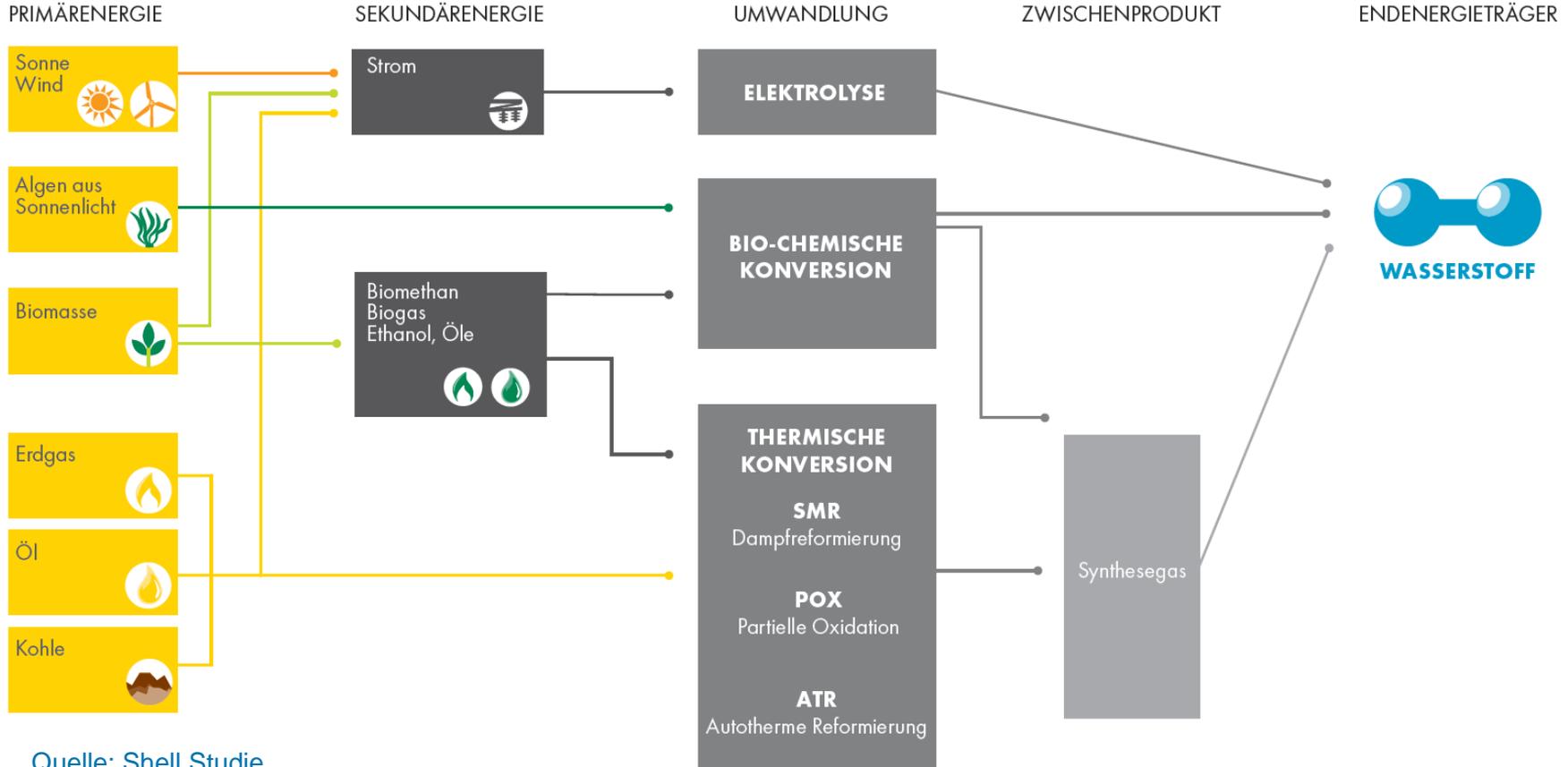
Note: a) CO_{2-eq}/kg = carbon dioxide equivalent per kilogramme; b) For grey hydrogen, 2 kg CO_{2-eq}/kg assumed for methane leakage from the steam methane reforming process. c) Emissions for blue hydrogen assume a range of 98% and 68% carbon capture rate and 0.2% and 1.5% of methane leakage.



