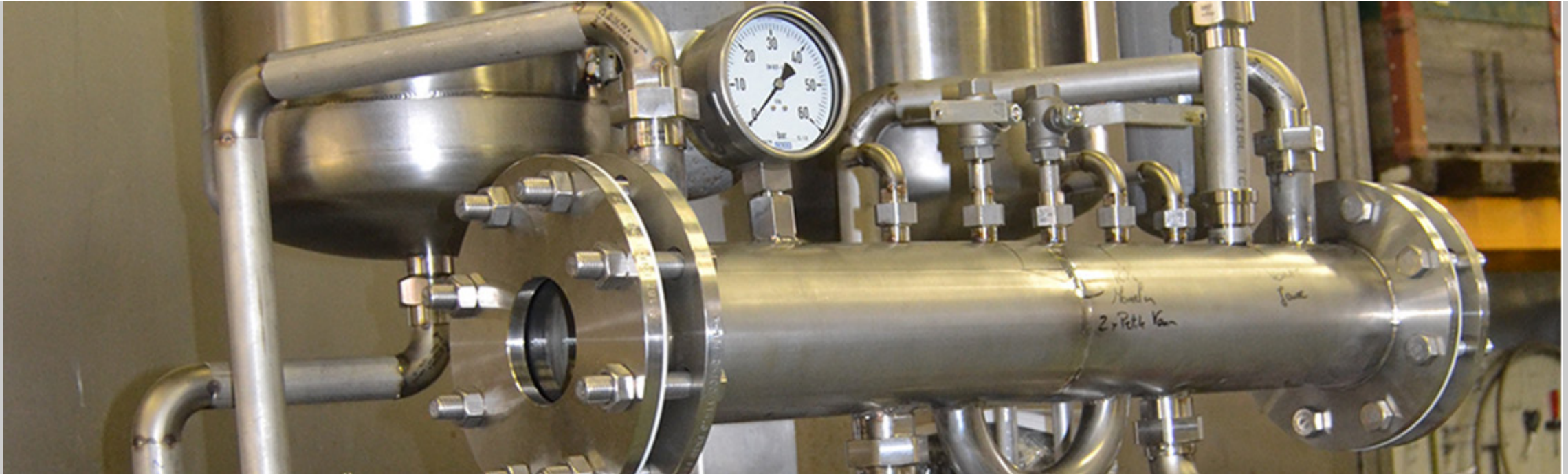




Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFEN
Ufficio federale dell'energia UFE
Uffizi federal d'energia UFE

Quelle: EXEN Ltd.



Aktuelle Entwicklungen im Bereich Wasserstoff



- Wasserstoff als Energieträger:
Mehr als ein Hype!
- Wasserstoff-Mobilität:
«Roll-out» von Brennstoffzellen-LKWs in der Schweiz
- Wasserstoff als saisonaler Speicher



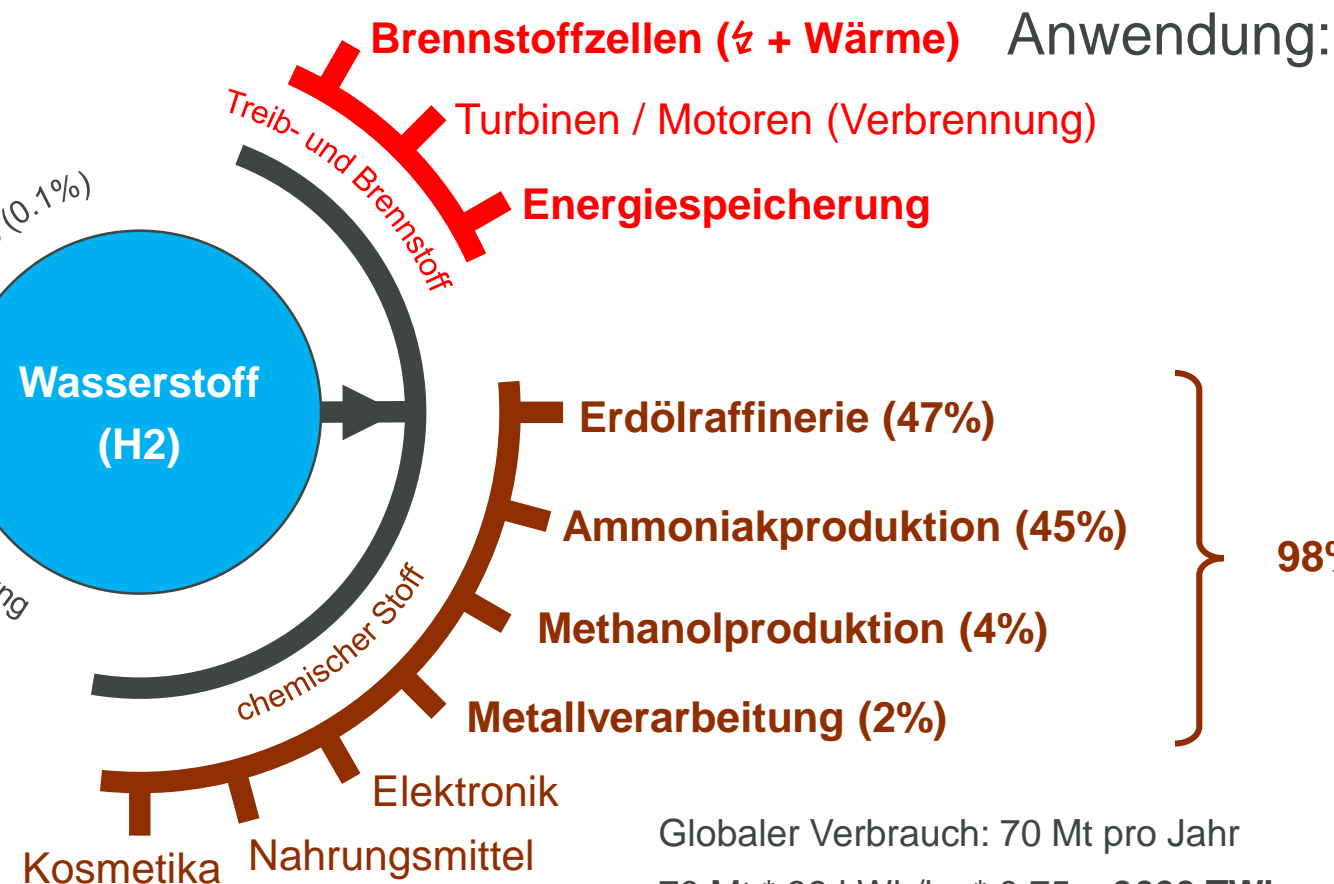
Wasserstoff (H₂): Chemikalie & Energieträger

Quellen:

«Grüner H₂»
Erneuerbare (½)
(Hydro, Wind, PV, Bio)

Kernenergie (½)
~100% fossil
«Blauer H₂»:
Erdgas mit CCUS:
Erdgas*
Kohle**
Reformierung
Elektrolyse (0.1%)

* 6% des globalen Verbrauchs an Erdgas
** 2% des globalen Verbrauchs an Kohle
→ **830 MT CO₂** (17 x Emissionen Schweiz)



