

“25 Jahre Hydropole”

Swiss Hydrogen Association

Hydropole

since 2001



Andreas ZÜTTEL, Prof. Dr.

Symposium
25 Jahre Hydropole
20. März 2026

e: andreas.zuettel@epfl.ch
m: +41 79 484 2553
U: <http://lmer.epfl.ch>

Das Jahr 2001



12. Dezember 2000
Rohrbruch Cleuson-Dix



11. September 2001
WTC in New York City



Einstellung des Flugbetriebs der
Swissair am 2. Oktober 2001



6.3 Mrd. Menschen



134 Mio. Geburten



52 Mio. Todesfälle



Bernard Mudry
President



Andreas Züttel
Vice President



Armin Reller
Board



Alphons Hintermann
Board



Aldo Steinfeld
Board



Louis Schlapbach
Board



Eric Wuilloud
Board



Gründung von Hydropole
23. November 2001

Vorgeschichte der Anwendungen von grünem Wasserstoff



Markus Fridli, Zollbrück (<https://www.derbund.ch/sein-wasserstoffbus-war-in-der-show-von-beppe-grillo-ein-star-340225139817>)



Giovanola Frères SA , Hansruedi Arnold, Djeva, Monthey

Vorgeschichte der Forschung an grünem Wasserstoff



Louis SCHLAPBACH
Uni Fribourg



Anton MENTH
ETHZ



Klaus YVON
Uni Genève



Peter FISCHER
PSI



Andreas ZÜTTEL
Uni Fribourg



Felix BÜCHI
PSI



Meinrad EBERLE
ETHZ

Samuel STUCKI
Jürg SCHAEFER
Albert FURRER
Alex SCHENK
Fredy GYGAX
PSI

10 Jahre Hydropole bei IHT in Monthey 15. 4. 2011



Hydropole Mitglieder bei Djeva



Halle von IHT, Monthey



Elektrolyse Entwicklung bei IHT, Monthey



Warzenblech Produktion
IHT, Monthey



Generalversammlung 2011
IHT, Monthey



Feier im Salzbergwerk
in Bex

25 Jahre: 2001 – 2026



+2 Mrd. Menschen (+30%)
8.2 Mrd. Menschen



133 Mio. Geburten

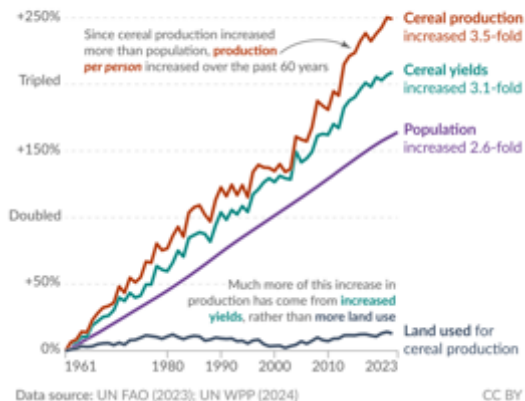


64 Mio. Todesfälle

+70 Mio./Jahr

Global cereal production has grown faster than population

The change in cereal production, yield, land use and global population, where all figures are indexed to 1961, which is given the value of zero.



Die Nahrungsmittelproduktion ist um >50% gewachsen.



Source: National Forestry and Grassland Data Center

China hat auf 64 Mio. ha ca. 80 Mrd. Bäume gepflanzt

Grüner Wasserstoff hat sich von einem akademischen Nischenkonzept zu einem Eckpfeiler globaler Dekarbonisierungsstrategien entwickelt.