Geopolitics of the Energy Transformation
The Hydrogen Factor

https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jan/IRENA_Geopolitics_Hydrogen_2022.pdf

Etablierte Verfahren zur Erzeugung

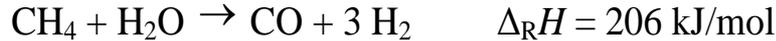


Quelle: Shell Studie

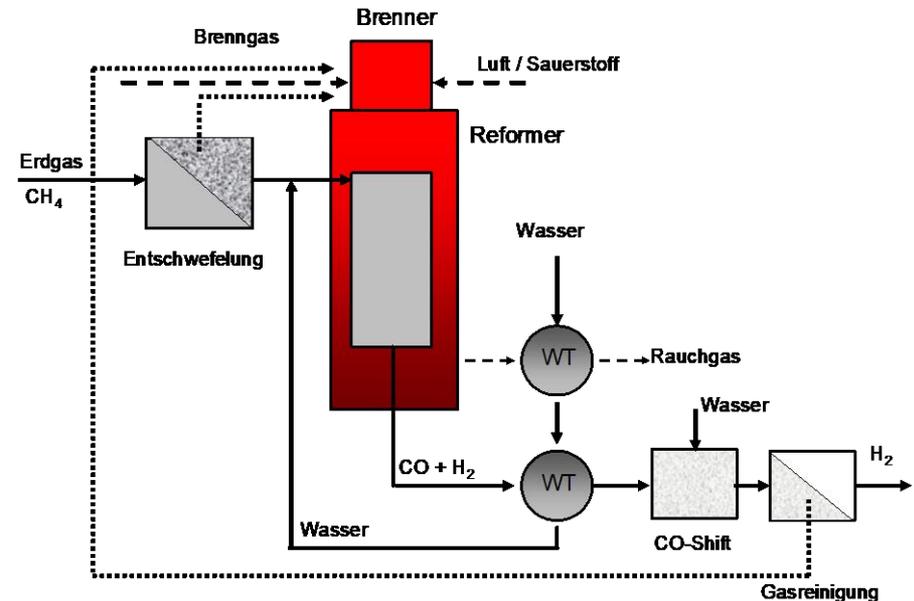
- **(Dampf-)Reformierung**
Heißdampf & Methan bei 800 °C und 30 bar →
Synthesegas (Wassergas), Wirkungsgrad bis 80 %,
Gasreinigung nötig
- **Partielle Oxidation**
Kohlenwasserstoffe bei Sauerstoffmangel bei > 600°C →
Synthesegas (Wassergas), Wirkungsgrad bis 70 %,
Gasreinigung nötig
- **Elektrolyse**
Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff mit Strom aus
erneuerbaren Quellen, emissionsfreier Energiekreislauf, hohe Kosten,
Wirkungsgrade bis 80 %.
- **Vergasung**
von Holz, Kohle, Biomasse oder Abfällen → Synthesegas,
Wirkungsgrad bis 55 %, Gasreinigung nötig
- **Sonderverfahren**
chemische, photolytische und biologische Prozesse, thermo-
chemische Prozesse, Thermolyse → **im Labormaßstab ...**



- **Heißdampf und Methan reagieren bei 800 °C und 30 bar zu Synthesegas (Wassergas). Hoher Wirkungsgrad bis 80 % - Anlagen mit bis zu 100.000 Nm³/h**
- **Das CO wird in der Shift-reaktion zu CO₂ oxidiert (Rest: 0,5 – 1 % CO)**
- **Die weitere Gasreinigung mit Druckwechseladsorption ergibt Wasserstoff der Reinheit 5.0 (99.999 %) – Wirkungsgrad der PSA bis zu 85 %**



