



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFEN
Ufficio federale dell'energia UFE
Swiss Federal Office of Energy SFOE

Wasserstoff in der Schweiz – Update aus dem BFE

BFE-Forschungsprogramm H₂ und Brennstoffzellen



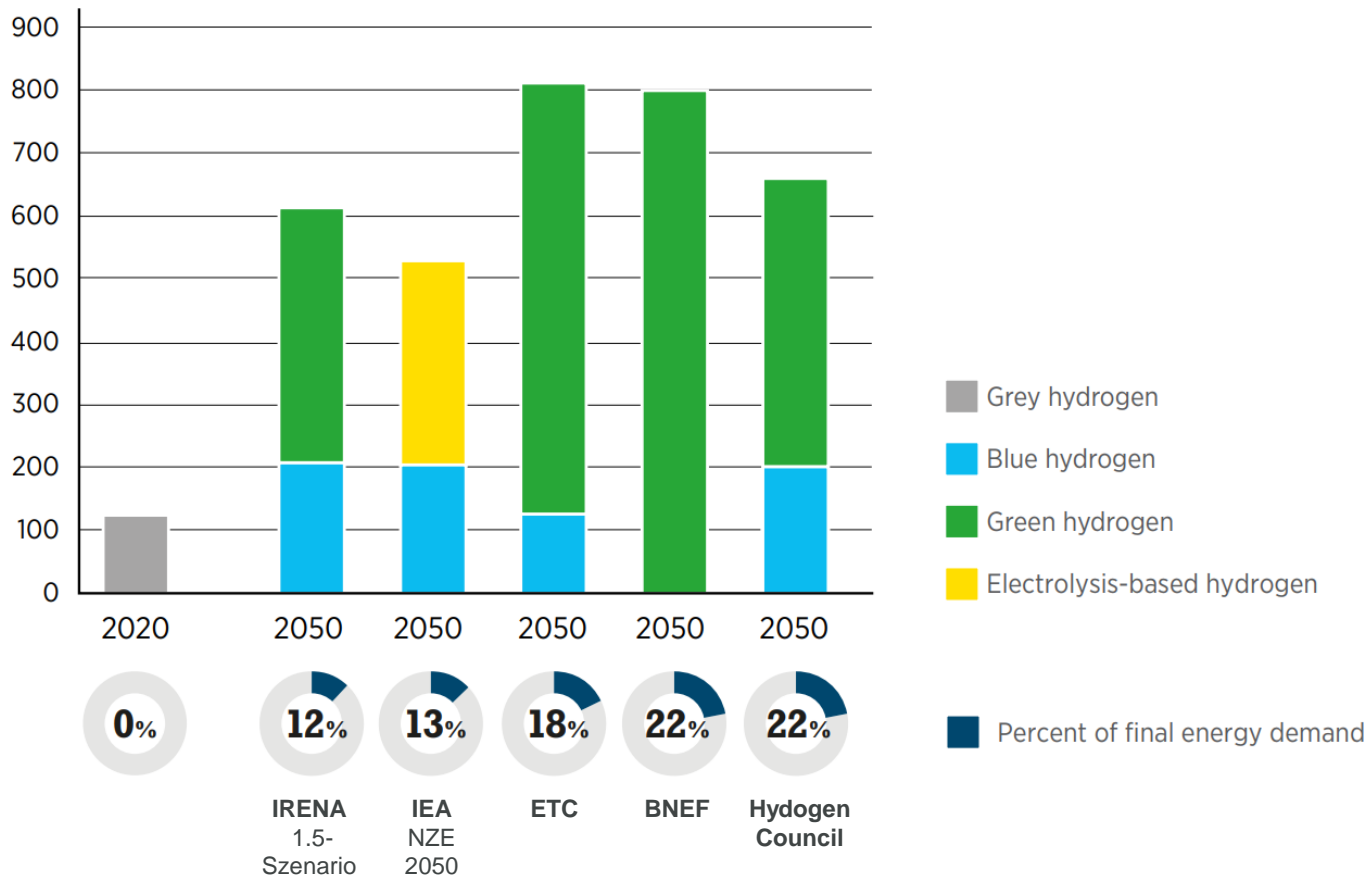
Inhalt

- Wasserstoff global
- Rolle von Wasserstoff im Schweizer Energiesystem
- Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in der Schweiz



Weltweiter Wasserstoffbedarf 2050

Hydrogen production (Million tonnes)



Verschiedene Szenarien:

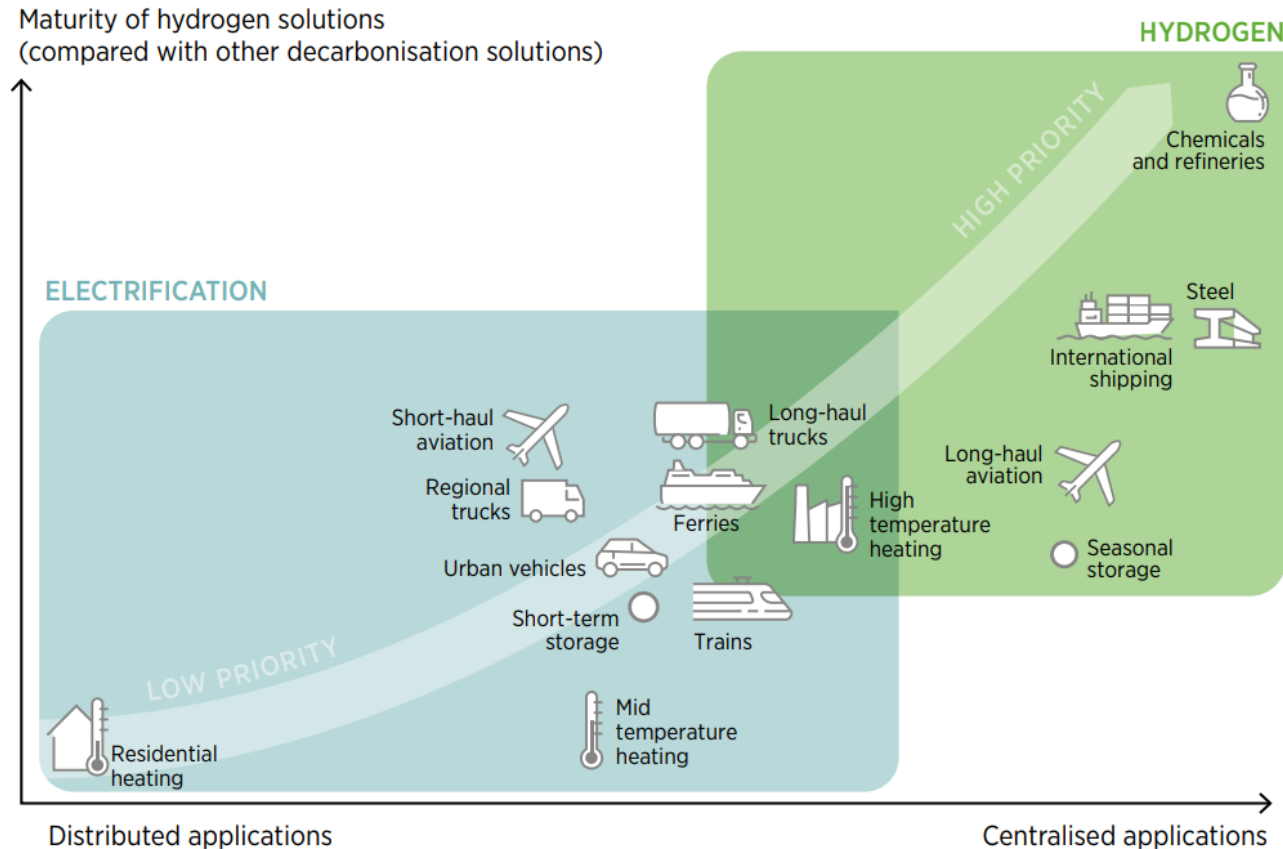
Global werden Wasserstoff und wasserstoffbasierte Energieträger einen beträchtlichen Anteil (12 bis 22%) des Endenergiebedarfs ausmachen.

Geopolitics of the Energy Transformation, The Hydrogen Factor, IRENA (2022)

IRENA 1.5-Szenario: World-Energy-Transitions-Outlook, 2021
 IEA NZE 2050: Net Zero Emissions by 2050 Scenario, 2021
 ETC: Energy Transition Commission, 2021
 BNEF: Bloomberg New Energy Finance, 2021
 Hydrogen Council: Hydrogen Council, Hydrogen for Net Zero, 2021



Wo braucht es Wasserstoff?



Elektrifizierung als Strategie zur Verringerung energiebedingter CO₂-Emissionen (IEA NZE 2050).

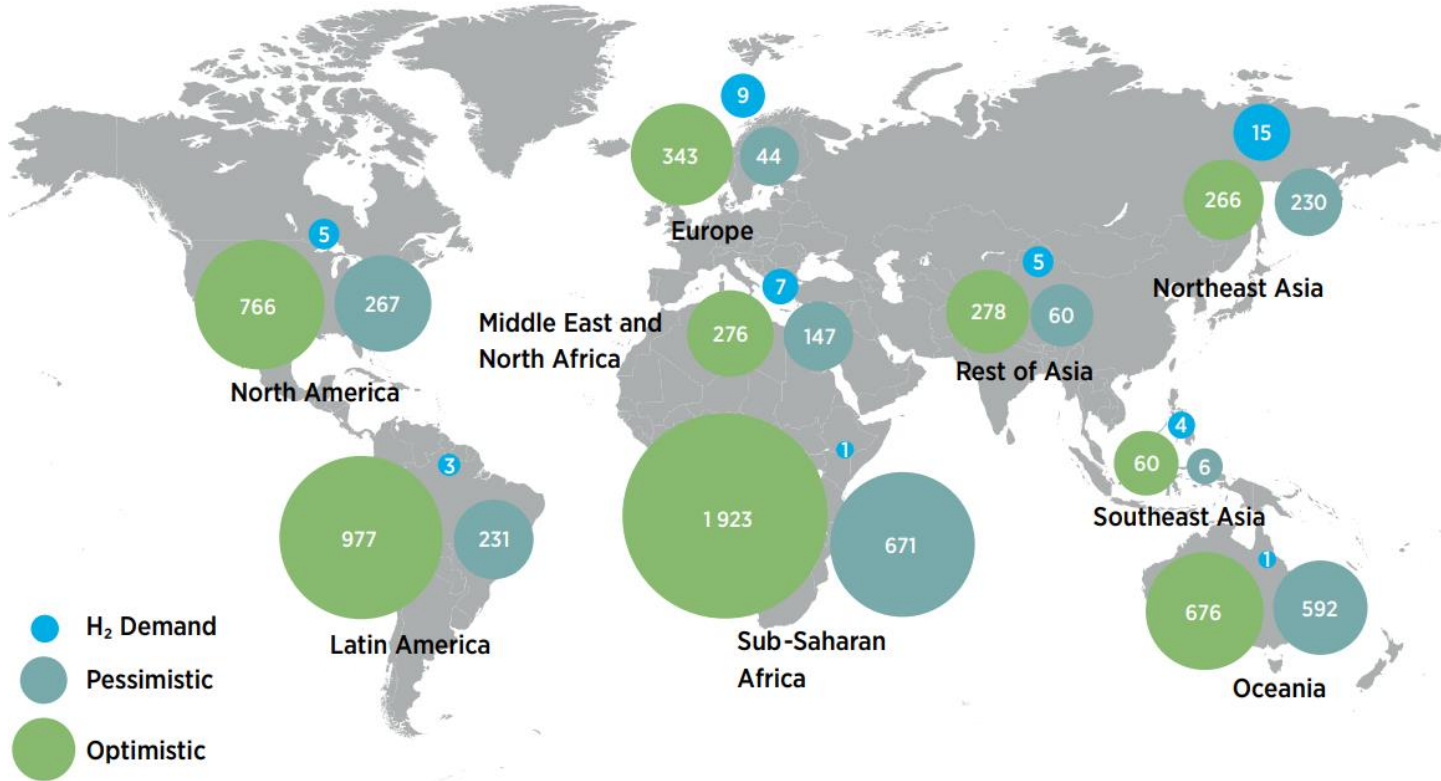
Einsatz von Wasserstoff (auf Wasserstoff basierender Energieträger) benötigt viel an Energie zur Produktion, Transport und Umwandlung.