Globaler Verbrauch: 70 Mt pro Jahr
 $70 \text{ Mt} * 39 \text{ kWh/kg} * 0.75 = \mathbf{3600 \text{ TWh}}$
(60 x jährlicher Schweizer Stromverbrauch)



Wasserstoff: DAS Energiethema der Stunde

WORLD ECONOMIC FORUM
Agenda Platforms Reports Events About
English TopLink

Global Agenda | Future of Energy | Decarbonizing Energy | SDG 07: Affordable and Clean Energy

A clean energy future with hydrogen could be closer than we think



pv magazine

Green hydrogen airs at G20 meeting of energy ministers this week

Hello hydrogen! A number one topic at the top of the agenda for most favourably placed energy the world has

JUNE 10, 2019 NATALIE

ENERGY STORAGE ENERGY STORAGE SUSTAINABILITY TECHNOLOGY

FINANCIAL TIMES

Opinion Energy sector

How hydrogen can offer a clean energy future

Tapping the most abundant element in the universe holds tantalising promise

Fatih Birol JUNE 4, 2019 (IEA Direktor)

Neue Zürcher Zeitung

«Es ist ein entscheidendes Jahr für Wasserstoff»


Japans Regierungschef Shinzo Abe nutzt seine G-20-Präsidentschaft, um eines seiner strategischen Projekte zu fördern: den Aufbau einer globalen Wasserstoffindustrie

18.6.2019, 07:00 Uhr

OILPRICE.com
The No. 1 Source for Oil & Energy News

Could This Be The Decade Of Green Hydrogen?

By Tsvetana Paraskova - Feb 08, 2020, 10:00 AM CST



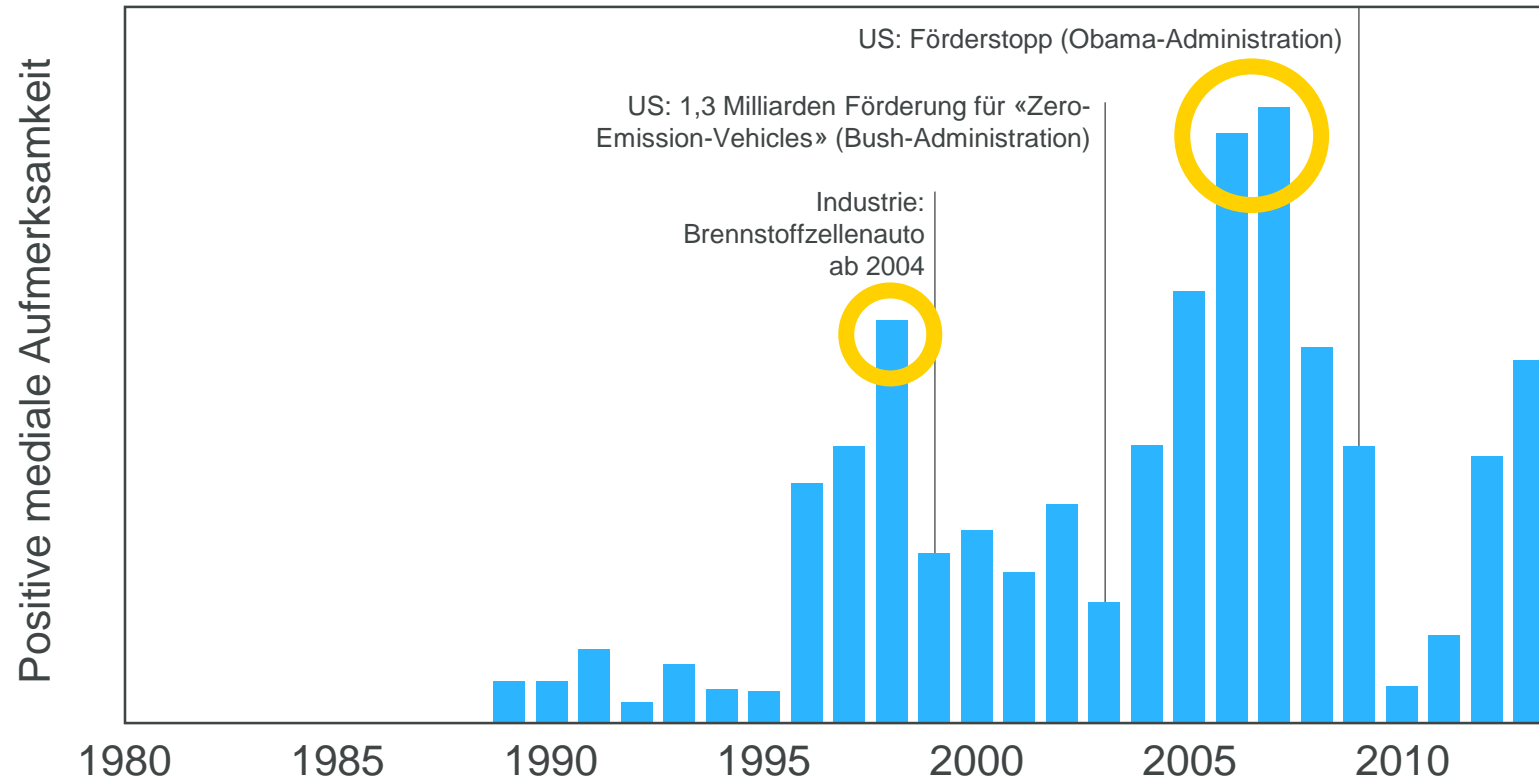
Join Our Community

The pressure on the energy industry to curb carbon emissions while simultaneously meeting growing global demand has drawn attention to alternatives to fossil fuels.



Mehr als ein neuer medialer Hype

Mediale Aufmerksamkeit für Wasserstoff:

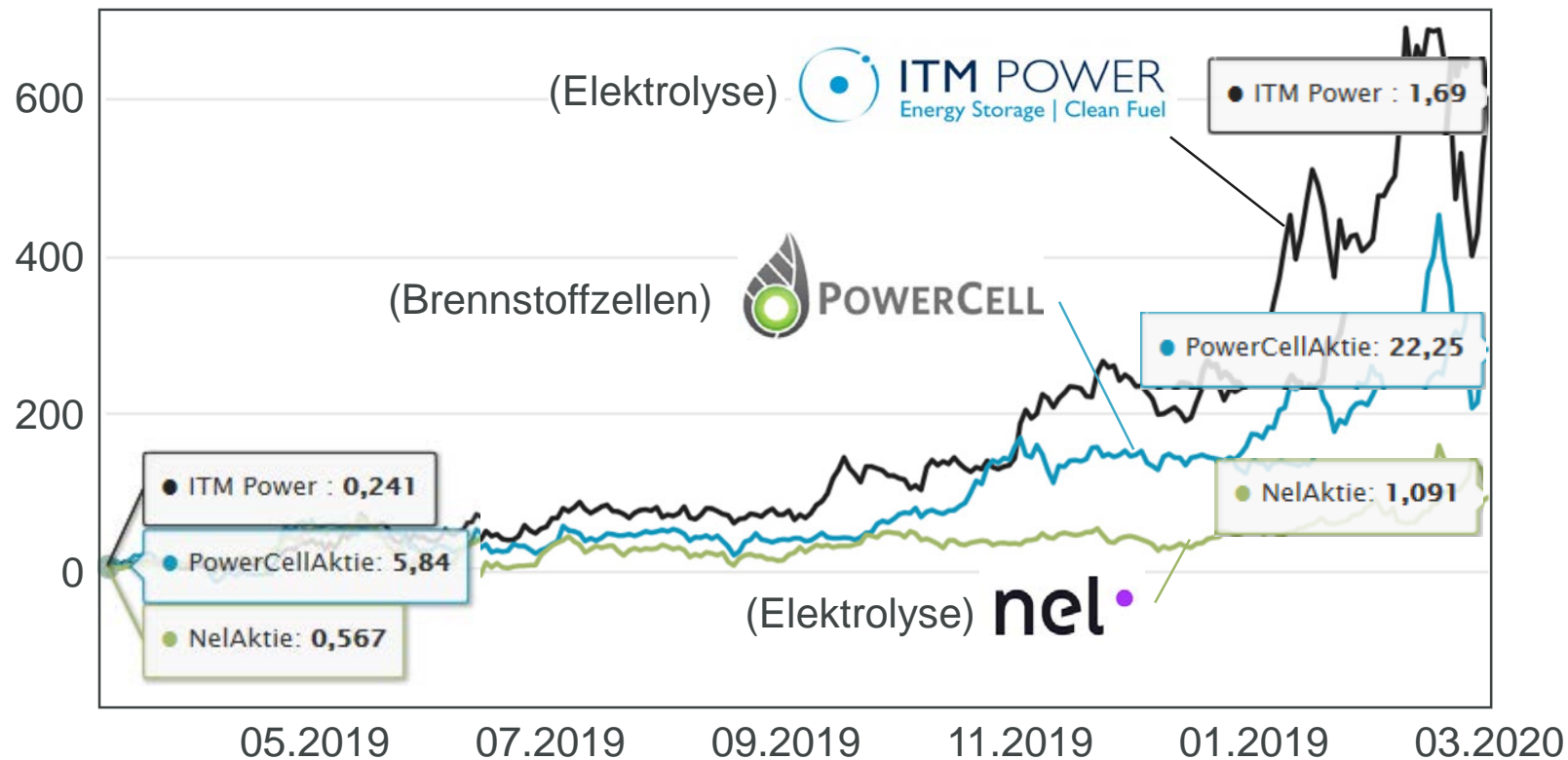


"Moving beyond alternative fuel hype to decarbonize transportation"
Noel Melton, Jonn Axsen & Daniel Sperling,
Nature Energy (2016)



Interesse an Firmen im Bereich Wasserstoffelektrolyse und Brennstoffzellen

Aktienkursentwicklung wichtiger Player:



Wasserstoffindex:

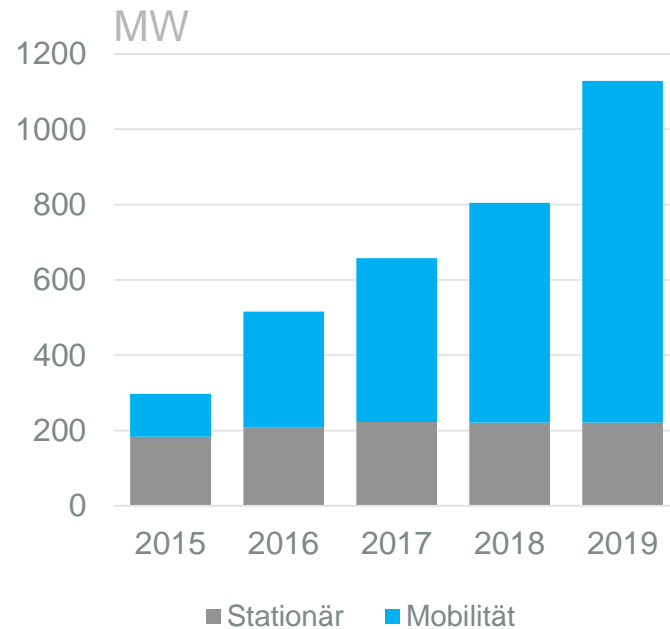
- Nel
- Hydrogenics
- Plug Power
- Ballard Power
- Powercell
- ITM Power
- Hexagon Composites
- Air Liquide
- Linde
- SFC Energy

+ 150% seit Juni 2019

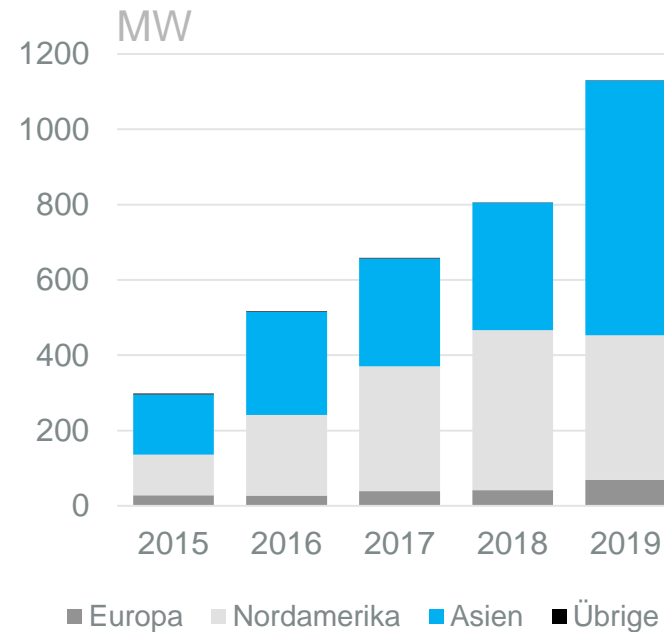


Marktentwicklung Brennstoffzellen

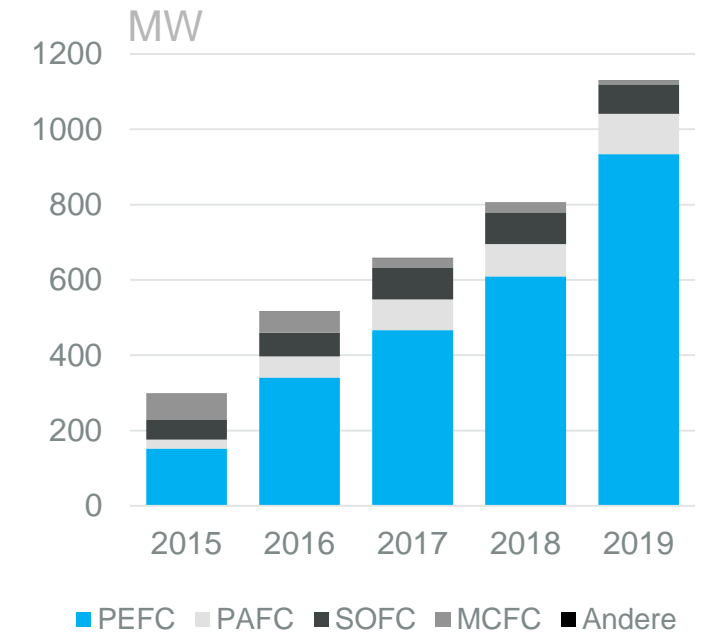
Sektor: **Mobilität**



Region: **Asien**



Technologie: **PEFC** (Niedertemperatur-Brennstoffzellen)