DR in Leuna
35.000 Nm³/h
(Linde)



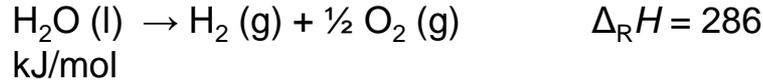
- Unter partieller Oxidation (POX) versteht man die exotherme Umwandlung schwerer Kohlenwasserstoffe (z. B. Altöle, schweres Heizöl) mit Sauerstoff.



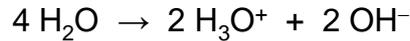
- Die Reaktion verläuft katalytisch bei Temperaturen von 600 °C bis 850 °C bei Sauerstoffunterschuss.
- Aufreinigung des Synthesegases in einer Druckwechseladsorption oder Membranabtrennung gereinigt.
- Das Verfahren erreicht **Wirkungsgrade von etwa 70 %** und wird großtechnisch mit Kapazitäten von bis zu 100.000 Nm³ H₂/h eingesetzt, wenn Erdgas nicht direkt verfügbar ist.
- In Ländern mit großen Kohlevorkommen (Südafrika, China) kann auch **Kohle als Ausgangsstoff für die partielle Oxidation genutzt werden**. Die Kohle wird zermahlen und anschließend durch Beimengung von Wasser zu einer wenig viskosen Suspension mit einem Feststoffgehalt von bis zu 70 % vermischt.

In einem elektrochemischen Prozess wird unter Stromzufuhr Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten.

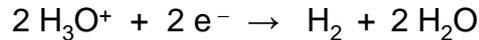
Bei Verwendung von **Elektrizität aus erneuerbaren Quellen** erzeugt man **Wasserstoff nachhaltig ohne Emission von CO₂**. Hohe Kosten, **NT-Wirkungsgrade bis 70 %**.



Kathode (-):

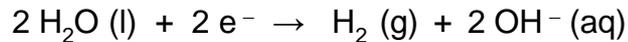


Dissoziation von Wasser

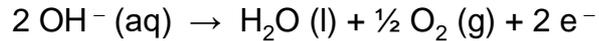


Reduktion (Aufnahme von Elektronen)

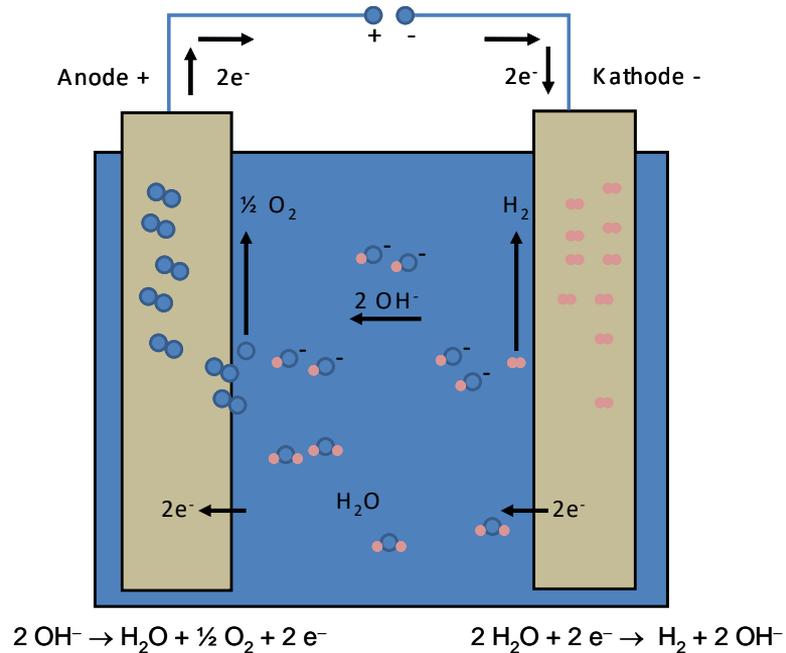
Bruttoreaktion:



Anode (+):



Oxidation (Abgabe von Elektronen)



Rjukan, Norwegen:

- **1927** gebaut von Norsk Hydro (heute NEL)
- **125 MW** (27.900 Nm³/h) für Ammoniaksynthese
- Stromversorgung aus lokalem Wasserkraftwerk

Glomfjord, Norwegen:

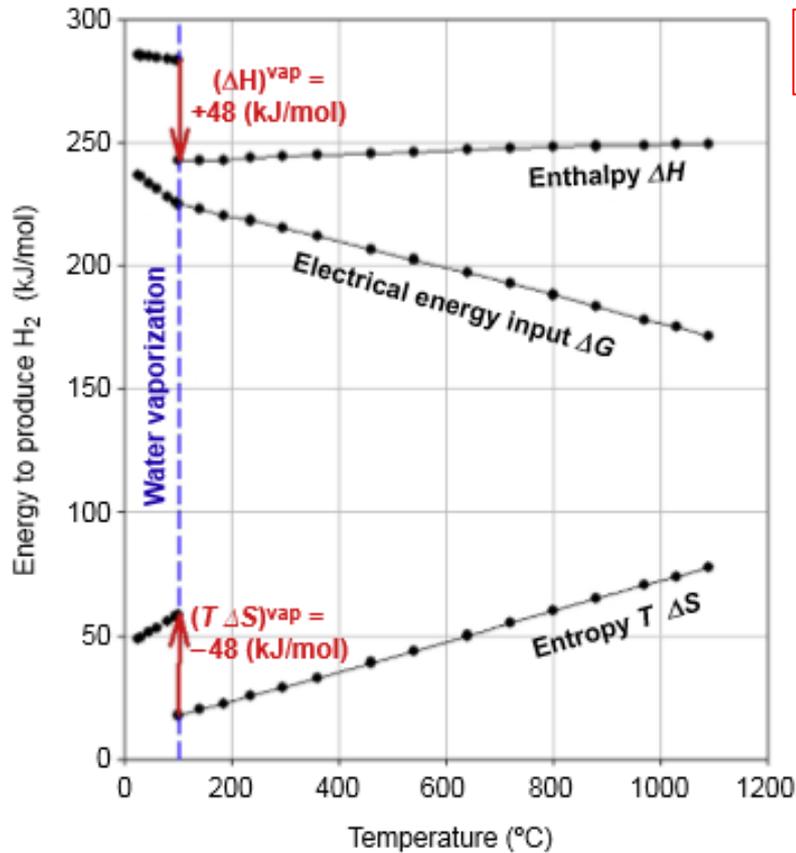
- **1947** gebaut von Norsk Hydro
- **380 MW** (84.000 Nm³/h) für Ammoniaksynthese
- Stromversorgung aus lokalem Wasserkraftwerk

Assuan, Ägypten:

- **1977** gebaut von Brown Boveri
- **162 MW** (32.400 Nm³/h) für Ammoniaksynthese bzw. Düngemittelherstellung
- Stromversorgung aus Kraftwerk am Assuan-Staudamm