→ Wasserstoff dort, wo der beste Gesamtnutzen erzielt wird und es keine Alternativen gibt.



Potential von grünem H2 und Bedarf in 2050

IRENA-Studie 2022



Grosses Potenzial für grüne Wasserstoffproduktion zu Gesteungskosten (LCOH) < 2 Dollar pro kg (0.06 \$/kWh).

Global kann die Nachfrage abgedeckt werden, viele Länder/Regionen haben einen Importbedarf.

Gesamtbedarf: 74 EJ = 20'555 TWh (12% des Endenergiebedarfs), 2/3 für Chemie (Ammoniak) und Transport, 1/3 für Energie.

Geopolitics of the Energy Transformation, The Hydrogen Factor, IRENA (2022)

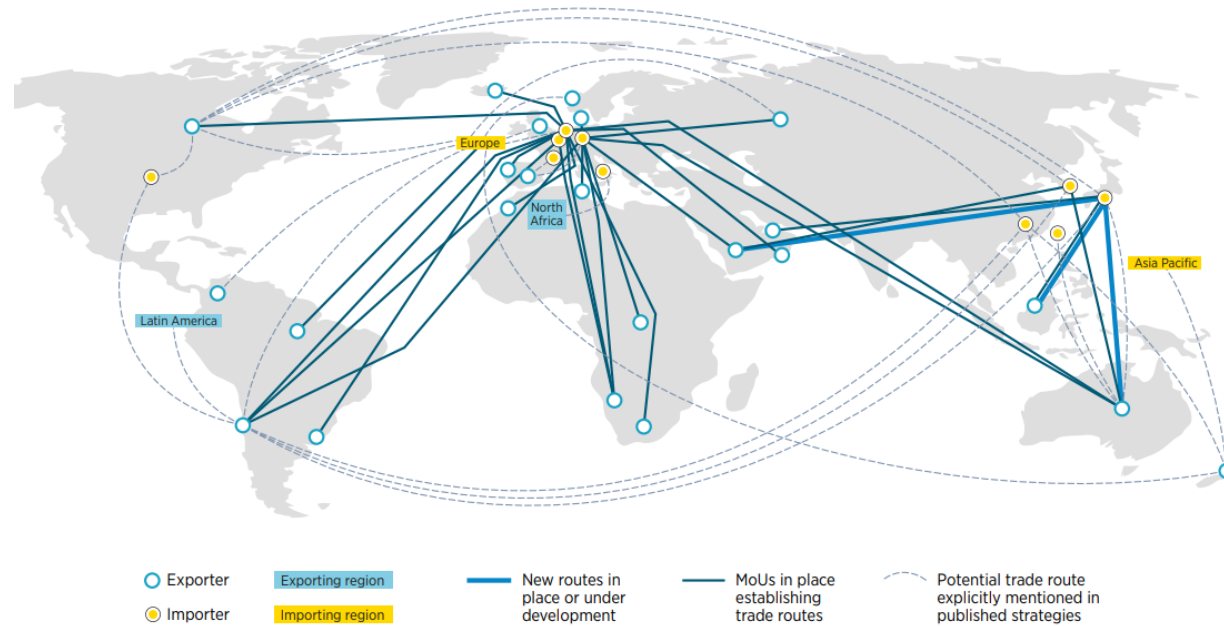


Globaler Wasserstoffhandel

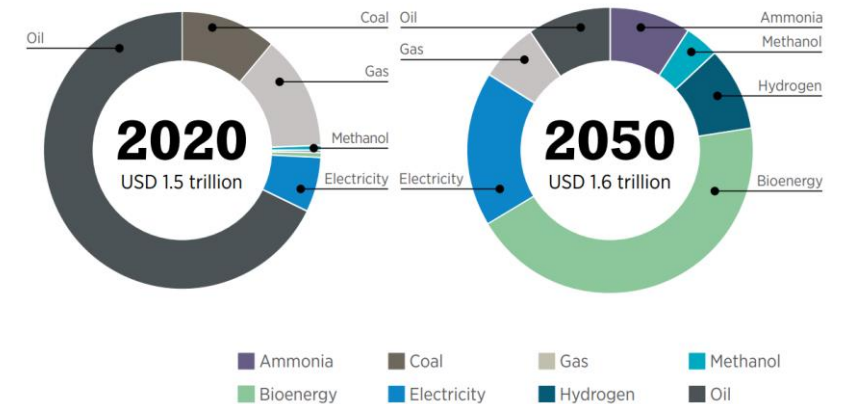
IRENA-Studie 2022

1/3 des Wasserstoffs wird länderübergreifend gehandelt.

50% wird über Pipelines transportiert, 50% mit Schiffen (Ammoniak). Gas heute: 48% Pipelines, 52% LNG



Veränderungen im Handelswert von Energierohstoffen:

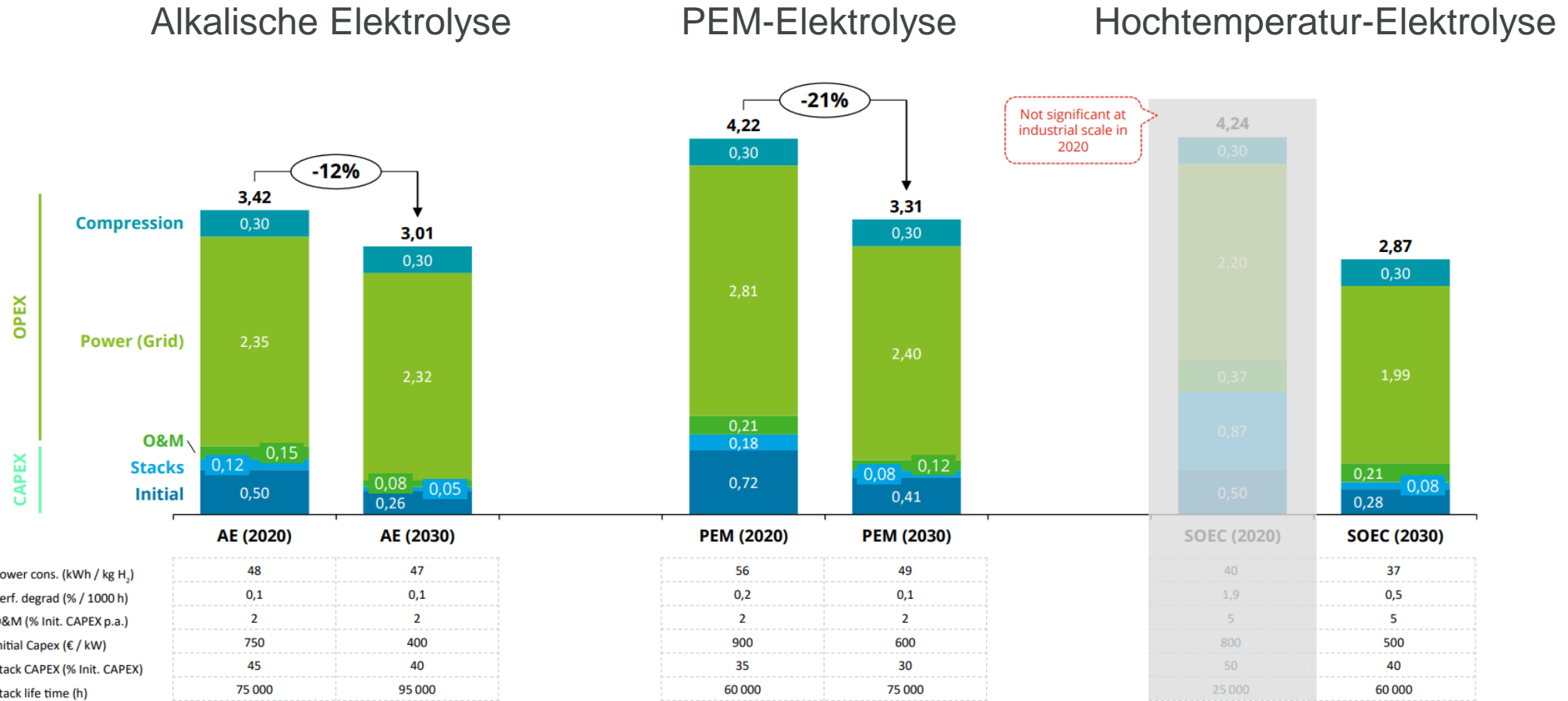


Geopolitics of the Energy Transformation, The Hydrogen Factor, IRENA (2022)



Gestehungskosten für Wasserstoff (LCOH)

Günstiger Strom ist entscheidend

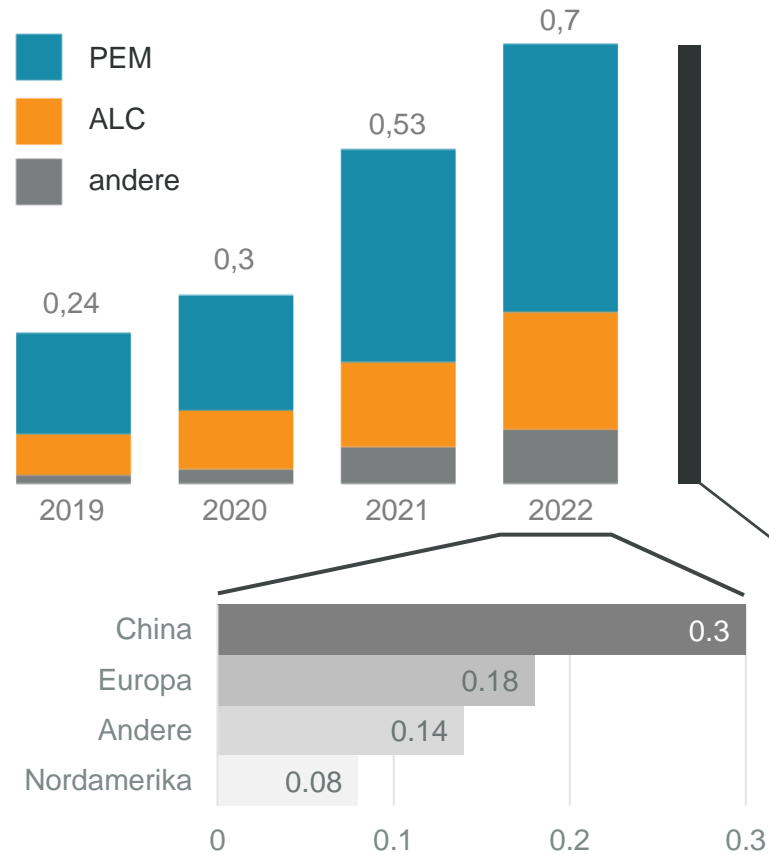


Sources: IEA, IRENA, ICCT, Tampere University, DOE Hydrogen & Fuel Cell Program, Store & Go Program; Flex CHX Program, Offshore Wind Industry Council, FuelCell Energy, Imperial College of London, Hydrogen Council, NREL, Monitor Deloitte analysis