E4tech, The Fuel Cell Industry Review 2019



Zentrale Publikationen 2019 und 2020

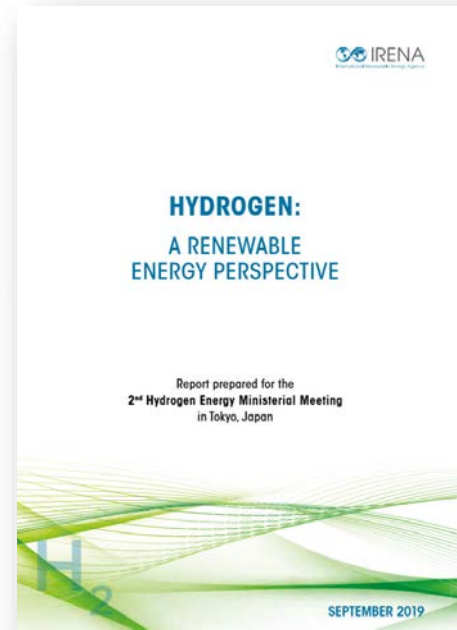
Hydrogen Council:

Initiative von 60 führenden Energie-, Transport- und Industrieunternehmen

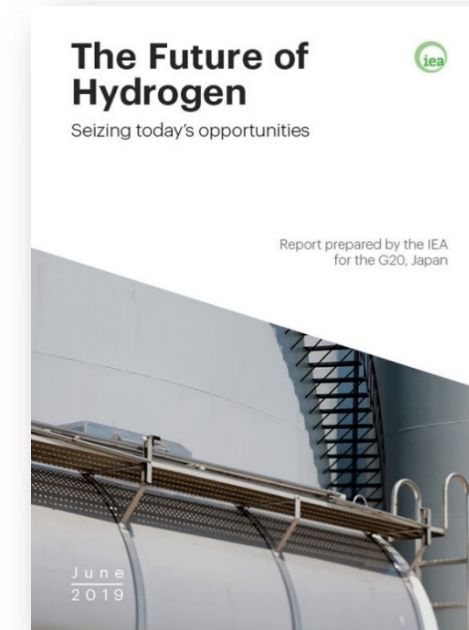


IRENA:

Internationale Organisation für erneuerbare Energien



Internationale Energieagentur IEA für G20



https://hydrogencouncil.com/wp-content/uploads/2020/01/Path-to-Hydrogen-Competitiveness_Full-Study-1.pdf

<https://www.irena.org/publications/2019/Sep/Hydrogen-A-renewable-energy-perspective>

<https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>

Hydrogen Council, Januar 2020: Detaillierte Kostenanalyse

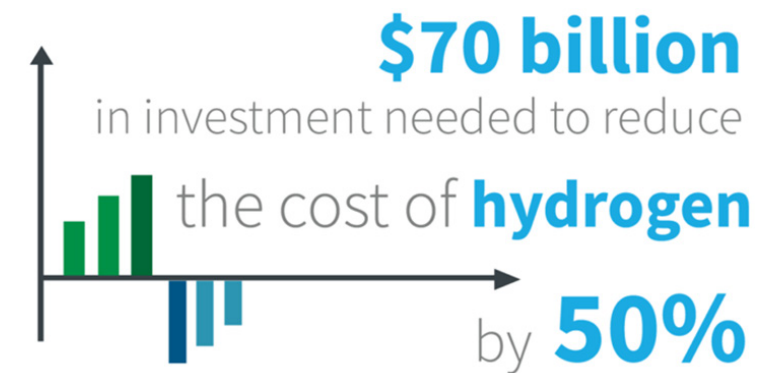
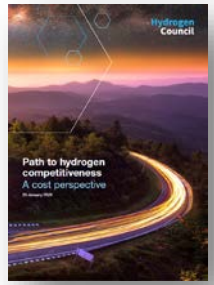
Kosten für Wasserstofflösungen sinken massiv innerhalb des nächsten Jahrzehnts, schneller als bisher erwartet.

Skaleneffekte:

- **Kostenreduktion** für die Produktion von kohlenstoffarmem und **erneuerbarem Wasserstoff**
- geringere Verteilungs- und Betankungskosten dank **höherer Auslastung und Skaleneffekt bei der Nutzung der Infrastruktur**
- dramatischer Rückgang der Kosten von Komponenten bei **Endverbrauchern** dank **Skaleneffekten**

Hydrogen Council

*McKinsey & Company in
partnership with E4tech*

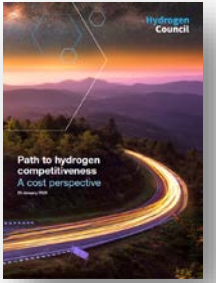




Treibende Faktoren & Indikatoren

Hydrogen Council

McKinsey & Company in
partnership with E4tech



Faktoren

für zunehmende Bedeutung von H2

CO₂-Emissionen:



10 verbleibende Jahre bei
aktuellem CO₂-Ausstoss zur
Erreichung des 1.5 Gradziels

66 Länder mit
Netto-Null-Ziel für 2050

**Kostenreduktion:
Erneuerbare und H2**



Gemittelt 80% Kostenreduktion
bei Erneuerbaren seit 2010

Zunahme an Elektrolyse-
kapazität um Faktor 55
zwischen 2015 und 2025

Indikatoren

für zunehmendes H2-Momentum

**Nationale Roadmaps:
(#18) (grün oder blau?)**



Länder mit zusammen 70% des
weltweiten BIP mit spezifischer
H2-Roadmap

Energy Ministerial Japan: > 10
Millionen Brennstoffzellen-
fahrzeuge bis 2030

Industrieallianzen:



Hydrogen Council:
von 13 (2017) auf 60 Mitglieder

global mehr als 30
angekündigte
Grossinvestitionen
(Schwerverkehr, Schiene)