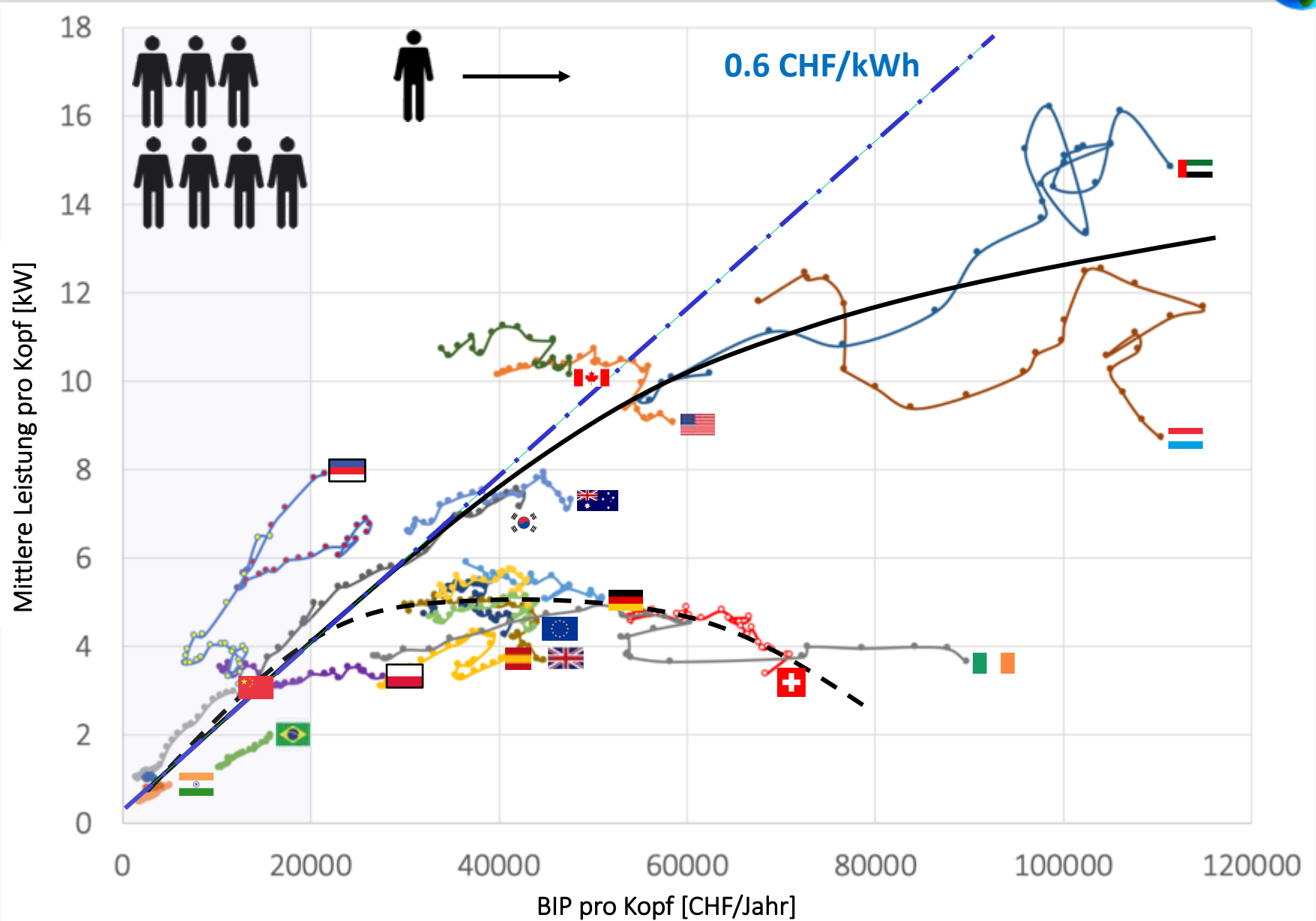
Die Kosten von grünem Wasserstoff sind 3 – 5 mal höher als Wasserstoff aus Erdgas-Reformation.