Globaler Elektrolysemarkt

Kumulierte Elektrolysekapazität (GW):



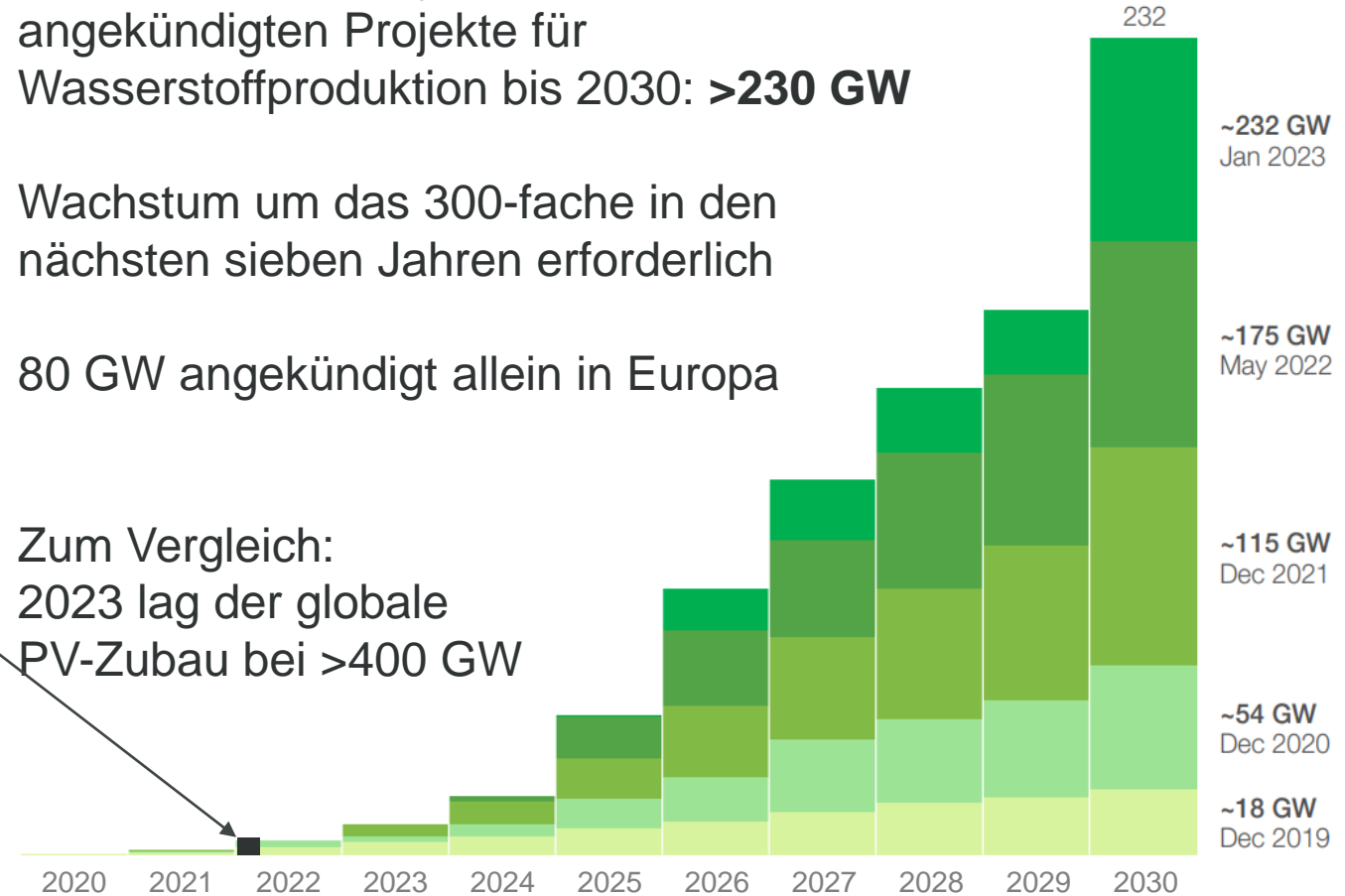
<https://hydrogencouncil.com/>

Kumulierte Elektrolysekapazität aller angekündigten Projekte für Wasserstoffproduktion bis 2030: **>230 GW**

Wachstum um das 300-fache in den nächsten sieben Jahren erforderlich

80 GW angekündigt allein in Europa

Zum Vergleich:
2023 lag der globale PV-Zubau bei >400 GW





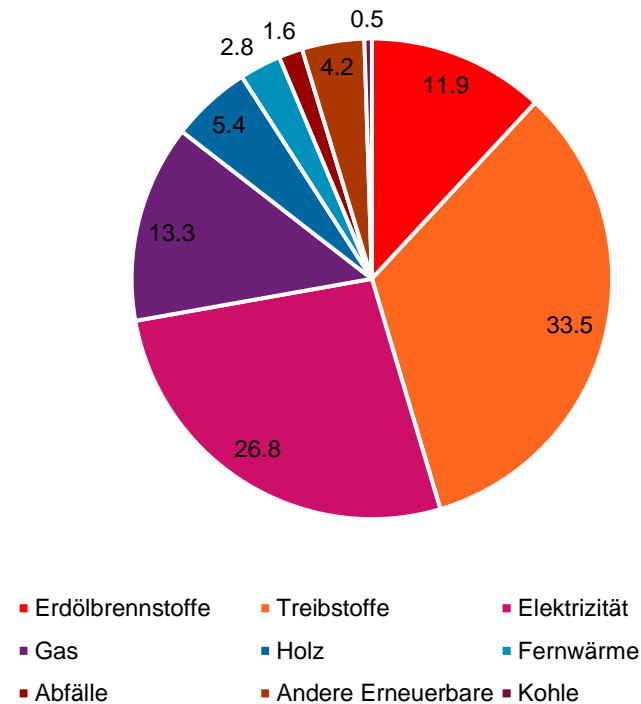
Inhalt

- Wasserstoff global
- **Rolle von Wasserstoff im Schweizer Energiesystem**
- Forschung- und Entwicklungsaktivitäten in der Schweiz

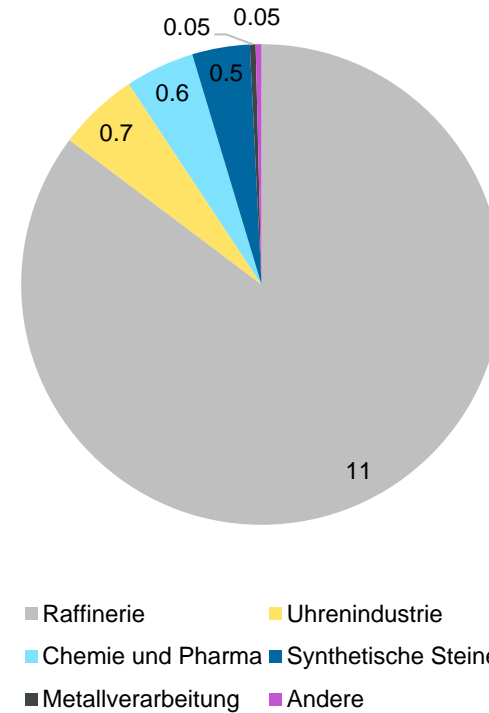


Rolle von Wasserstoff im heutigen Schweizer Energiesystem

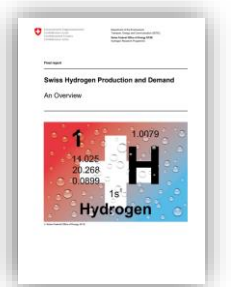
Endverbrauch nach Energieträgern 2022:



Stoffliche Nutzung von Wasserstoff (2018):



rund 13'000 Tonnen



Swiss Hydrogen Production and Demand, BFE 2018
<https://www.aramis.admin.ch/Default?DocumentID=46495>



Rolle von Wasserstoff im heutigen Schweizer Energiesystem: Mobilität



50 Brennstoffzellen-LKWs
auf Schweizer Strassen

Mehr als 9.5 Mio. gefahrene km

7500 tCO₂ eingespart

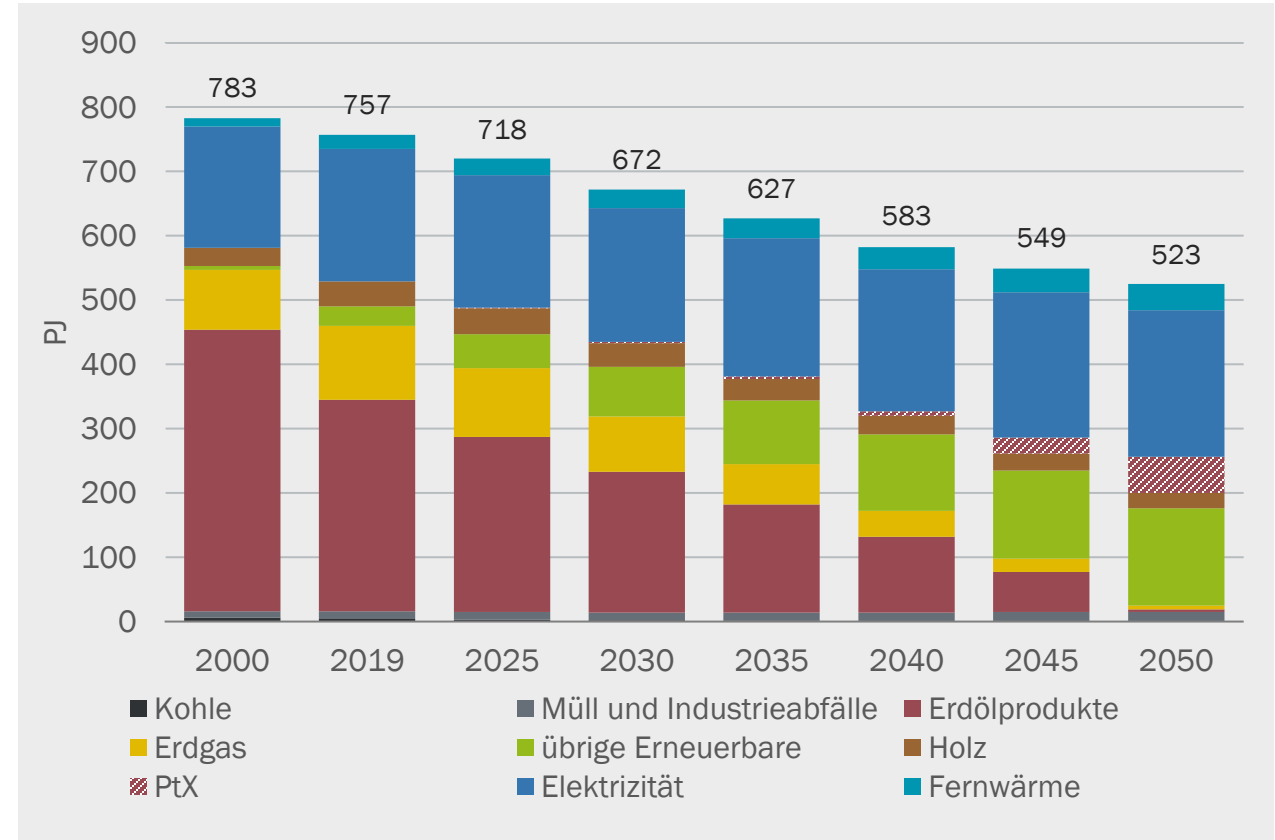
17 H₂-WTankstellen in Betrieb
<https://h2mobilitaet.ch/tankstellen>