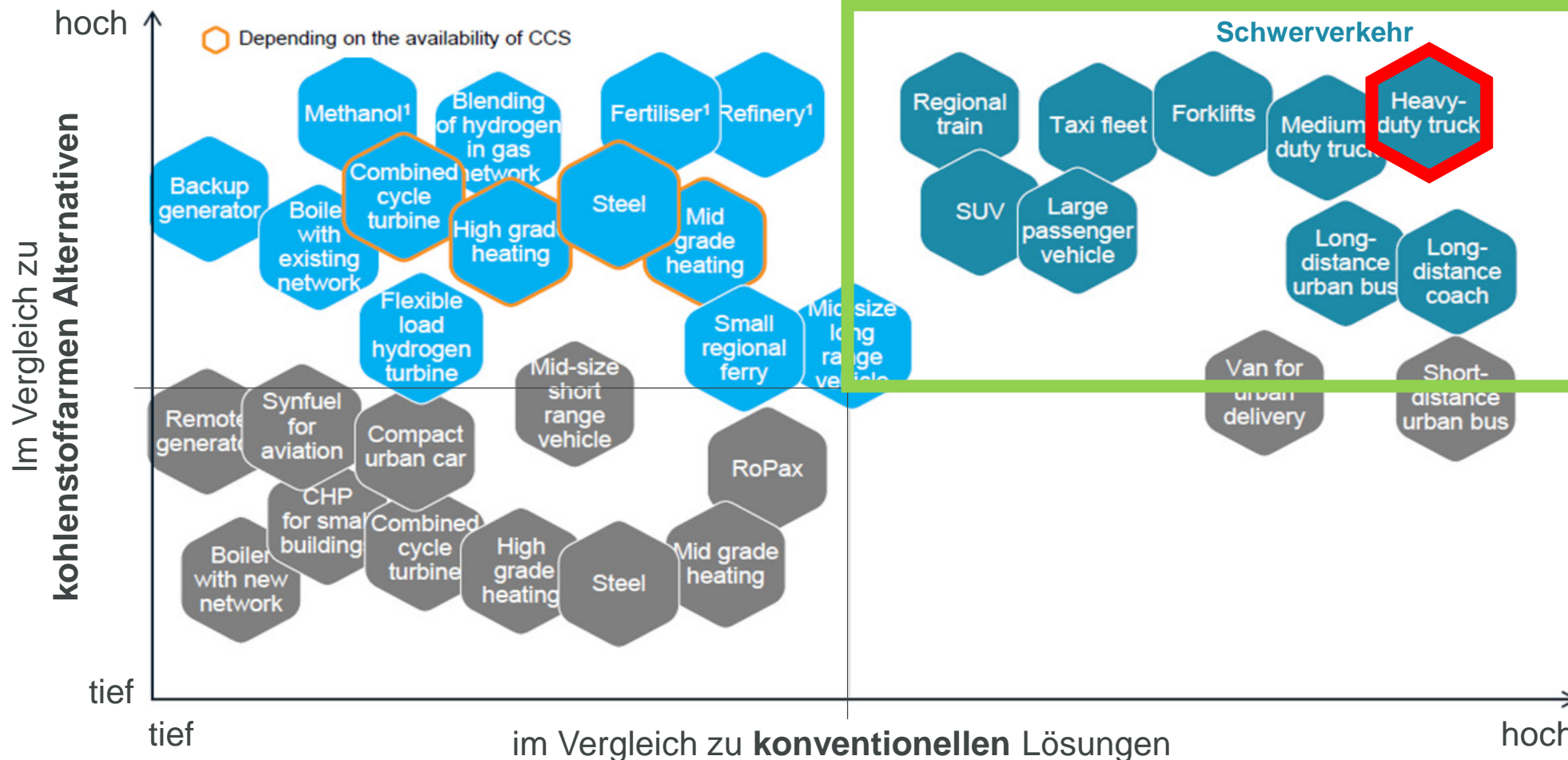
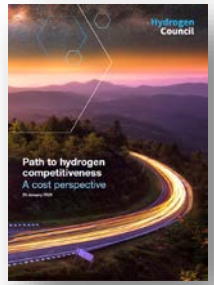
Wettbewerbsfähigkeit

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Confédération suisse
Confederaziun svizra
Confederaziun svizra

Hydrogen Council

McKinsey & Company in
partnership with E4tech



Wasserstoff im Schwerverkehr: «Schweizer Pioniere»

2016 bis 2020: Demonstration auf Pilotskala (BFE-Projekte)

www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=36922
www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=38263
www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=38378





«Roll-out» Brennstoffzellen-LKWs und Wasserstoffinfrastruktur



- Netz von **Wasserstofftankstellen** in der ganzen Schweiz bis 2023
- **«grüner»** Wasserstoff (Laufwasserkraft, Szenarien für PV)
- 1600 **Brennstoffzellenlastwagen** (50 in 2020)

LSVA-Befreiung (CHF 0,0228 tkm für Euro 6):

40 t x 100 000 km / Jahr → **CHF 91 200 / Jahr**

Mineralölsteuer-Befreiung (CHF 0.759 / L):

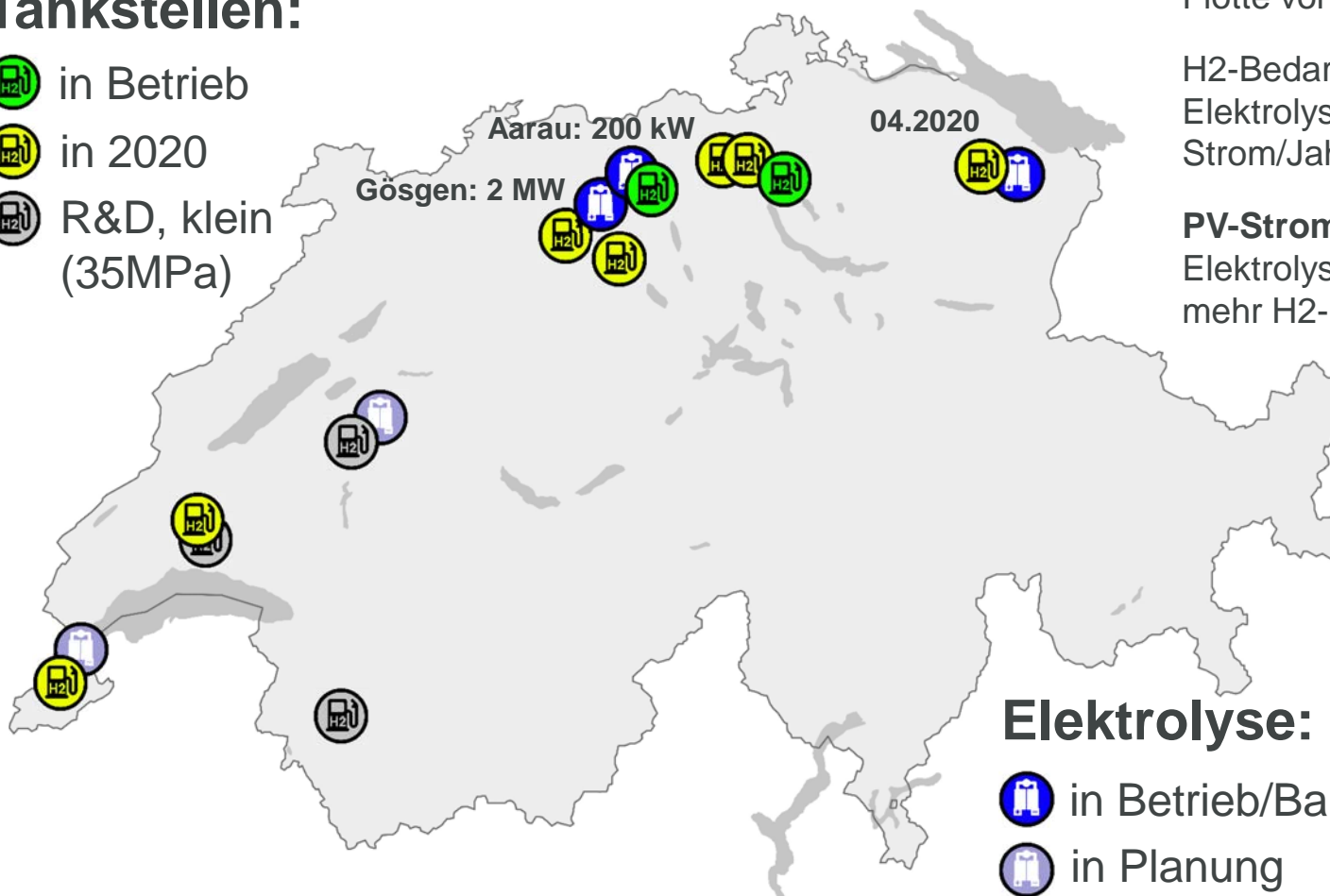
100 000 km x (32 L / 100km) / Jahr → **CHF 24 300 / Jahr**