Green hydrogen economy



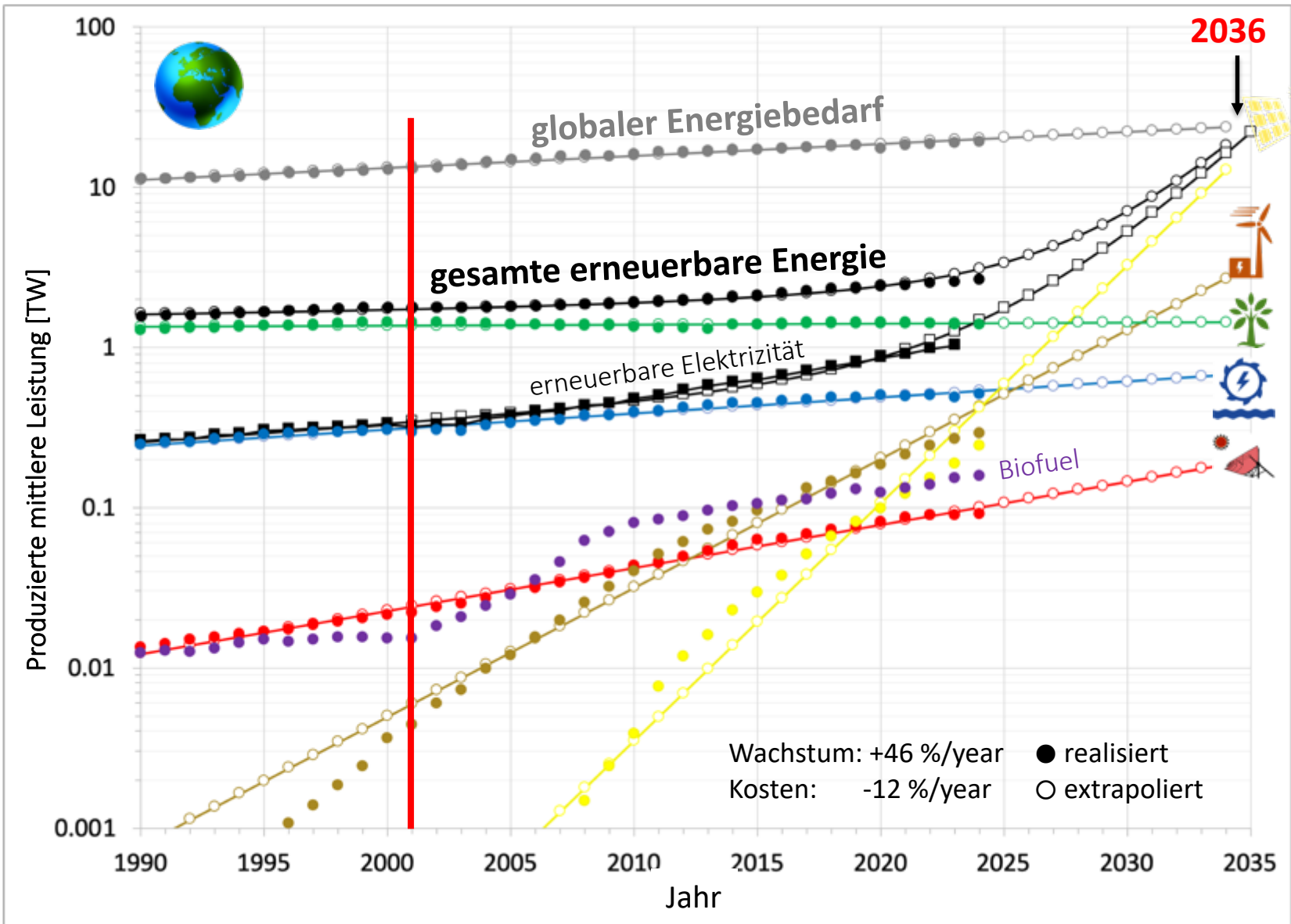


25 Jahre Energie und Wirtschaft



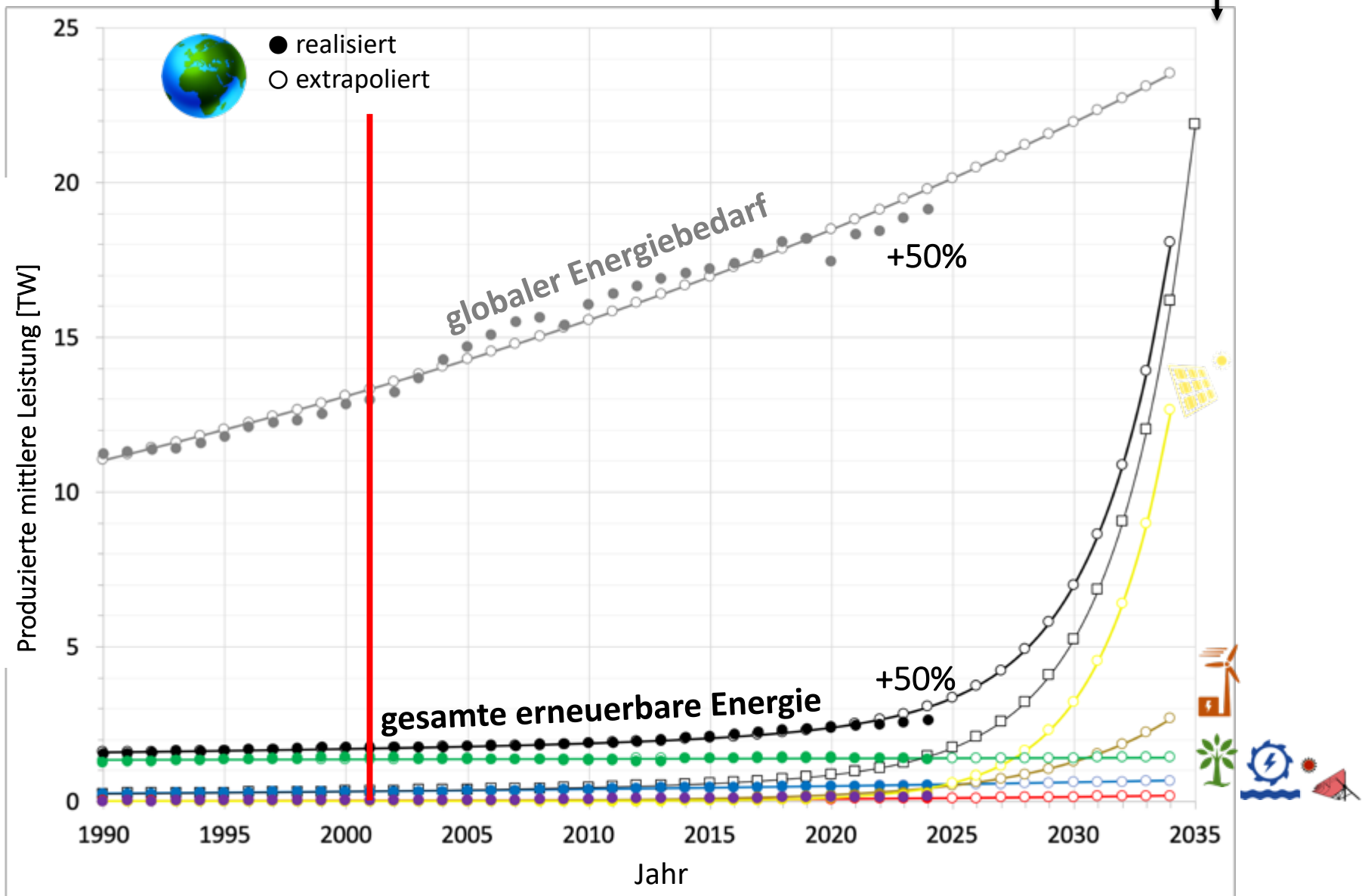
Ref.: <https://ourworldindata.org/grapher/energy-use-per-capita-vs-gdp-per-capita>