Energieperspektiven 2050+ und Netto-Null-Emissionsziel 2050

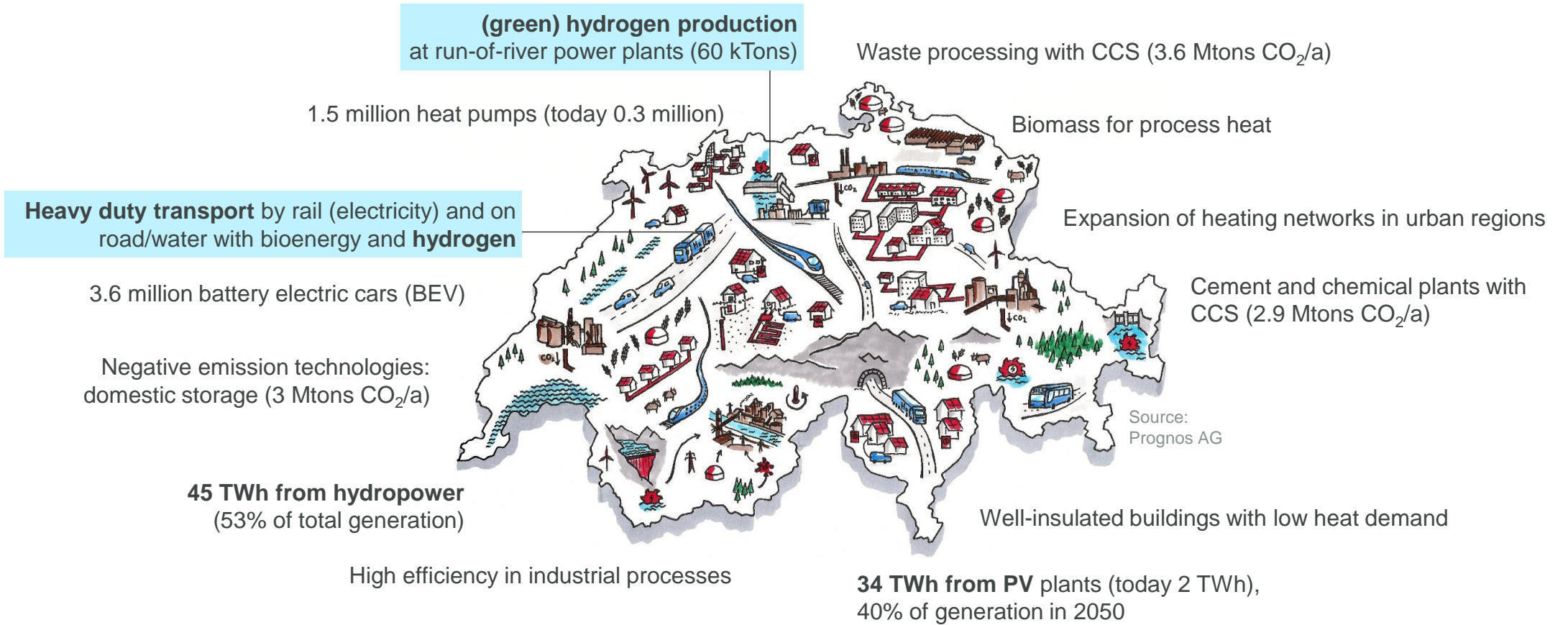
- Fast vollständige Vermeidung von fossilen Energieträgern
- Strom wird zum zentralen Energieträger für Gebäude (Wärme) und Mobilität.
- Inländischen Potenziale für erneuerbare Energieproduktion nutzen
- Fernwärme
- **Strombasierte Energieträger** zur Zielerreichung notwendig.



<https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/politik/energieperspektiven-2050-plus.html>



Energieperspektiven 2050+



<https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/politik/energieperspektiven-2050-plus.html>



Auslegeordnung Wasserstoff:

Bericht zum Postulat 20.4709 Candinas

Nachfrage?

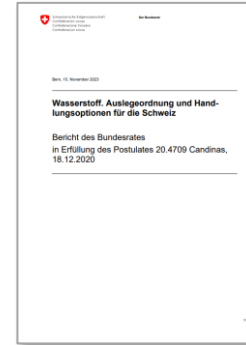
Produktion ?

Transport?

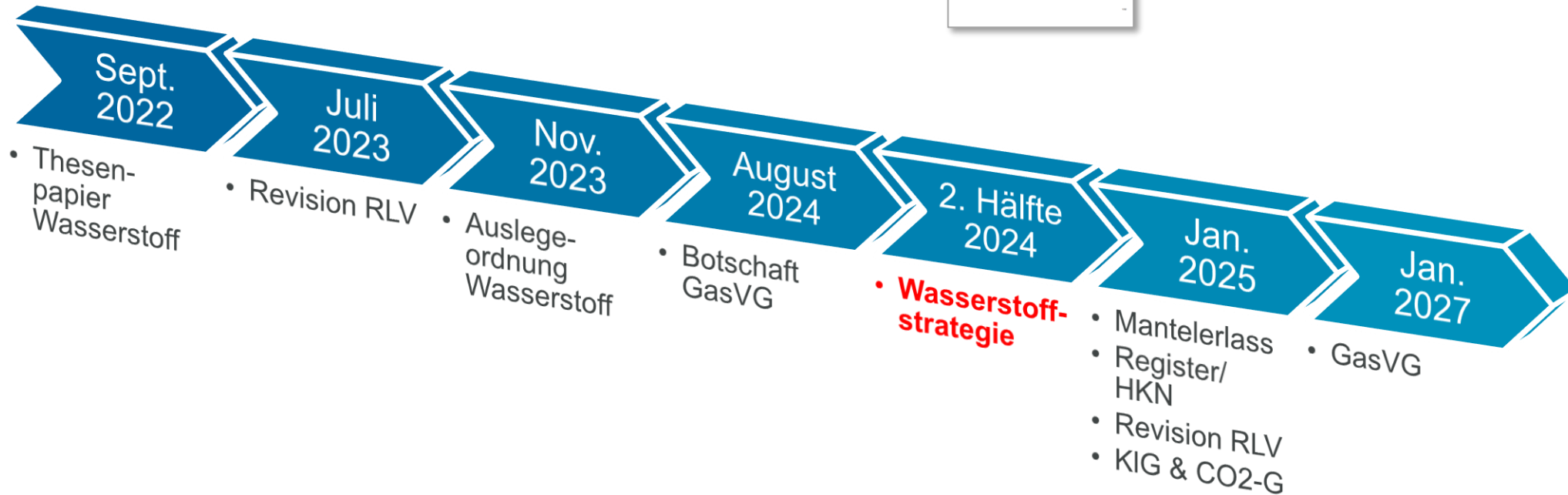
Import?

Speicherung?

Rahmenbedingungen?



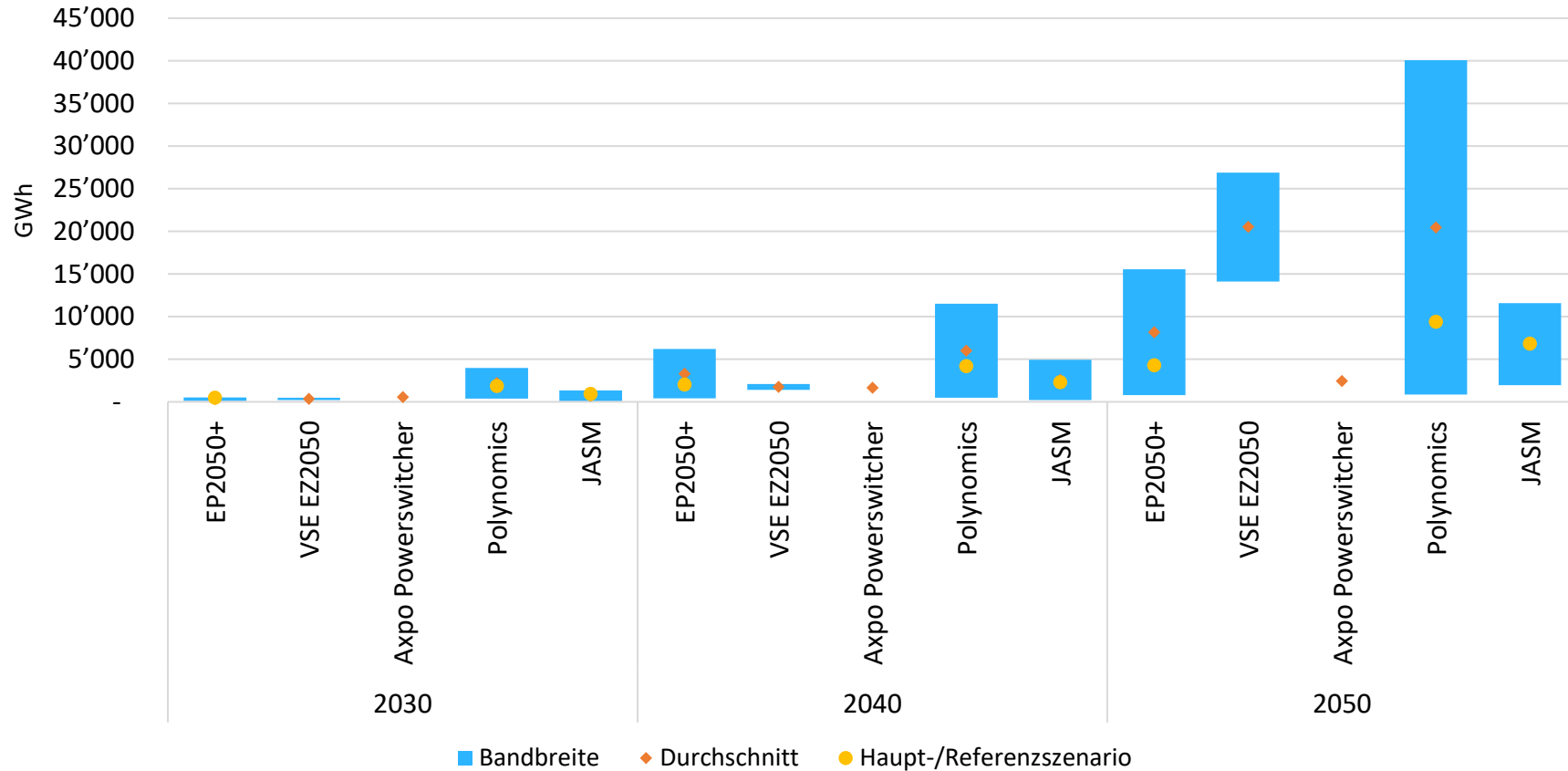
www.bfe.admin.ch/wasserstoff





H2-Bedarf in der Schweiz?