«Roll-out» Brennstoffzellen-LKWs und Wasserstoffinfrastruktur

Tankstellen:

- in Betrieb
- in 2020
- R&D, klein (35MPa)



Flotte von 200 LKWs:

H₂-Bedarf: 1500 t/a
Elektrolyse: 13.5 MW
Strom/Jahr: 83 GWh

PV-Strom → grössere
Elektrolyseleistung +
mehr H₂-Speicher

Elektrolyse:

- in Betrieb/Bau
- in Planung



18.02.2020:
Erster Hyundai-Brennstoffzellenlastwagen
in der Schweiz angekommen

Weitere Mobilitätsanwendungen

Schiffe:



H2020-Projekt «MARANDA»

BFE: Machbarkeitsanalyse für H₂-Binnenschiff



Züge:



«FLIRT H₂» für in Kalifornien (November 2019) und fünf H₂-Triebzüge für Zillertalbahn (AUT) (2018)



PKW-Flotten:



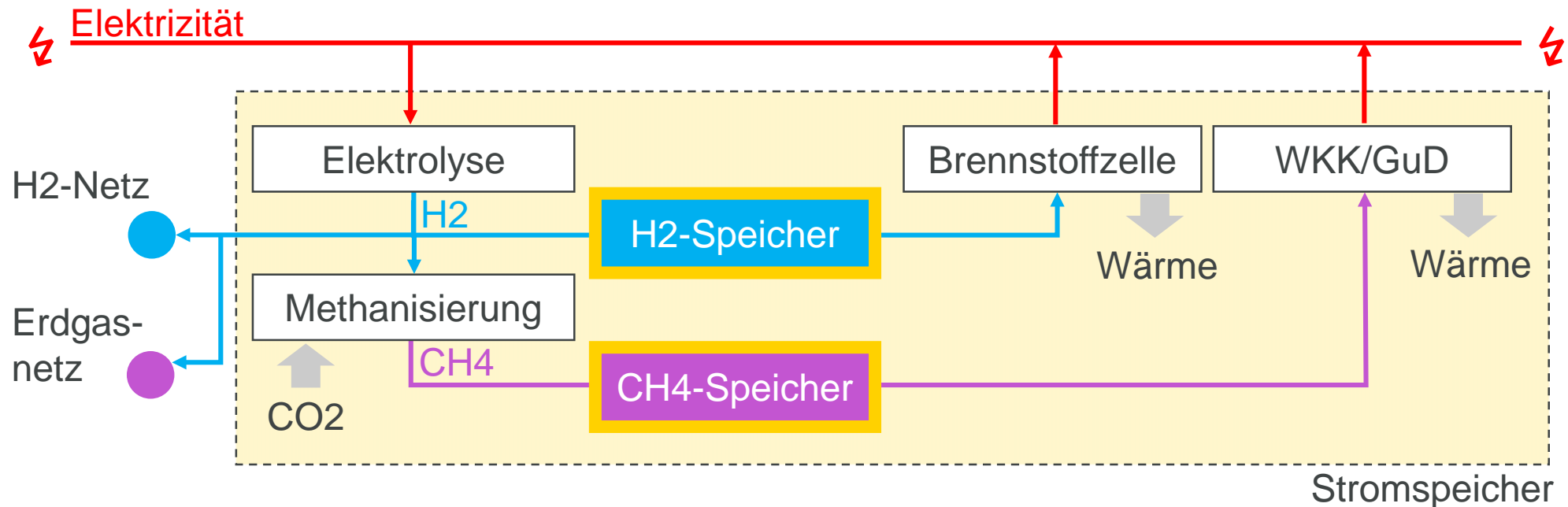
Hyundai-Nexo Flotte am Zürcher Flughafen (Februar 2020)



Speicher: «Power-to-Gas»

Nationale PV-Tagung 2019:

- Michael Sterner: «Sektorenkopplung mit Solarstrom: Theorie und Praxis»
- Markus Friedl: «Power-to-Gas: von Bedeutung für die Schweiz?» Markus Friedl,
- Eric Langenskiöld: «Saisonale Speicherung im MFH: Erfahrungsbericht aus Brütten»