Globale erneuerbare Energieproduktion (logarithmisch)



Ref.: <https://ourworldindata.org/energy>, <https://www.pv-magazine.com/2023/02/16/global-solar-installations-may-hit-350-6-gw-in-2023-says-trendforce/#:~:text=2022,> and <https://ourworldindata.org/energy>

Globale erneuerbare Energieproduktion (linear)



Ref.: <https://ourworldindata.org/energy>, <https://www.pv-magazine.com/2023/02/16/global-solar-installations-may-hit-350-6-gw-in-2023-says-trendforce/#:~:text=2022>, and <https://ourworldindata.org/energy>

Landwirtschaft vor Industrialisierung



Lokale Landwirtschaft vor 1850



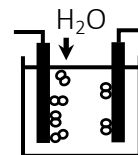
Sauerkraut, Käse und Speck



Erneuerbare Energie heute



PV auf den Dächern



Batterien, Wasserstoff Produktion und Speicherung

Landwirtschaft heute



Landwirtschaft (seasonal)



Treibhäuser (ganzjährig)



Landwirtschaft (global)



Transport / Distribution



Grossverteiler / Warenhaus



Konservierung / Kühlung



Detailhändler

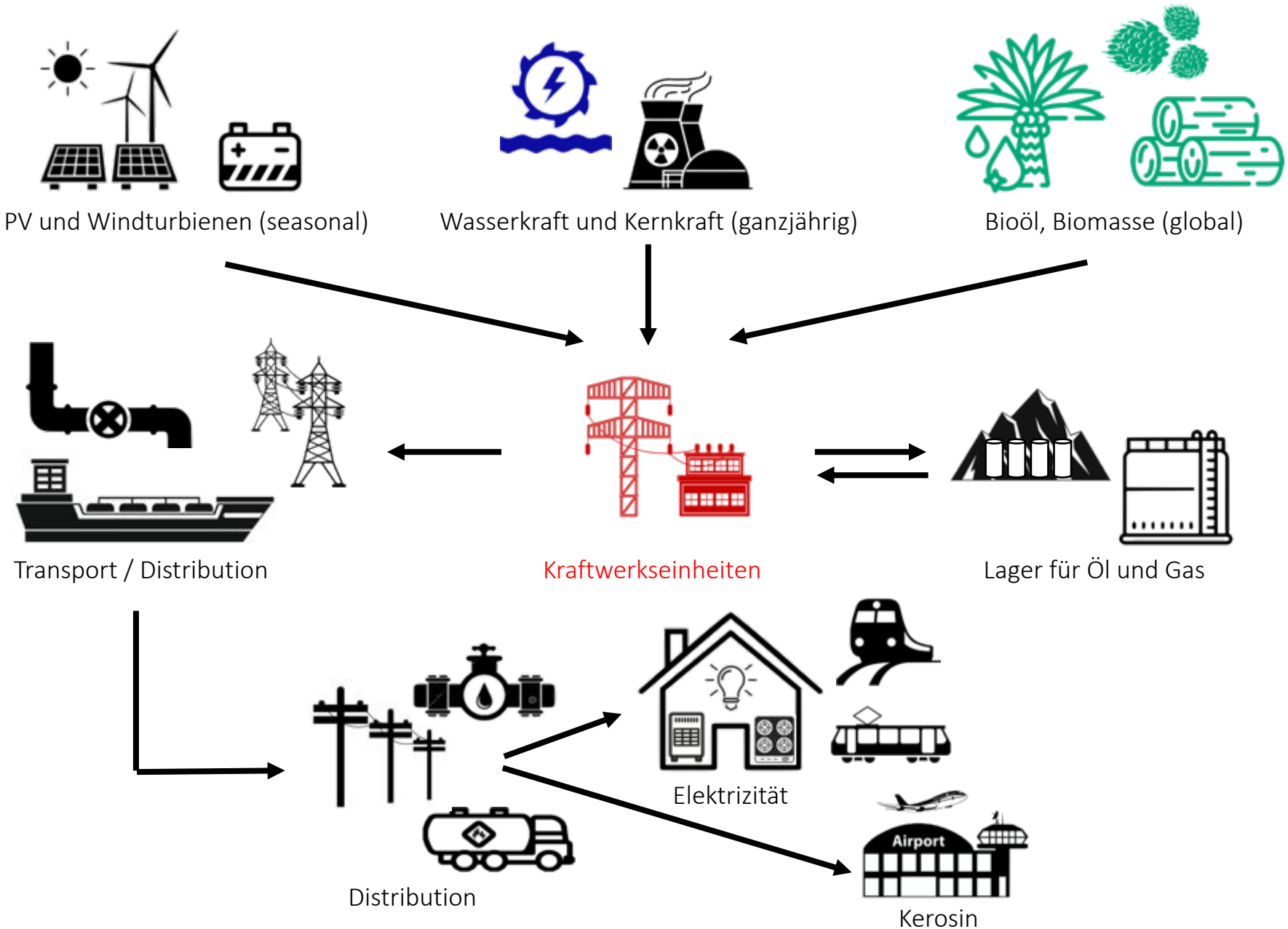