Verschiedene Studien mit ein paar wenigen bis 40 TWh

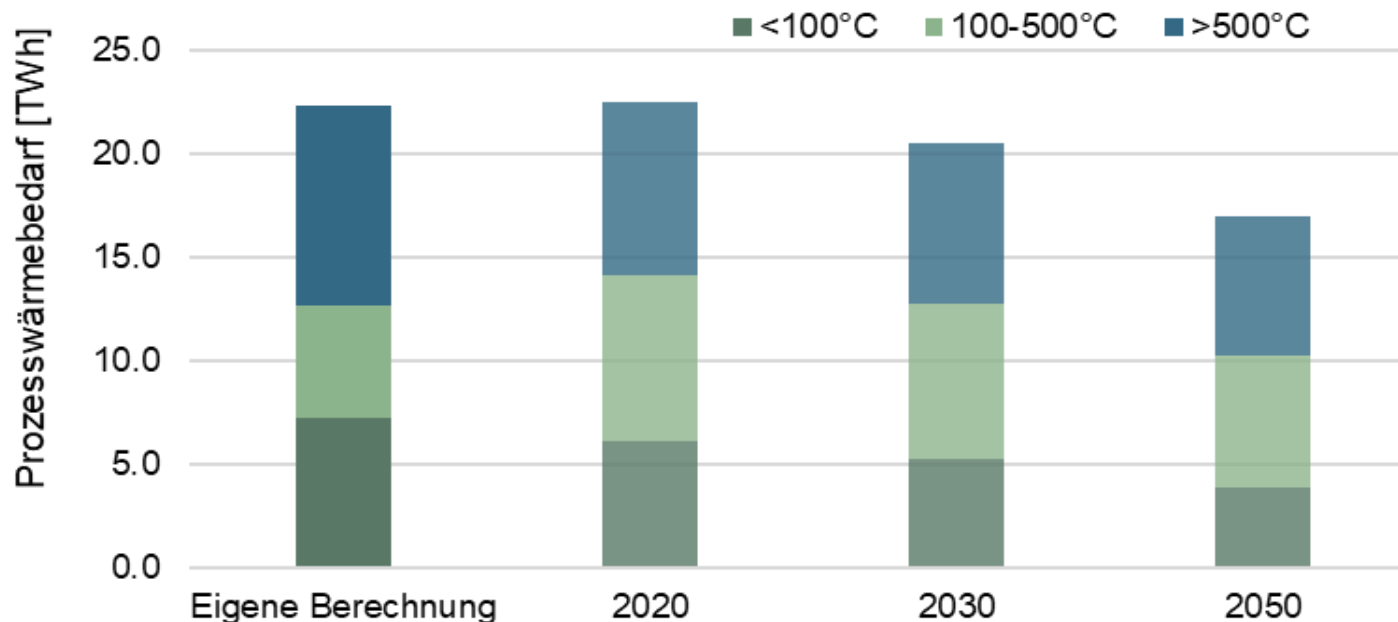




Nachfrage in der Schweizer Industrie: Stoffliche Nutzung, Hochtemperaturbereich

H2 als Prozessgas: 0.4 TWh (konstant)

Prozesswärmebedarf 2050 bei 17 TWh, davon 9.5 TWh fossil. Je nach Temperaturniveau, Elektrifizierung möglich (WP). Möglicher H2-Bedarf 2050 in Abhängigkeit vom Anteil alternativer Brennstoffe für HT-Anwendungen im Bereich **2 bis 5 TWh**.

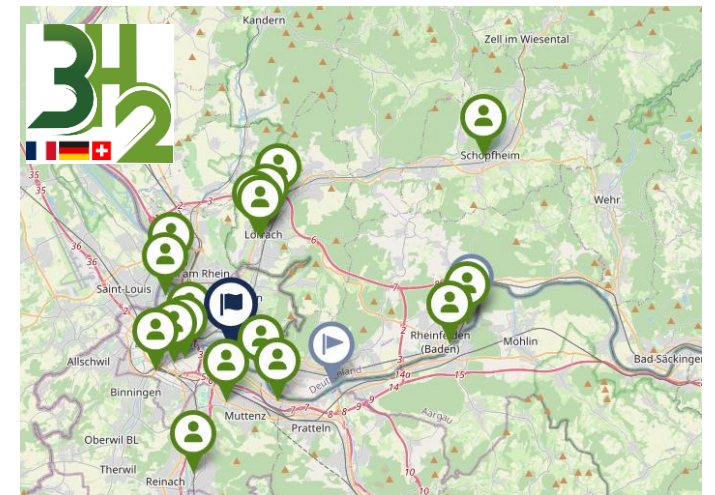
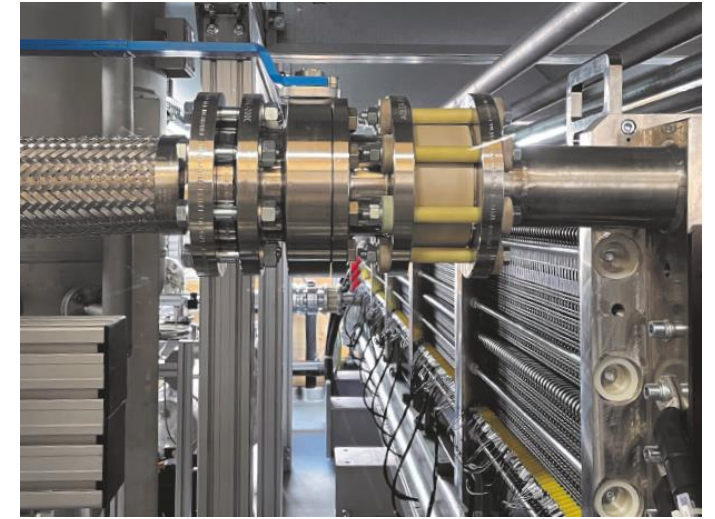


BFE-Projekt SI/502635-01, Schlussbericht
<https://www.aramis.admin.ch/Dokument.aspx?DocumentID=71484>



Produktion

- Voraussichtlich direkt bei Stromproduktionsanlagen wie **Laufwasserkraftwerken** oder **Kehrichtverbrennungsanlagen**, um Netzentgelte einzusparen. Ausbau der erneuerbaren Stromproduktion ist Voraussetzung für einen Heimmarkt.
- Produktion **geographisch nahe bei den Abnehmern**.
- Mittelfristig: **heimische Produktion in Hubs**
- **Mengengerüst** von der **Industrie**.
- Längerfristig: Zugang zum **europäischen Wasserstoffnetz**. Grösserer Bedarf wird mit **Import** abgedeckt.

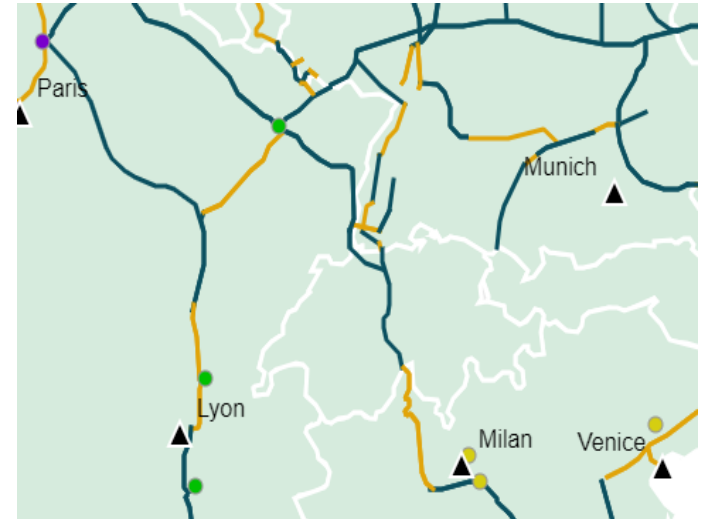


<https://3h2.info/>

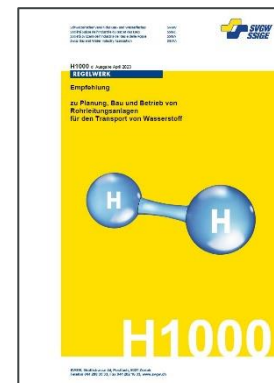


Transport / Import

- Transportinfrastruktur stark abhängig vom Bedarf
- Ausweitung der Rohrleitungsgesetzgebung auf Wasserstoff
- Arbeitsgruppe zur Netzplanung (Cluster, lokale Netze, Raumplanung)
- Umwidmung/Ausbau der Transitgasleitung auf Wasserstoff



<https://ehb.eu/>



BFE-Projekt Machbarkeitsstudie für H2-Leitung
<https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=48826>



Speicherung

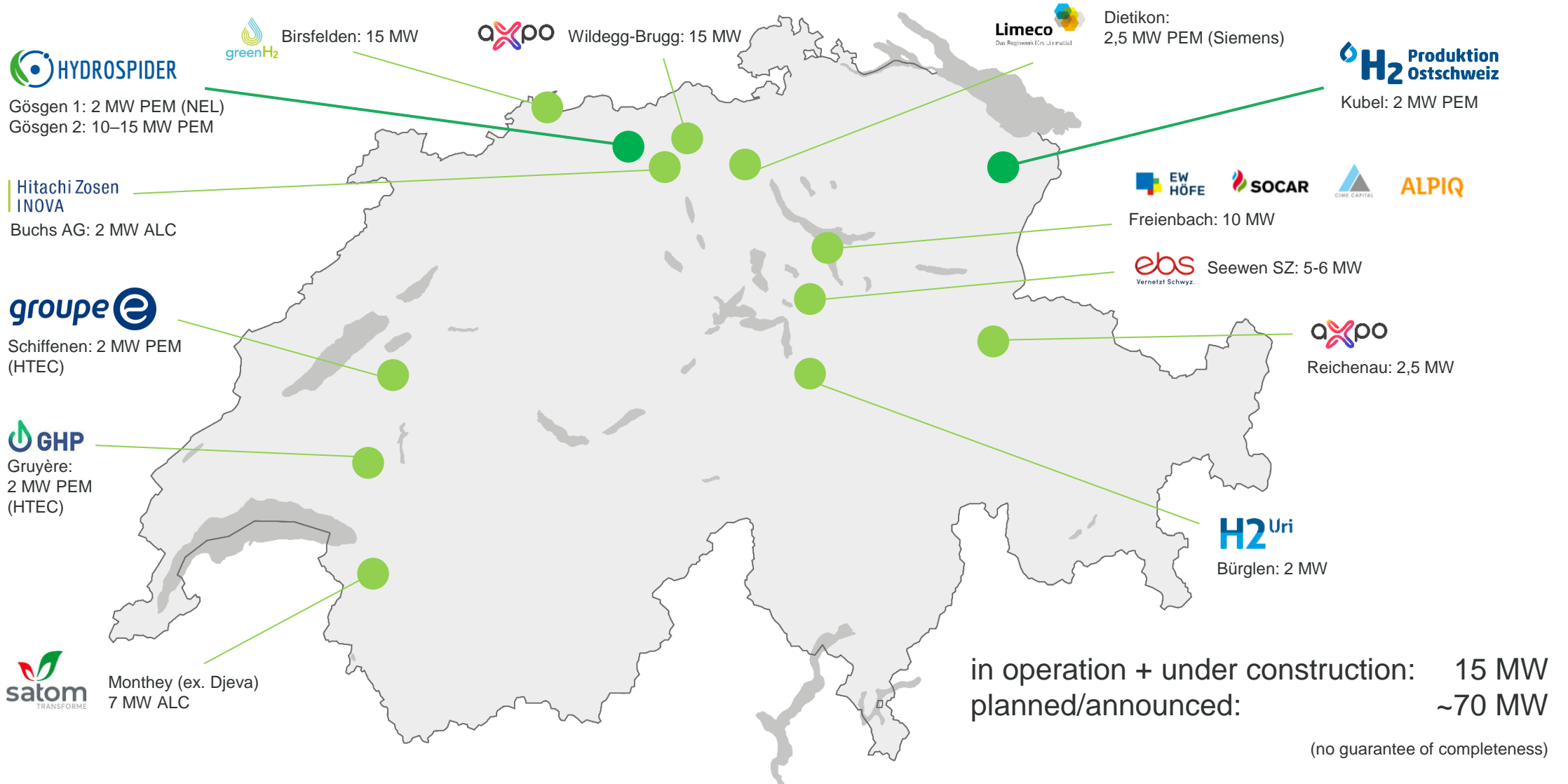
- Untergrund erkunden
- Wasserstoff und PtX als saisonale Speicher?
- Speicherung in Kavernen? LOHC?
- Umwandlung in flüssige synthetische Energieträger?
- Speicherung im Ausland?