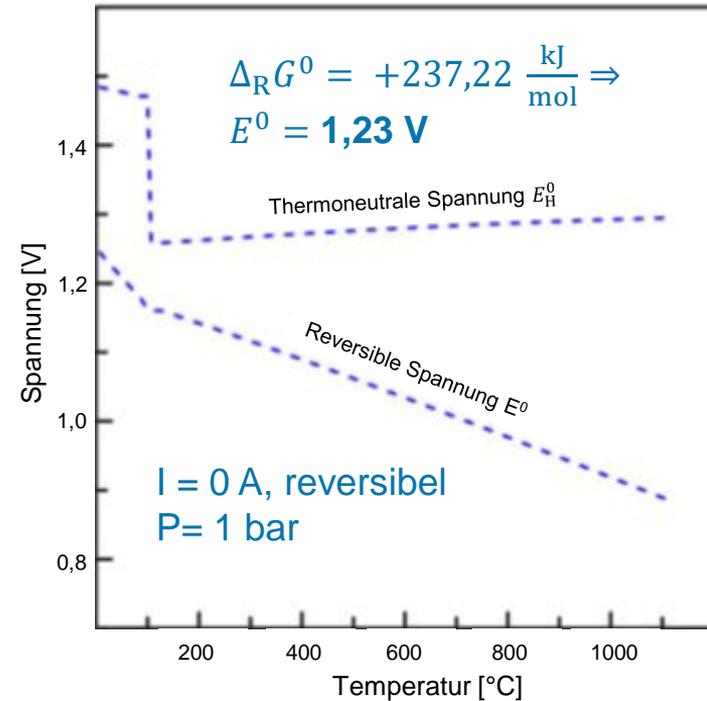


Elektrolyse bei beliebiger Temperatur



$$\Delta_R G_m^0 = \Delta_R H_m^0 - T \cdot \Delta_R S_m^0$$

$$E^0 = -\frac{\Delta_R G^0}{z \cdot F}$$

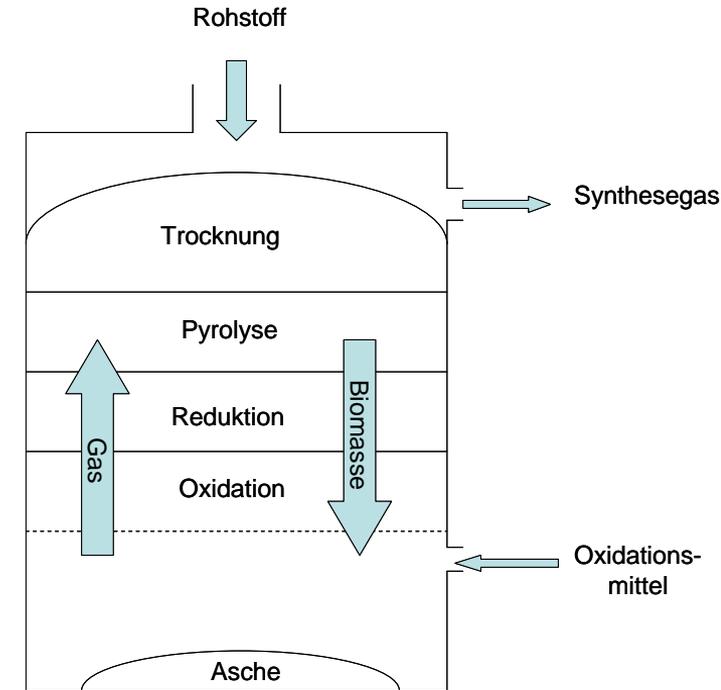


Decarbonisation of Winter Tourism by Hydrogen Powered Fuel Cell Snowmobiles

- Errichtung der ersten **Wasserstofftankstelle** in alpiner Umgebung (höchstgelegene H₂-Tankstelle Europas)
- Direkte Kopplung von **Photovoltaik- und Elektrolyseanlage (AEM-Elektrolyse)**
- Entwicklung eines **Brennstoffzellenantriebs für Schneemobile**
- Betrieb und Evaluierung unter **realen Betriebsbedingungen**