Convenience food

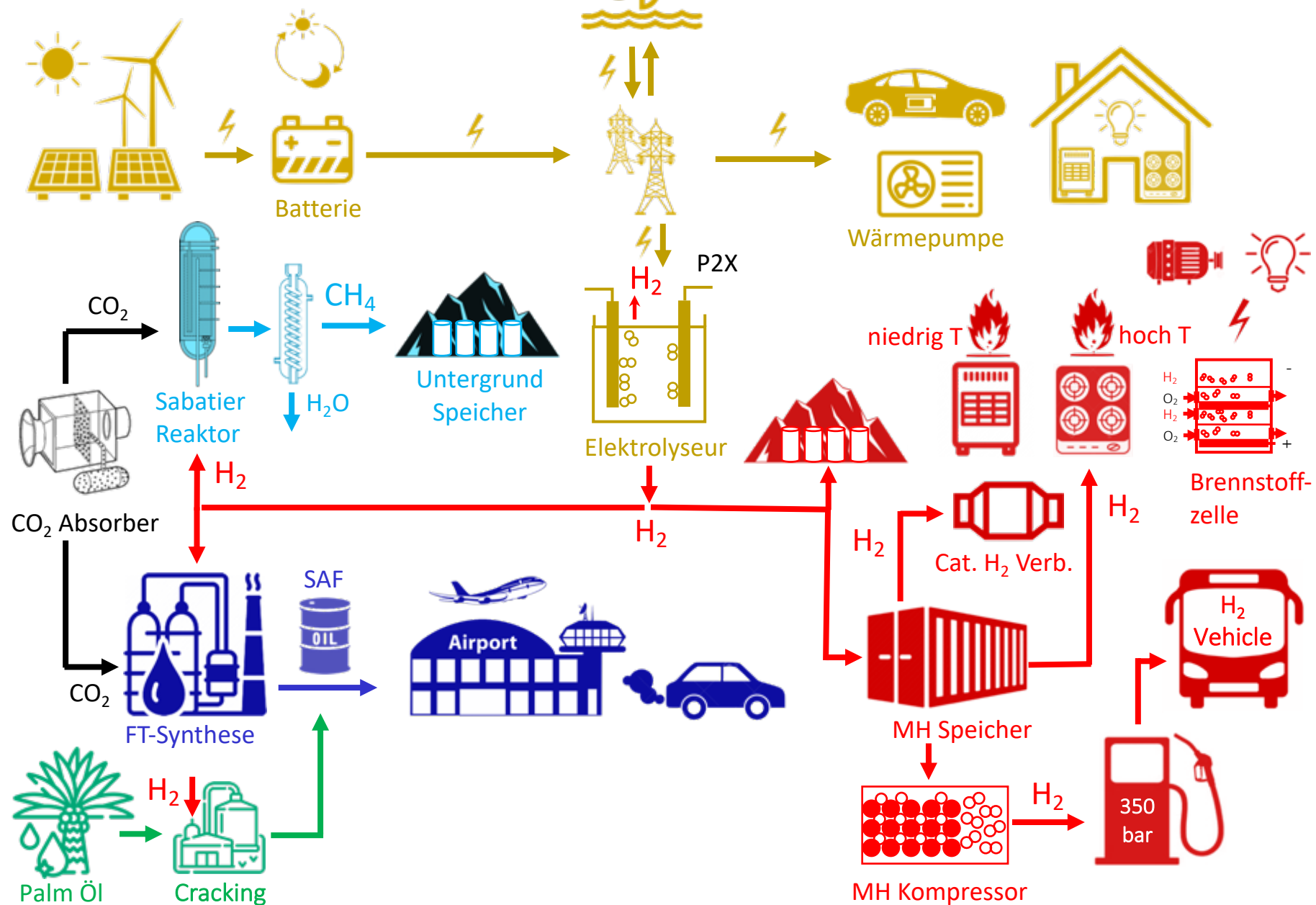


Küche

Erneuerbare Energiewirtschaft

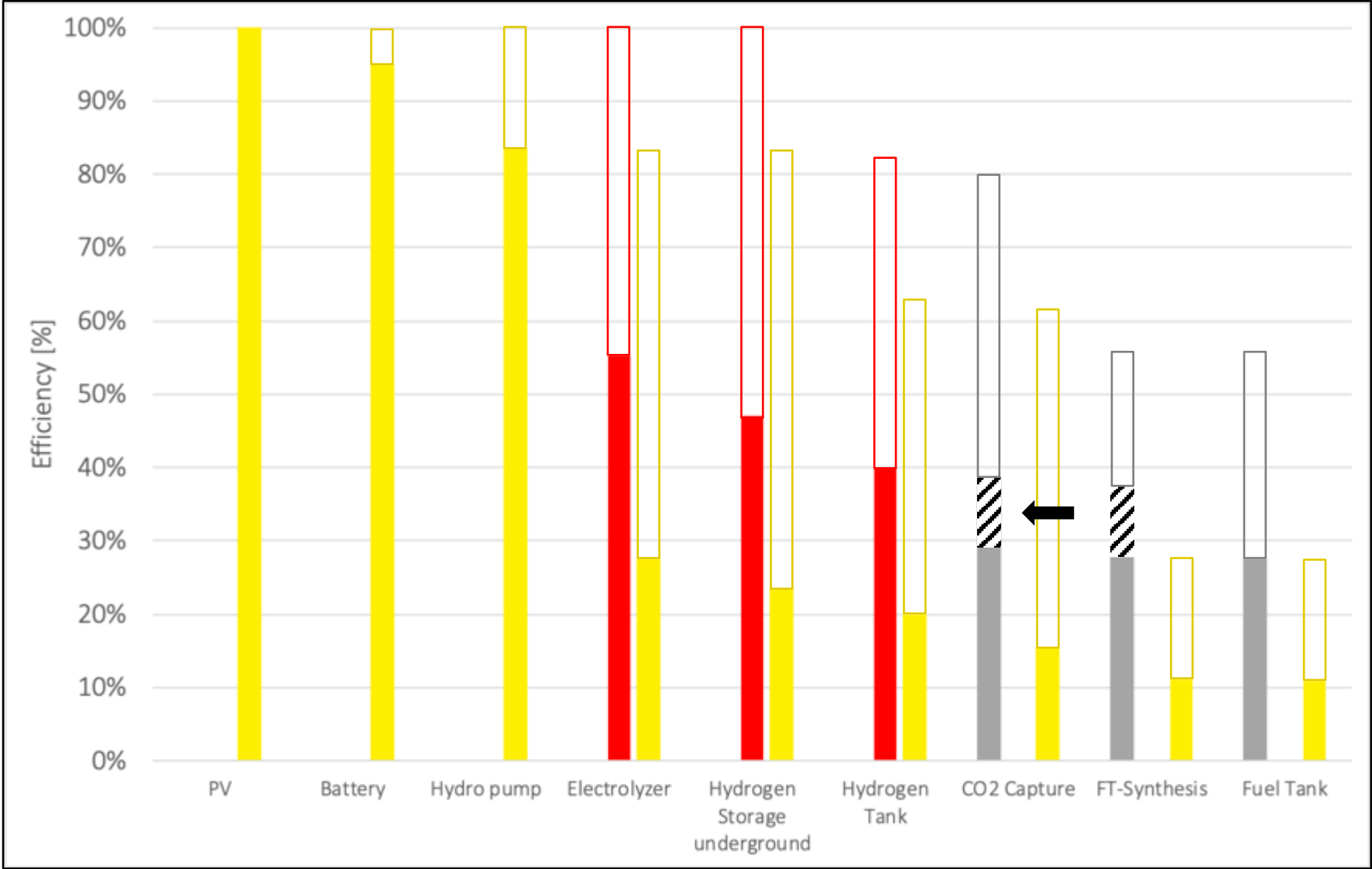


Erneuerbares Energiesystem

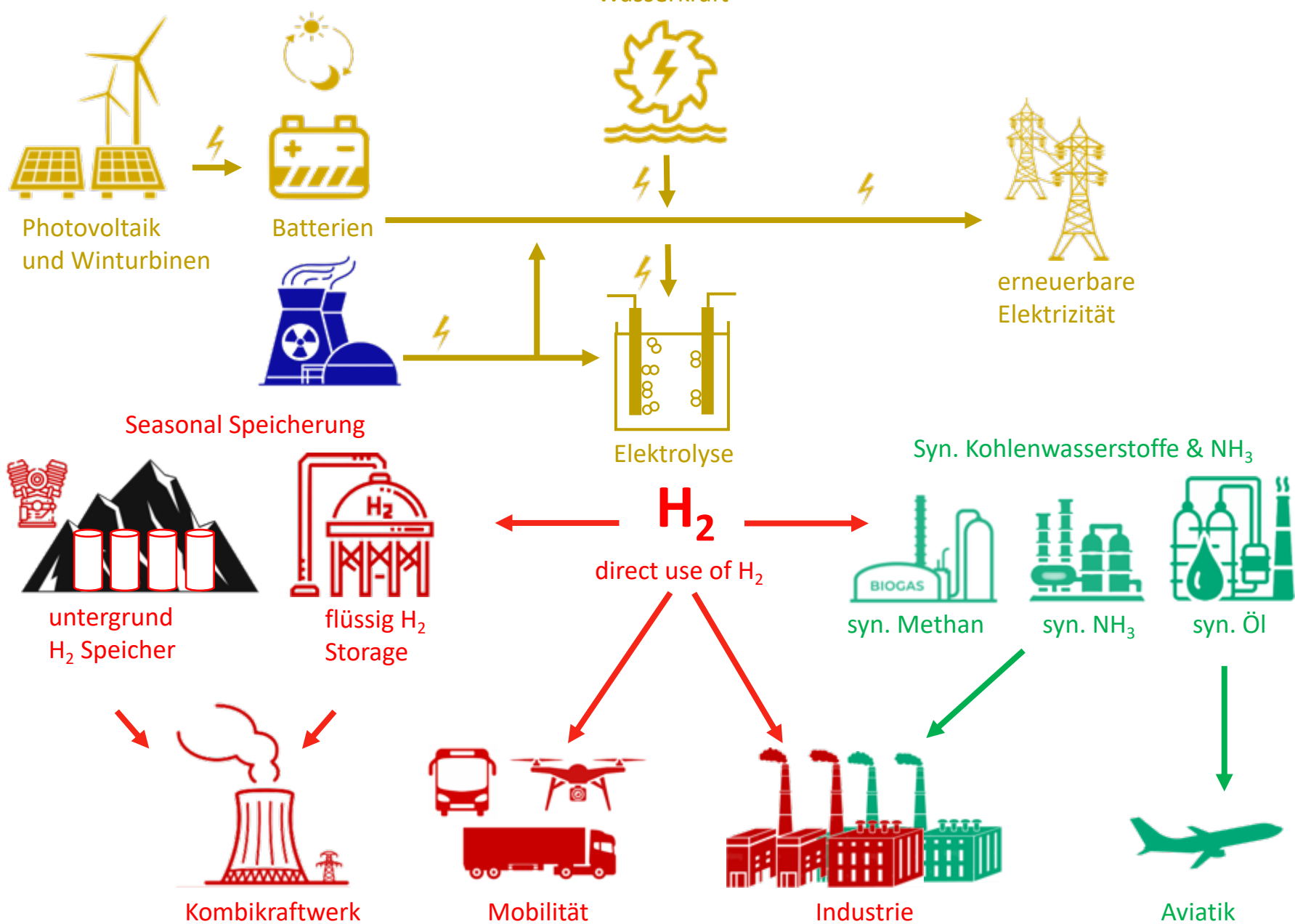


Effizienz entlang der Energiewandlung

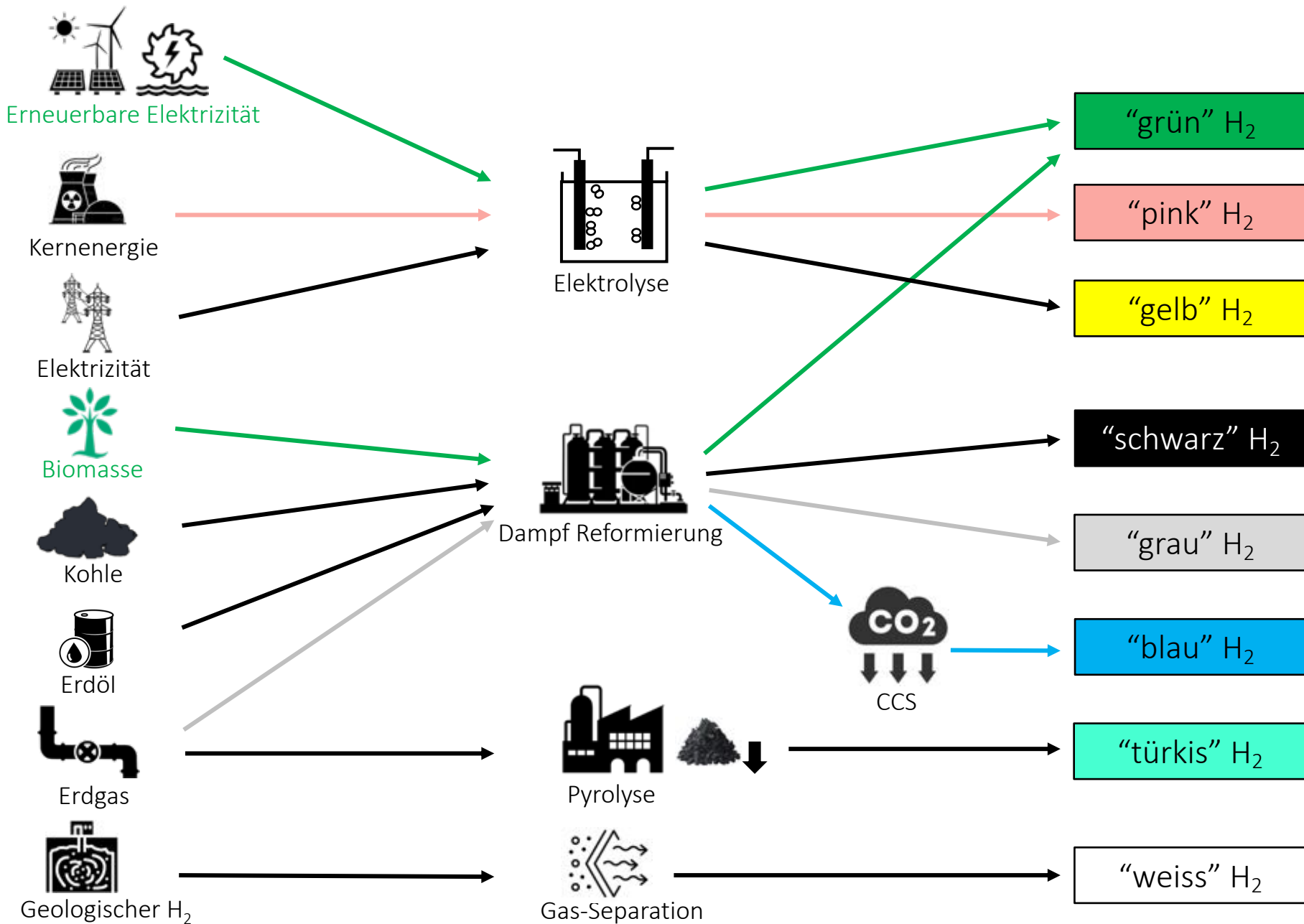
Power to X (P2X)