Bsp. BFE-Projekt "LOHC-CH – Reconversion study of the Collombey refinery: Opportunity for liquid organic hydrogen carriers (LOHC)"
<https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=47007>



Grüne Wasserstoffproduktion heute





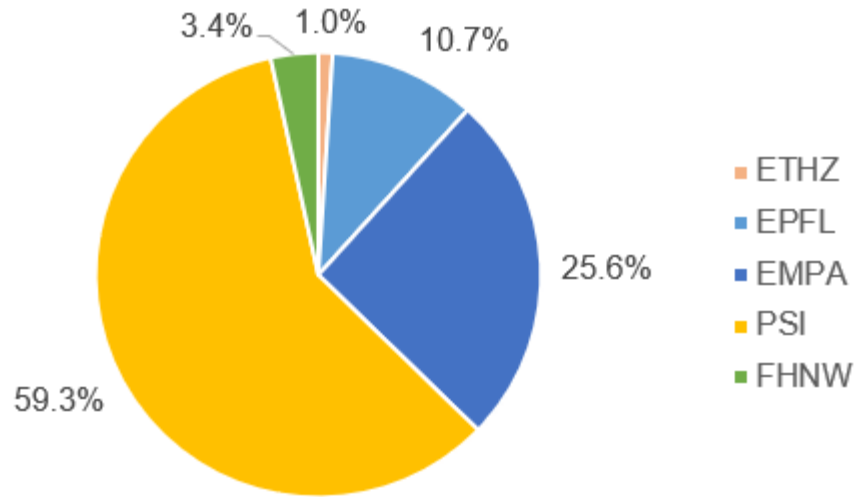
Inhalt

- Wasserstoff global
- Rolle von Wasserstoff im Schweizer Energiesystem
- **Forschung- und Entwicklungsaktivitäten in der Schweiz**

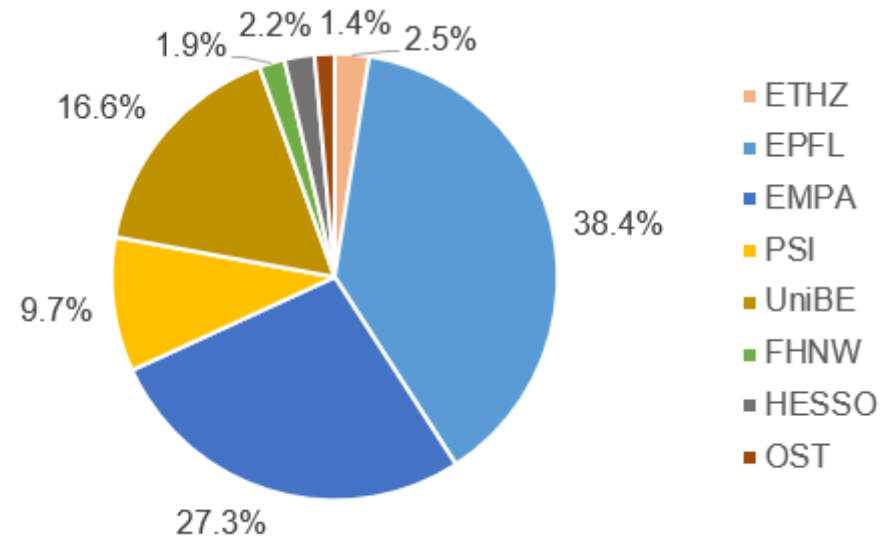


Forschungsförderung im Wasserstoffbereich

Brennstoffzellen: CHF 10.5 Mio/Jahr



Wasserstoff: CHF 11.4 Mio/Jahr



Ein grosser Teil der Forschung in diesem Bereich erfolgt im ETH-Bereich (PSI, Empa, EPF Lausanne und ETH Zürich).



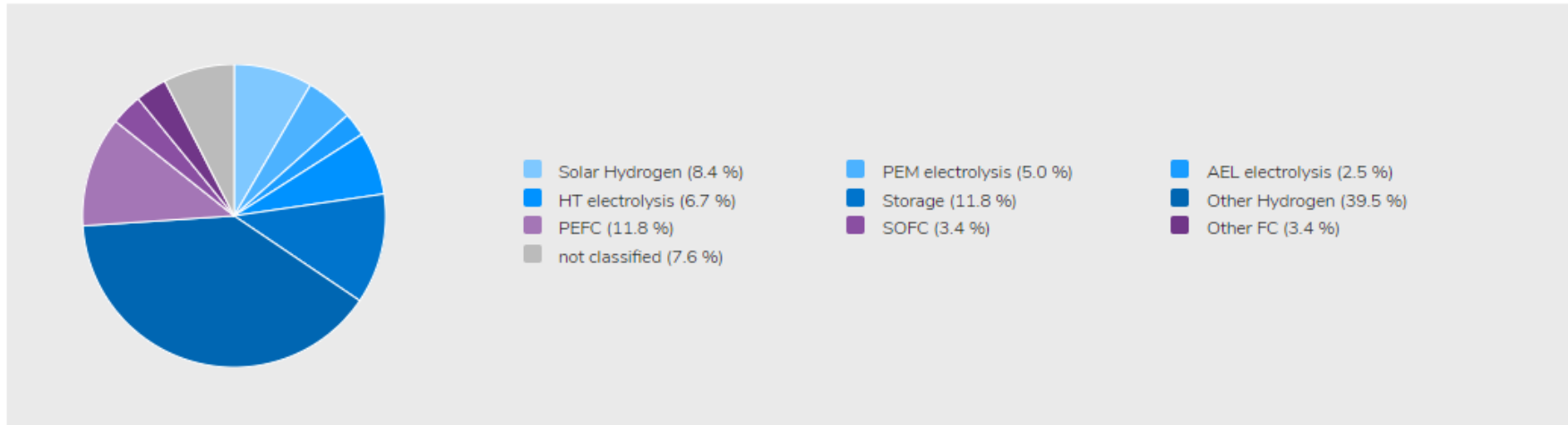
H2- und Brennstoffzellenprojekte in der Schweiz



Wasserstoff- und Brennstoffzellenprojekte

Volltextsuche Alle Projekte Laufende Projekte Mit Schlussbericht

In der Schweiz laufen im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellenforschung aktuell **103 Projekte** in verschiedenen Technologiebereichen. Auf das Kreisdiagramm klicken, um die entsprechenden Projekte aufzulisten.

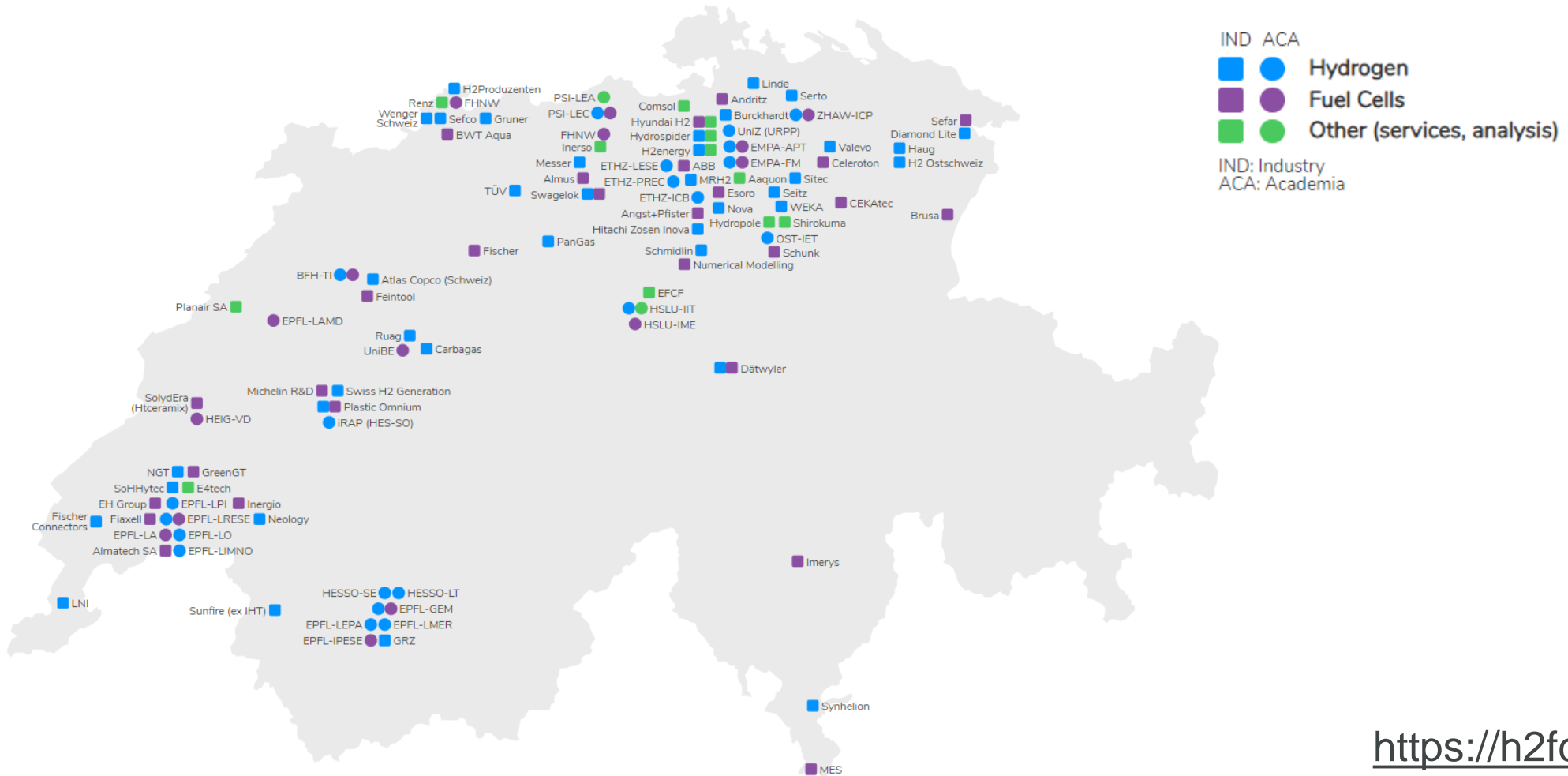


Solar Hydrogen: Photoelektrochemische (PEC) und solarthermische Wasserspaltung, PEM electrolysis: Polymerelektrolytmembran-Elektrolyse, AEL electrolysis: Alkalische Elektrolyse, HT electrolysis: Hochtemperatur-(Dampf)-Elektrolyse, Storage: Wasserstoffspeicherung, Other Hydrogen: Andere Wasserstoff, PEFC: Protonenaustauschmembran-Brennstoffzelle (PEM), SOFC: Festoxid-Brennstoffzelle, Other FC: Andere Brennstoffzellentechnologien