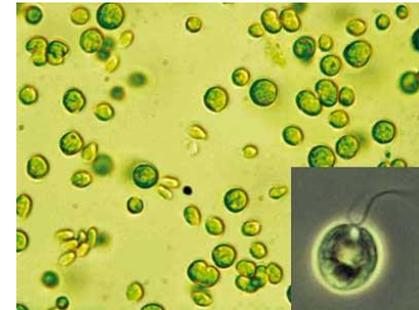
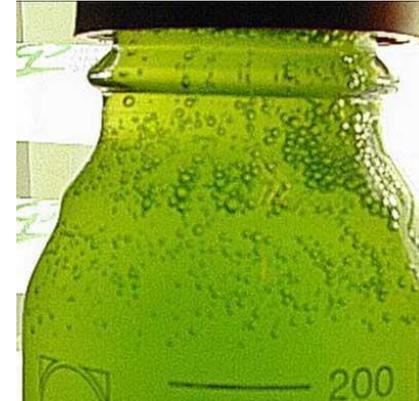


- Die Vergasung ist ein traditionelles Verfahren um aus organischen Substanzen Brennstoffe zu erzeugen. Es handelt sich um einen komplexen thermochemischen Prozess mit anaerober Pyrolyse, Reduktions- und Oxidationsprozessen.
- Industriell genutzt wird die Vergasung von **Kohle**
- **Kohle, Holz oder organische Abfälle** werden in Reaktoren bei Temperaturen zwischen 500 and 2000 °C zu Synthesegas verarbeitet. **Wirkungsgrade bis 50 %.**



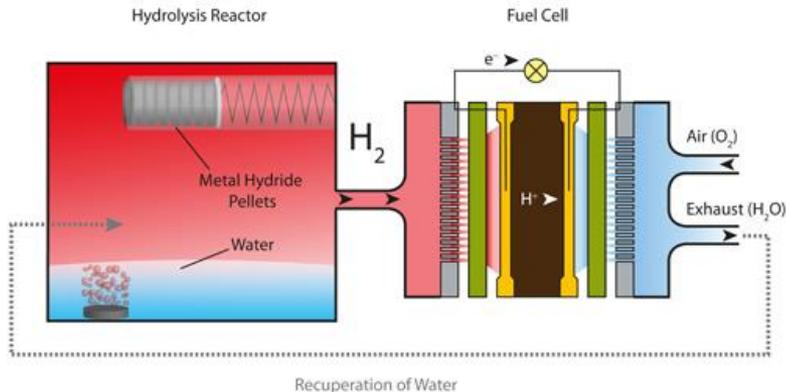
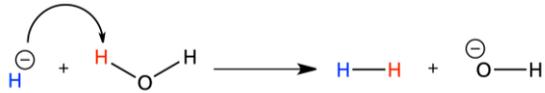
Beispiel: Gegenstromvergaser

- **Chemische Wasserspaltung mit Alkali- und Erdalkalimetallen**
 $M + n H_2O \rightarrow M(OH)_n + n/2 H_2$ $n = 1, 2 \text{ und } 3$
- **Photolytische Prozesse**
Photoelektrolyse; Algen und Bakterien $\rightarrow H_2$ aus Wasser und Sonnenlicht
- **Biologische Prozesse**
Bakterien und Enzyme erzeugen Wasserstoff; Bsp der dunklen Fermentation
- **Plasmalyse**
plasmachemische Dissoziation von organischen und anorganischen Verb.
- **Pyrolyse**
Direkt Umwandlung von Methan in Wasserstoff und festen Kohlenstoff
- **Thermische Dissoziation**
> 1.700 °C vollzieht sich die direkte Spaltung von Wasserdampf in Wasserstoff und Sauerstoff; Trennung von H_2 und O_2 aufwendig
- **Thermo-chemische Spaltung**
Absenken der Temperatur auf unter 900 °C über gekoppelte chemische Reaktionen. Beispiel: Schwefelsäure-Iod-Prozess

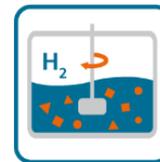


Im Labormaßstab

Materialien und Systeme zur Wasserstoffherzeugung mittels Wasser-Feststoff-Reaktionen