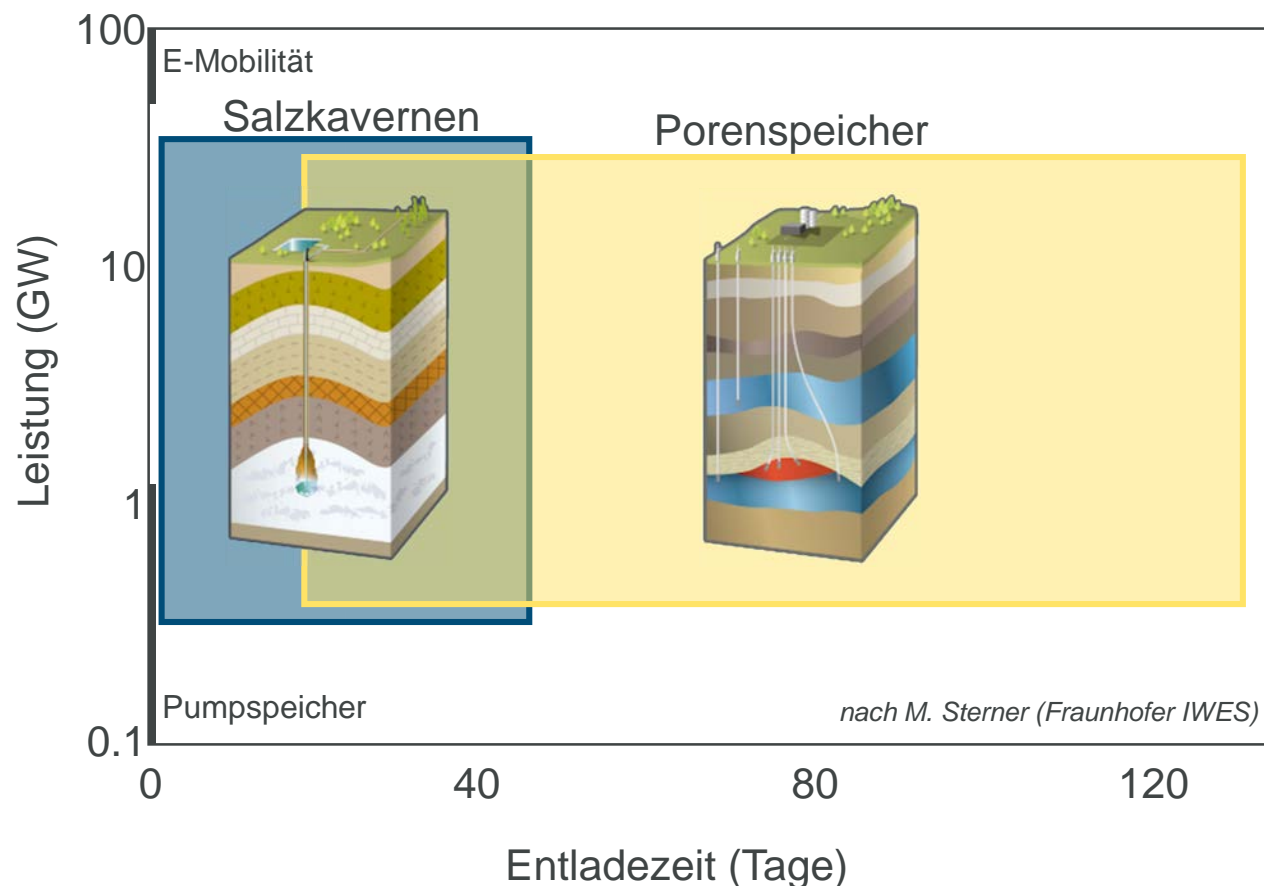




Untergrund-Gasspeicher

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFE
Ufficio federale dell'energia UFE
Ufficio federal d'energia UFE



Deutschland:

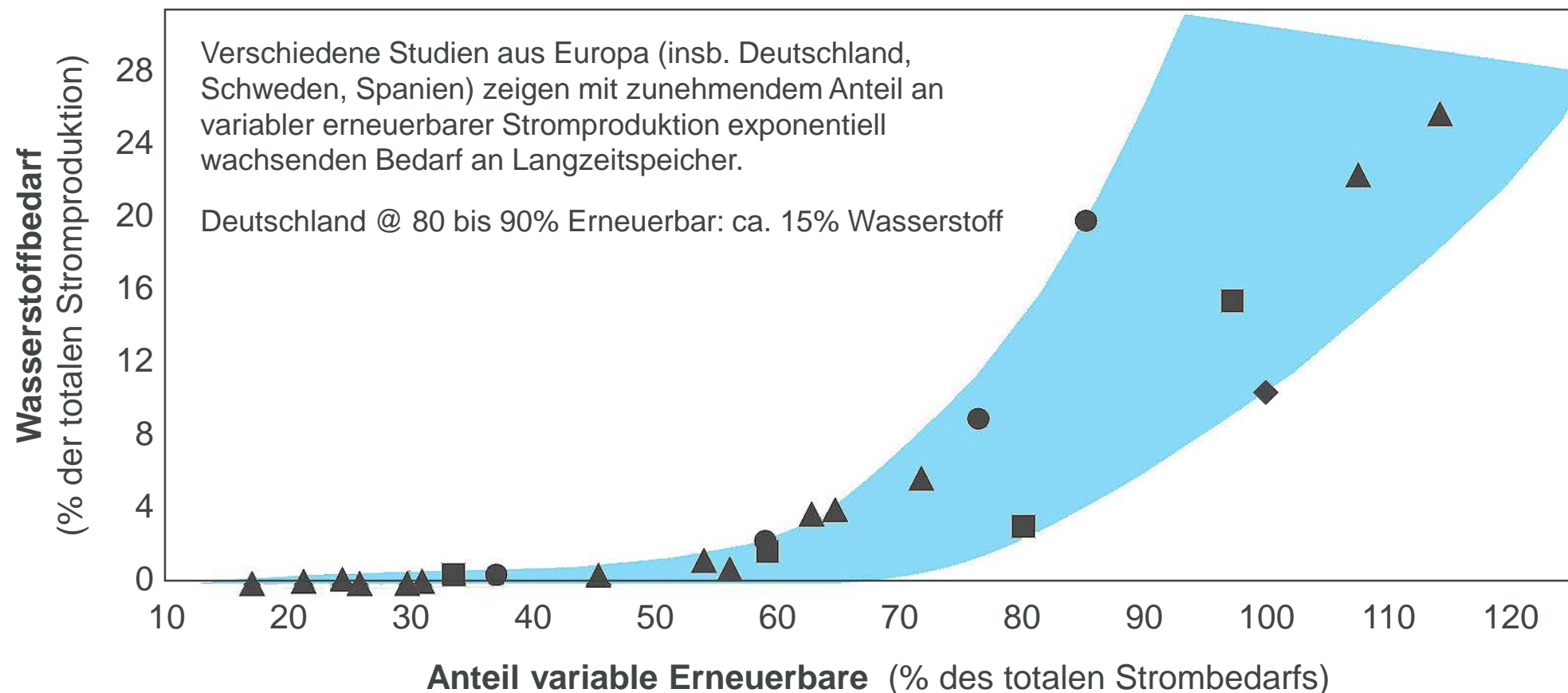
- Speicherkapazität: **230 TWh**
- 60 GW GuD: **~ 90 Tage**

Schweiz:

- Kaum Kavernen- / Porenspeicher
- National (Röhren): **90 GWh**
- Ausland (F): **1.5 TWh**
- 3 GW GuD: **~ 0.5–12 Tage**



Bedarf für Wasserstoff als Langzeitspeicher



Nach «Hydrogen scaling up: A sustainable pathway for the global energy transition», Hydrogen Council, 2017.
Originalquellen: Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, 2017; BMW; RWTH Aachen; Sterner and Stadler (2014); McKinsey



Erfahrungen mit Untergrund-H₂-Speicher

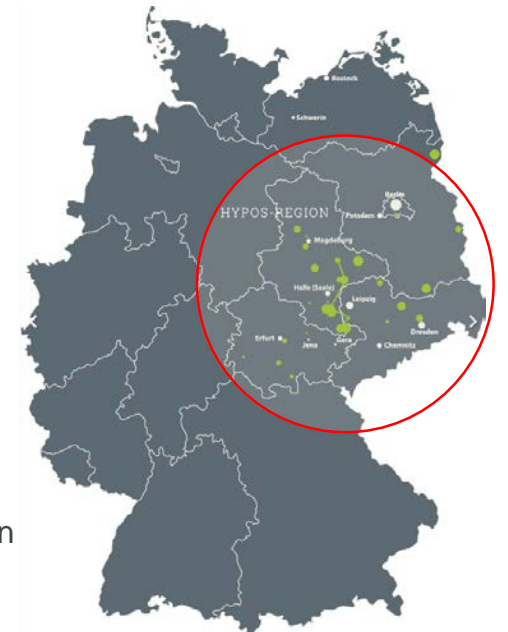
- England (Yorkshire), ICI: **95% H₂**, 1 Mio. Nm³ in 400m-Salzkavernen, während mehrere Jahre
- Frankreich (Beynes), GdF: **60% H₂** (Stadtgas), 330 Mio. Nm³ in Aquifer, 1956–1974, keine Verluste
- Russland (Raumfahrt): **100% H₂** @ 90 bar unterirdisch
- Deutschland (Kiel): **62% H₂** (Stadtgas), 0.032 Mio. Nm³ in Salzkaverne @ 80–100 bar
- Tschechien (Lobodice): **50% H₂** (Stadtgas) in Aquifer

Forschungsprojekte:

- EU-Projekt: HYUNDER (<http://hyunder.eu/>) (KBB, Shell, e-on, DEEP...)
- D: «H₂store», «HyINTEGER» (Leckagen), «HYPOS»
- A: Speicherprojekte von RAG Austria: «underground-sun-storage.at» & «underground-sun-conversion.at»



- Salzkaverne Bad Lauchstädt
- Arbeitsgasvolumen: 42 Mio. Nm³
- Speicherkapazität: 126 GWh.
- Überbrückung von Dunkelflauten von 23 Tagen
- Deckung von 7 % des täglichen Bruttostrombedarfs von Sachsen-Anhalt



Speicherprojekte in Österreich

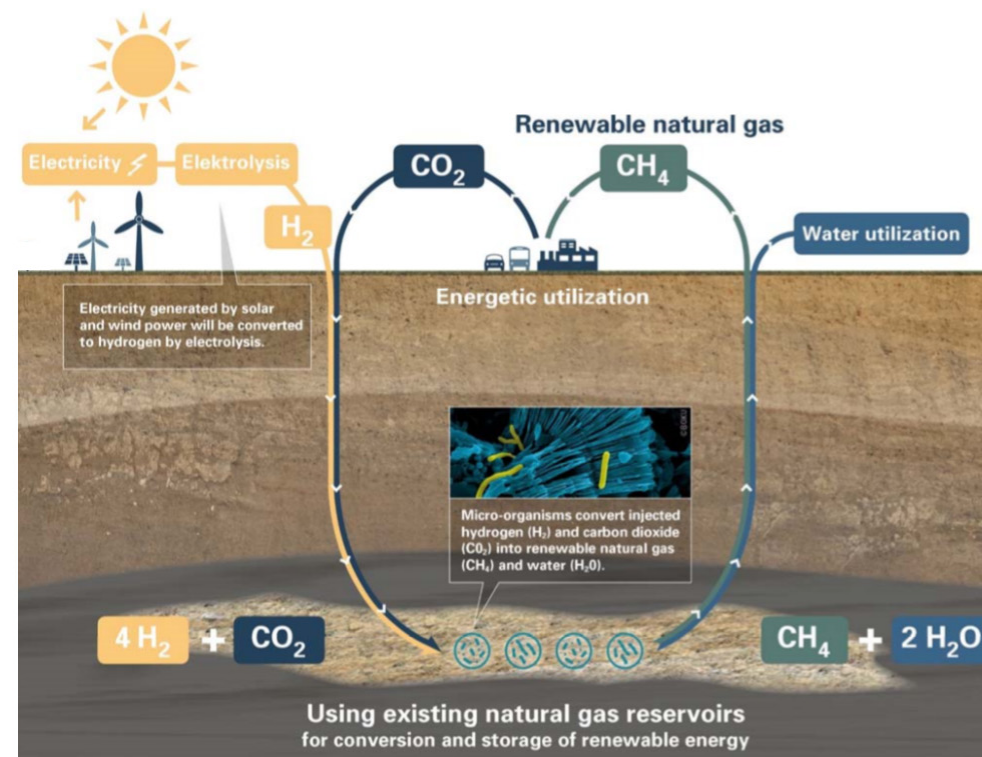
- RAG AG:
- 10 Speicheranlagen
 - Gasspeicher: 66 TWh (6 Mrd. m³),
 - Ausspeicherleistung: 30 GW

**UNDERGROUND
SUN.STORAGE**

10% H₂-Speicherung

**UNDERGROUND
SUN.CONVERSION**

Umwandlung von
Wasserstoff und CO₂ zu
Methan in Gaslagerstätten
mikrobiologischer Prozess:
«Erdgeschichte im
Zeitraffer»



<https://www.underground-sun-storage.at/>

<https://www.underground-sun-conversion.at/>



Wasserstoff als dezentraler Speicher?

Energieautarkes Solarhaus
Freiburg, ISE (1992–1995)



PV: 4.2 kW
Batterie: 20 kWh
Elektrolyse: 2 kW PEM@30bar
Speicher: **CGH2** (15 m³) / **CGO2** (7,5 m³)
1350 kWh
Brennstoffzelle: 1 kW_{el} / 1 kW_{th}
H2-Speicher/PV: 321 h
Batterie/PV: 4,8 h

Energieautarke Wohnzelle
SELF, Empa (2009–...)



PV: 3.5 kW
Batterie: 13kW / 16.5 kWh
Elektrolyse: 400 W
Speicher: **MeH** 4kg H2
133 kWh
Brennstoffzelle: 1 kW_{el} / 1 kW_{th}
H2-Speicher/PV: 38 h
Batterie/PV: 4,7 h

Energieautarkes MFH,
Brütten (2017–...)



PV: 80 + 47 kW
Batterie: 55kW / 135 kWh
Elektrolyse: 14 kW PEM@30bar
Speicher: **CGH2** (120 m³)
10 800 kWh
Brennstoffzelle: 6 kW_{el} / 5.5 kW_{th}
H2-Speicher/PV: 85 h
Batterie/PV: 1,1 h



Wasserstoff als dezentraler Speicher? Produkte & Entwicklungen:

«Picea»-System

25 kWh Batterie
2,5 kW Elektrolyse
H₂-Langzeitspeicher (CGH₂@300 bar, 1000/5 m²)
1,5 kW PEM-Brennstoffzelle
500 l Warmwasserspeicher (45 kWh)

Wirkungsgrad: 90% (total), 55–60% (elektrisch)

60 000 bis 90 000 Euro

www.homepowersolutions.de



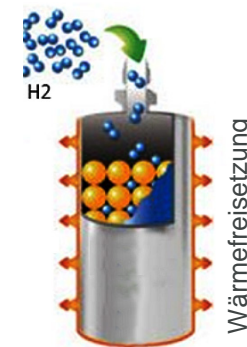
«Dash – Dense and Safe Hydrogen» (in Entwicklung)

Elektrolyse: 5 kW
Speicherkapazität: 1 MWh (25 kg H₂)
(Metallhydridspeicher)
Brennstoffzelle: 100 kW

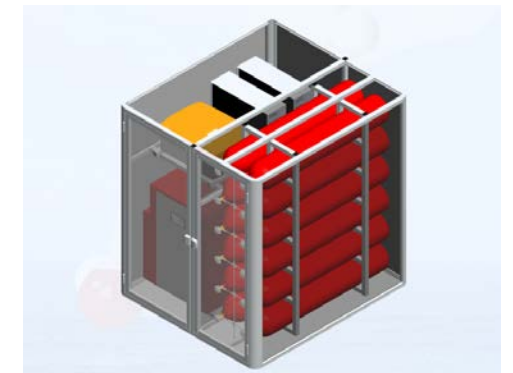


<https://www.grz-technologies.com>

H₂-Laden
@ 5 bar



H₂-Entladen
@ 5–200 bar





Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFEN
Ufficio federale dell'energia UFE
Ufficio federal d'energia UFF



*Schweizer Erfinder
Francois Isaac de Rivaz (1752-1828):
Patentierter Explosionsmotor mit Wasserstoff (1805)*

Kontakt:

Dr. Stefan Oberholzer
Bundesamt für Energie
CH-300 Bern
stefan.oberholzer@bfe.admin.ch