<https://h2fc.ch/projects>



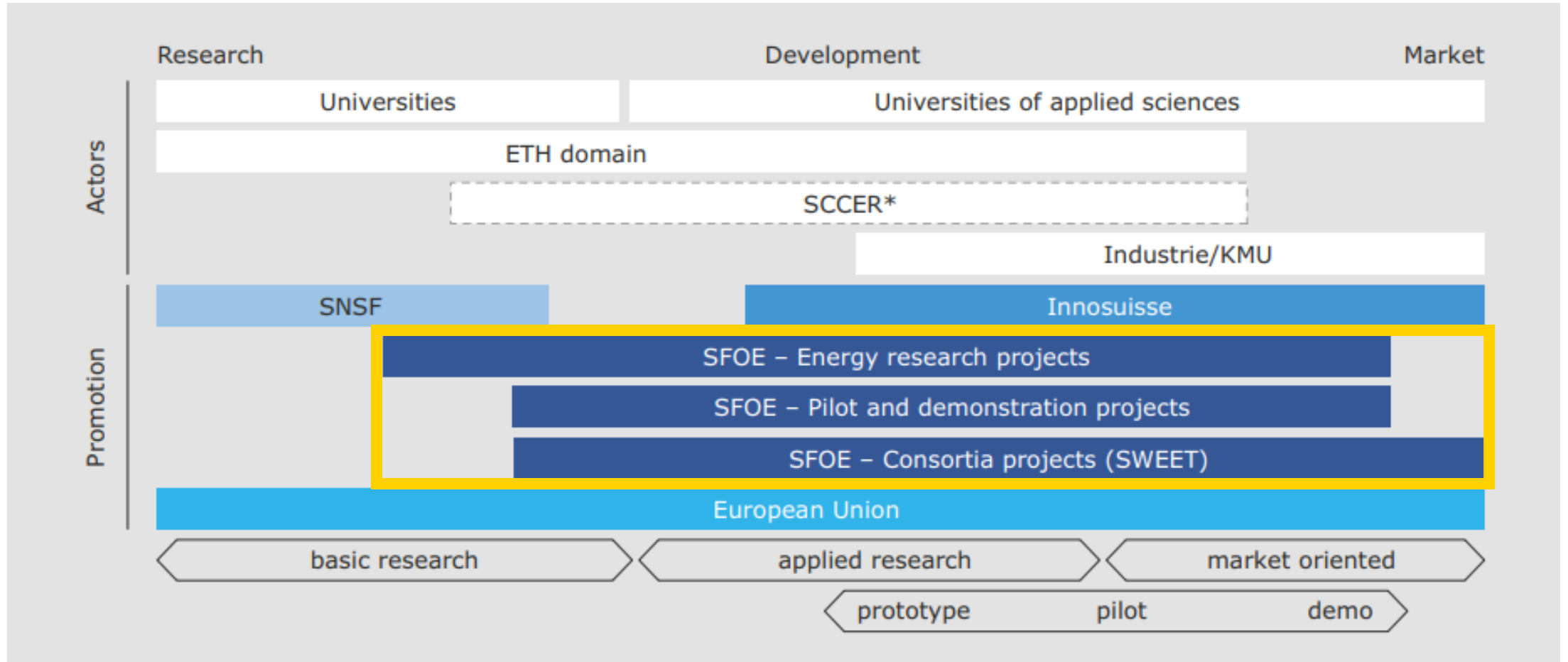
Schweizer Akteure im Bereich H2 und Brennstoffzellen: «Who is who»



<https://h2fc.ch/actors>



BFE-Unterstützung in Forschung und Innovation





Elektrolyseentwicklung (in der Schweiz)

- um 1800 elektrolytische Wasserspaltung (J. Ritter, W. Nicholson, A. Carlisle)
- 1900 Oerlikon entwickelt erste bipolare Elektrolyseur (bis 1929 mehr als 400 Systeme)
- 1951 erste kommerzielle 30-bar alkalische Druckelektrolyseure (Lurgi, IHT)



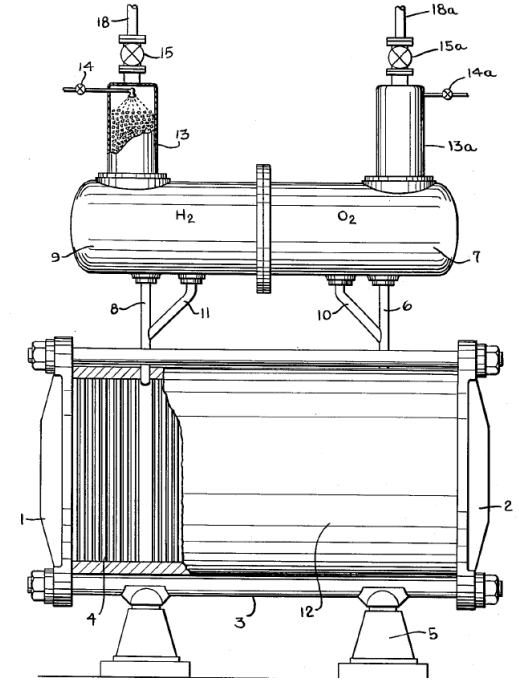
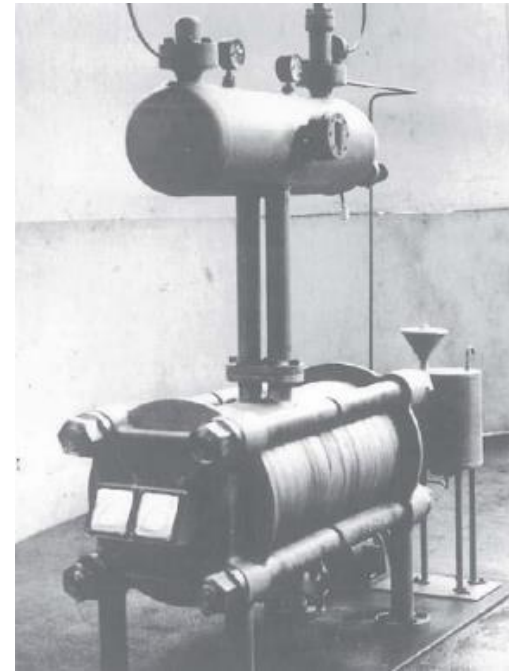
United States Patent Office 2,739,936
 Patented Mar. 27, 1956

1

2,739,936
WATER ELECTROLYZER
 Ewald A. Zdansky, Monthey, Switzerland

2

5 by enclosing the entire electrolyzer assembly in a pressure-tight casing or tank, or preferably, by the likewise known construction of pressure-tight individual cells. A further essential condition has been found to be that the usual asbestos diaphragm separating the anode space from the cathode space should be carefully supported on either side, since the asbestos is to some degree weakened in its





Hoch effiziente alkalische Druckelektrolyseure aus Schweizer Produktion



Peru (1965) 5,200 Nm³/h H₂ 7 x 3.5 MW – 25MW



Zimbabwe (1975) 21,000 Nm³/h H₂ , 28 x 3.5 MW – 100MW

Quelle: IHT



Hocheffiziente alkalische Druckelektrolyseure

2021: Übernahme des Schweizer Elektrolyseurherstellers IHT durch die deutsche Firma Sunfire



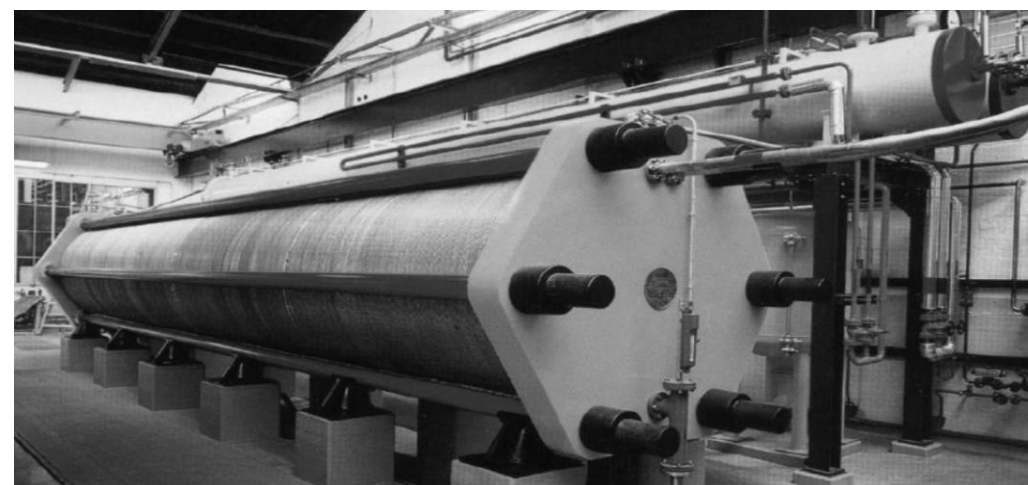
SUNFIRE-HYLINK ALKALINE

EU-Projekt Demo4Grid: neuer 3.2 MW alkalischer Elektrolyseur, 2021
(<https://www.demo4grid.eu>)

Source: Sunfire



760 Nm³/h @ 32 bar
4,3 kWh/Nm³
6,6 MW installed





Forschung PEM-Elektrolyse

Material development for more efficient current collectors

BFE-Projekt: PEEC-LOSSES – Reduktion der Transportverluste in Polymerelektrolyt-Elektrolyse Zellen

Availability of iridium as a critical factor
Iridium demand must be reduced
Basic understanding of the role of iridium as a catalyst
in PEM electrolysers

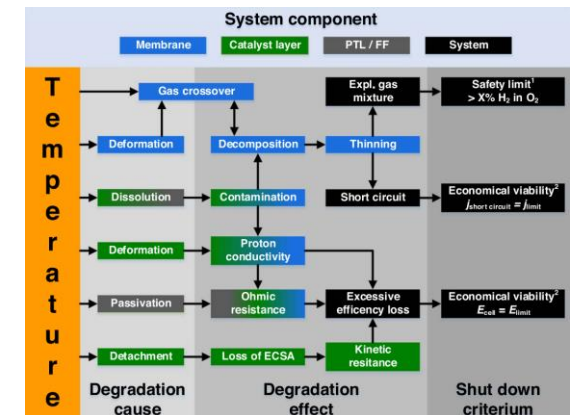
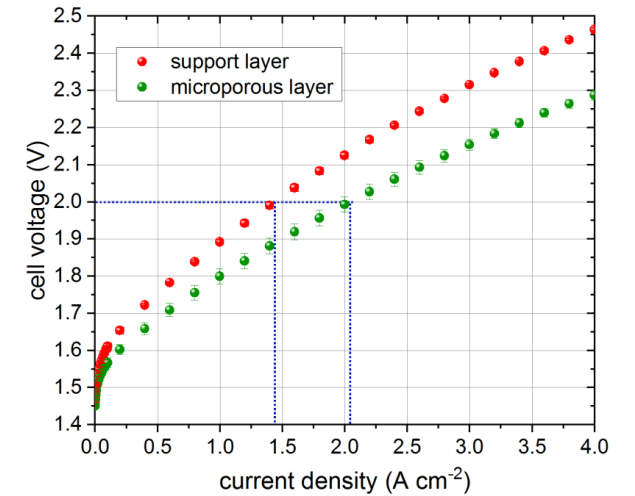
BFE-Projekt: DURAPEM – Unraveling Durability of Electrode Materials in Polymer Electrolyte Fuel Cells and Polymer

Degradation of PEM electrolysers at higher temperature
PEM electrolysers work more efficiently at higher temperatures
However, the degradation is also higher.