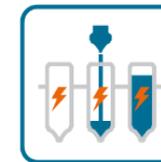
MgH₂-basierte PowerPaste, © IFAM



Hydrierung



Nassvermahlung



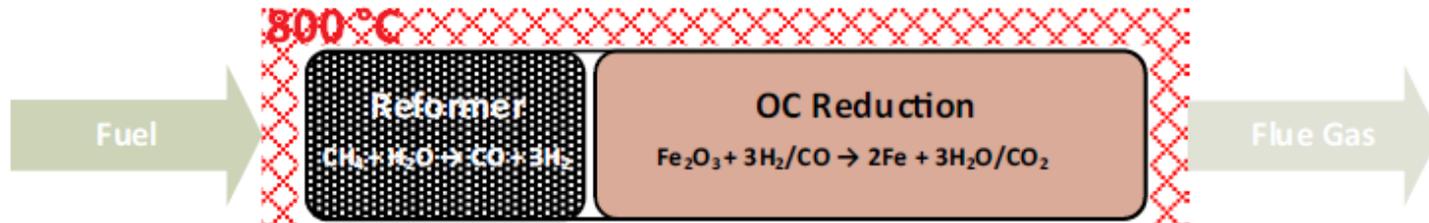
Abfüllung



Hydrolyse

© Fraunhofer ZESS

- Eisen-Dampf-Prozess, mit dem früher Wasserstoff produziert wurde, indem Wasserdampf über rotglühende Eisenspäne geleitet wurde. Temperaturen ab ca. 500 °C.
- Verbesserte Fest-Bett-Reaktoren zeigen Potenzial zur industriellen Umsetzung; siehe TUG CEET.

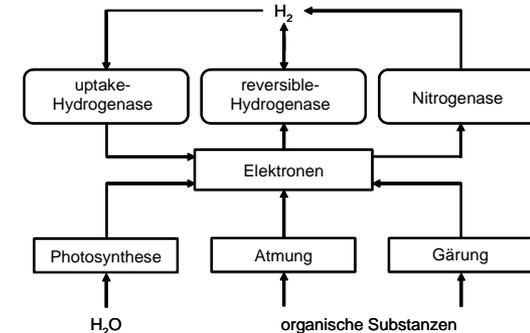
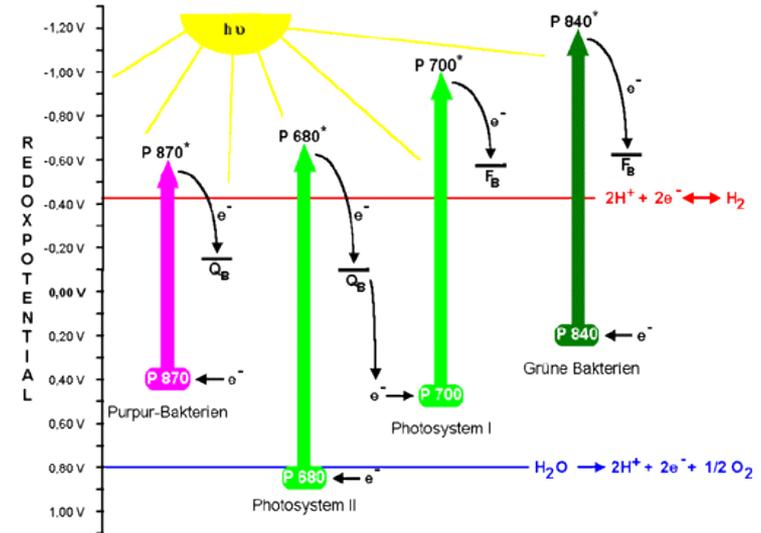


Biophotolyse ist die lichtabhängige Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff, mit Hilfe von Enzymen in photosynthetisch aktiven Mikroorganismen

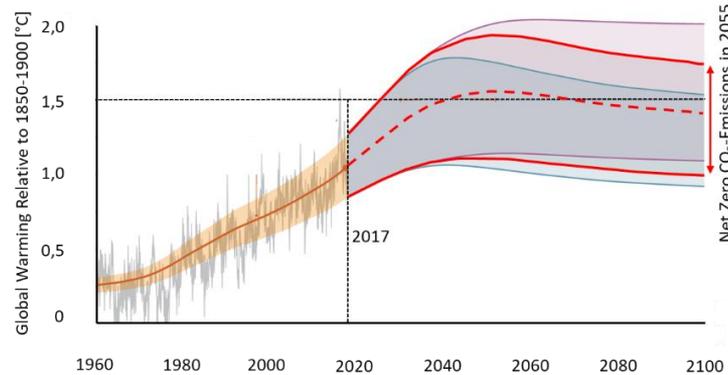
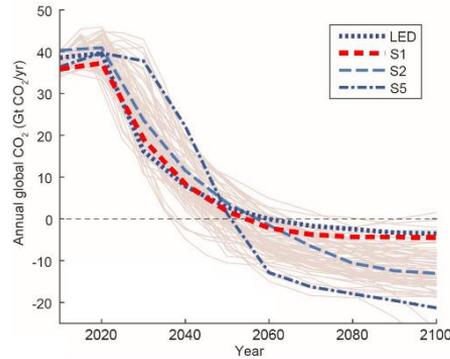
- Grünalgen, z. B. in *Chlamydomonas reinhardtii* Algen
- Bakterien wie **Purpur- und Cyanobakterien** über einen Wasser spaltenden Photosyntheseapparat

Herausforderung, dass CO_2 - beziehungsweise N_2 -Fixierung Konkurrenzreaktionen zur Wasserstoffbildung darstellen. Das Ausschalten oder Zurückdrängen dieser konkurrierenden Reaktionen ist kaum möglich, da diese Reaktionen essentiell für die Lebens- und Regenerationsfähigkeit der Zellen sind.

- Wirkungsgrade von wenigen Prozent
- Produktionsraten von 0,2 bis 0,8 mg H_2 pro Liter Nährlösung pro Sekunde
- Im Forschungsstadium



Primäre Aufgabe ist die Reduktion von Treibhausgasen!

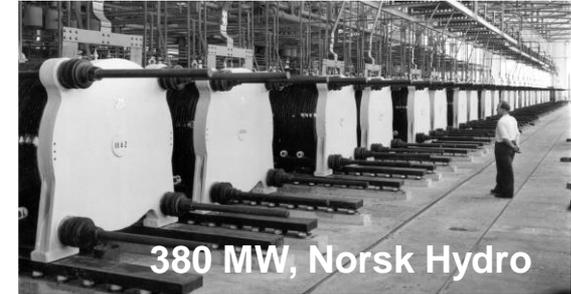


Quelle: IPCC

3 Strategien zur Bewältigung der Energiewende

1. Ausbau erneuerbarer Energien (und Energiespeicher)
2. Effizientere Energiewandler
3. Energie- und Ressourcenverbrauch verringern - Suffizienz

- Umstellung von **grauen Herstellverfahren** auf **CO₂-arme Verfahren** mit dem langfristigen Ziel der **grünen Wasserstoffherstellung**
- Zusätzlich zu Großanlagen kommt der **Dezentralisierung der Herstellung** steigende **Bedeutung zu** – Resilienz des Energiesystems
- **Elektrolyse = zeitnah verfügbares Verfahren** zur Hochskalierung der **grünen Wasserstoffherstellung**
- Gleichzeitig **bietet die Elektrolyse enormes Potenzial für Wertschöpfung** in Europa
- **Viele weitere grüne Herstellverfahren im Laborstadium**, die viel Potenzial zu hoher Ressourcen- und Energieeffizienz bieten



wind2hydrogen

Contact

HyCentA Research GmbH

Inffeldgasse 15

A-8010 Graz

office@hycenta.at

www.hycenta.at



ATZ/MTZ-Fachbuch

Manfred Klell
Helmut Eichseder
Alexander Trattner



Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik

Erzeugung, Speicherung, Anwendung

4. Auflage