BFE-Projekt: ELYTEMP – Polymer electrolyte water electrolysis at elevated temperature for reduced cost of hydrogen for energy applications

BFE-Projekt: PEEC-HP – Investigation of high pressure membrane water electrolysis

BFE-Projekt: PEEC-NR – In situ study of water transport processes in polymer electrolyte electrolysers with neutron imaging

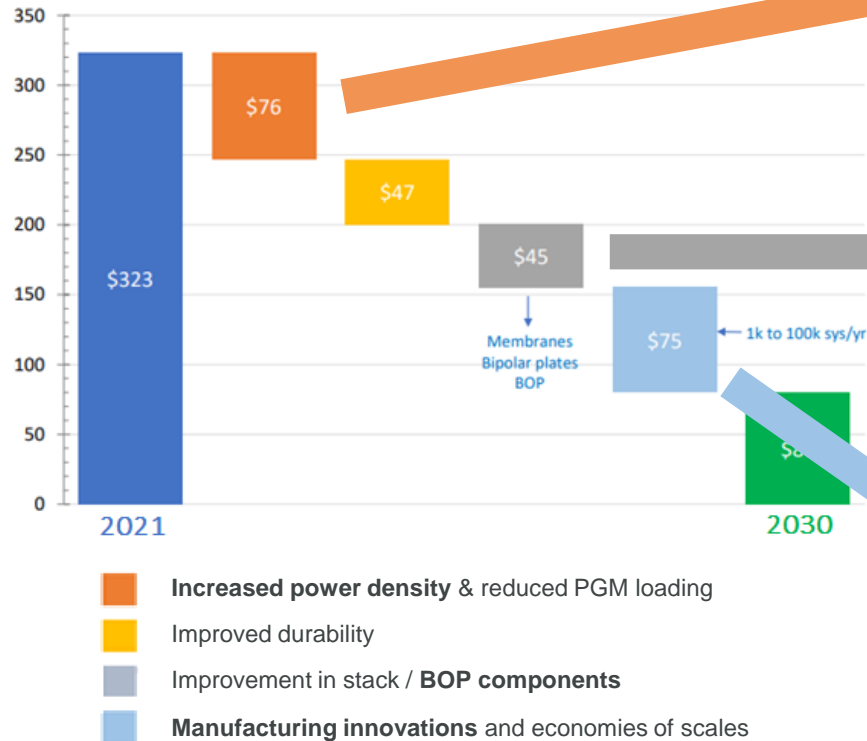




Beispiele für Technologiebeiträge aus der Schweiz zu PEM-Brennstoffzellen


DOE-targets:

Cost for 275 kW HDV-fuel cell system (\$/kW)





PEM stack from EH Group in the 1-300 kW power range with high stack power densities (4 kW/kg / 8 kW/litre).

<https://www.ehgroup.ch>
<https://www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=50923>

High-efficiency air turbo compressors for FC systems

<https://www.celeroton.com>
<https://www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=47348>



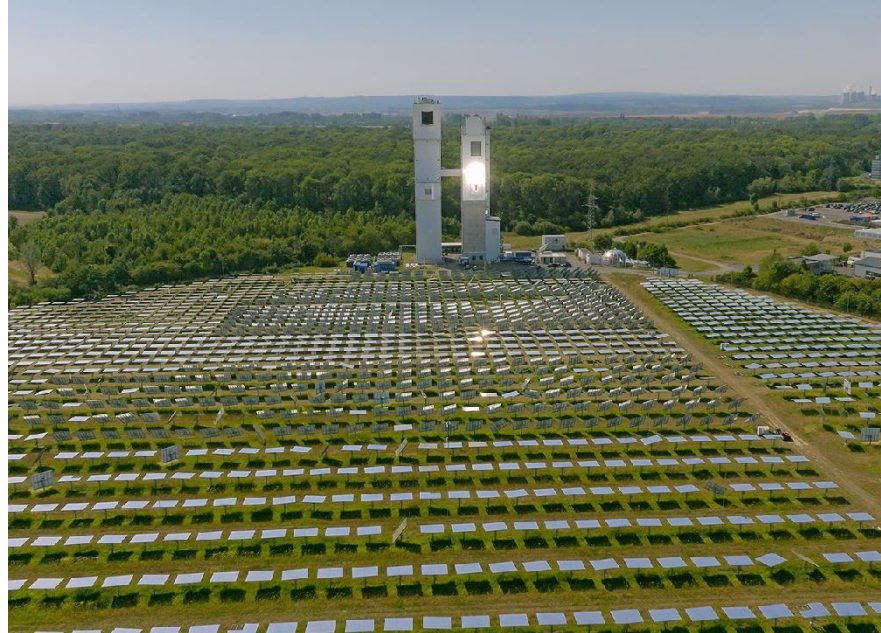
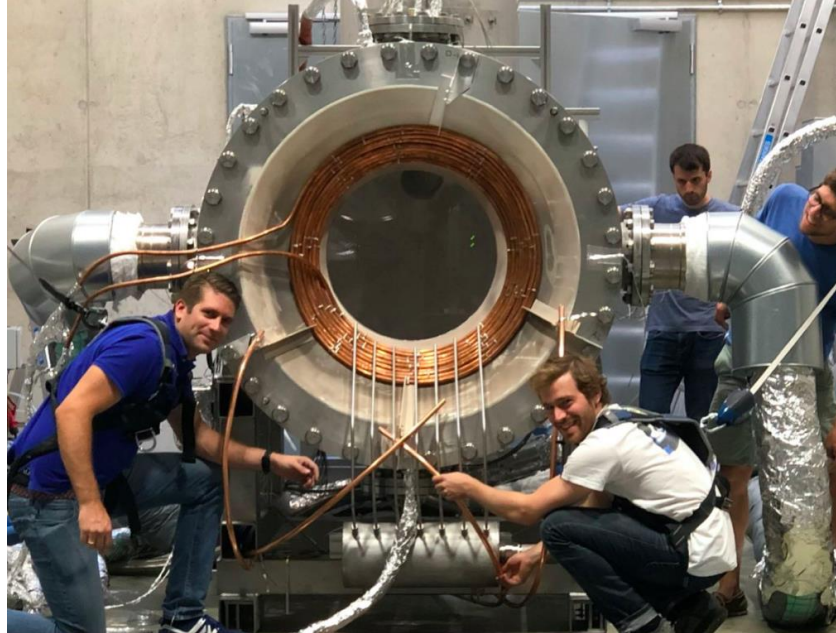

Laser welding systems for the production of bipolar plates @ 1 Hz

<https://www.youtube.com/watch?v=gucusB-D4EI>
<https://www.andritz.com/>





«Power-to-Liquid» mit Solarenergie



<https://synhelion.com/>
<https://www.solarpaces.org/at-synhelion-solar-jet-fuels-get-ready-for-take-off/>

Some SFOE supported projects in this area:

- FUELREC III – Development of high-temperature thermochemical systems for the production of solar fuels from H₂O, CO₂, and CH₄
- SOLIFUEL-II – Solar Reactor Technology for the Production of Drop-in Fuels from H₂O and CO₂
- REVERSO – Receiver for concentrated Solar power
- FUELREC II – Solar Receiver for the production of solar fuels from H₂O, CO₂, and CH₄
- NEWCLINE – Advanced thermocline concepts for thermal energy storage for CSP (CSP Era.net ID:20)
- HYBREC – Reactor system for the production of solar fuels from H₂O, CO₂, and CH₄
- FUELREC – Solar Receiver for the production of solar fuels from H₂O, CO₂, and CH₄
- ReceiverSIM – Modelling of Absorbing Gas Receivers for Solar Applications
- ConPEC – Concentrated photoelectrochemical fuel generation: scale-up, on-sun testing, and flexibilization
- SOLIFUEL – Solar Dish-Reactor Technology for the Production of Liquid Transportation Fuels from H₂O and CO₂
- Towards Industrial Solar Production of Zinc and Hydrogen - 100 kW Solar Pilot Reactor for ZnO Dissociation





H2-Leitungen

BFE-Projekt: «Grundlagen zu Wasserstoff Speicher- und Transportleitungen»

Machbarkeitsstudie für die Verlegung einer Wasserstoffrohrleitung in einem Industriegebiet. Die Wasserstoffleitung verbindet eine Wasserstoffproduktion mit einer Abfüllstation und Tankstelle und ist auf eine Kapazität von 30 MW ausgelegt.



<https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=48826>

BFE-Projekt: «La fourniture d'hydrogène vert par un pipeline haute pression»

In Bulle wird von Gruyère Hydrogen Power über Elektrolyse grüner Wasserstoff produziert, welcher über eine kurze Hochdruck-Wasserstoffleitung direkt an den industriellen Abnehmer Liebherr geliefert wird.

















Bild: Tribune de Genève (Jean-Paul Guinnard)

<https://www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=52192>



BFE-Pilotprojekte im H2-Bereich (Auswahl)

-    «Production of green Hydrogen for clean Steel and Metallurgy» (2024-2027)
-  u.a. «H2-districts – Spitzenlastversorgung in Quartieren mit Brennstoffzellen» (2023-2026)
-  u.a. «System services in the grid with highly flexible PtG P&D plant KVA Buchs (AG)» (2021-2026)
-  u.a. «Hydrogen Metal Hydrides Thermal Compressor with Low Operational Cost» (2020-2024)
-   u.a. «Limeco-Plant - Power-to-Gas for flexibilisation of a waste incineration plant» (2020-2023)
-  «ex PlanetSolar - H2 as range extender for the biggest solar vessel in the world» (2017-2019)
-  «Sustainable hydrogen from hydropower for mobility» (2016-2019)
-   «First hydrogen refuelling station in Switzerland with 70 MPa» (2015-2019)
-  «Aarmatt hybrid plant» (2014-2017)
-  «MOVE - Hydrogen production from temporary surplus electricity» (2013-2017)



Danke für die Aufmerksamkeit



BFE-Kontakte:

**Wasserstoff- und
Brennstoffzellenprogramm**
Dr. Stefan Oberholzer
stefan.oberholzer@bfe.admin.ch
h2fc.ch

**Schweizer
Wasserstoffstrategie**
Dr. Markus Bareit
markus.bareit@bfe.admin.ch
www.bfe.admin.ch/wasserstoff