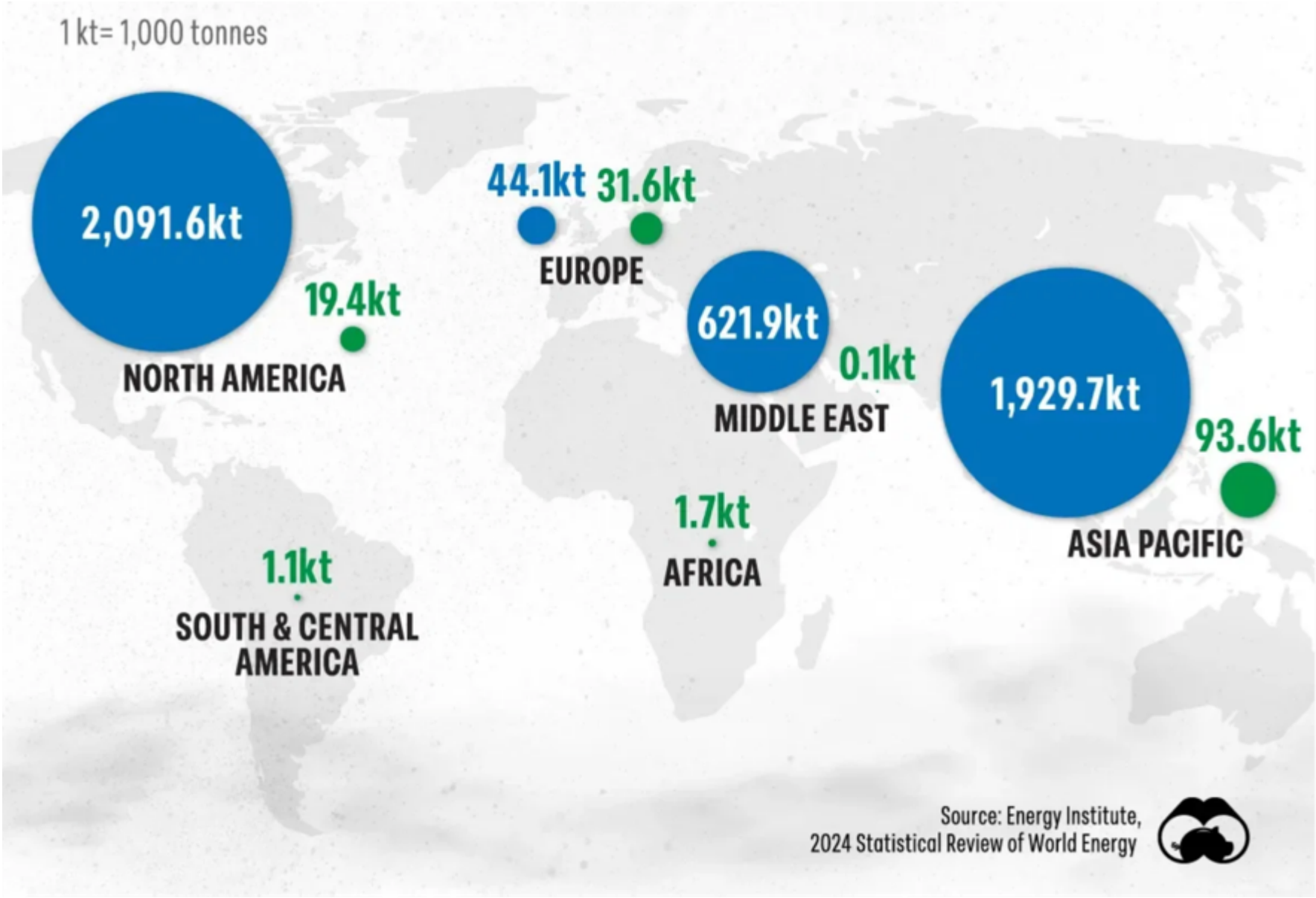
Grüne Wasserstoff Wirtschaft



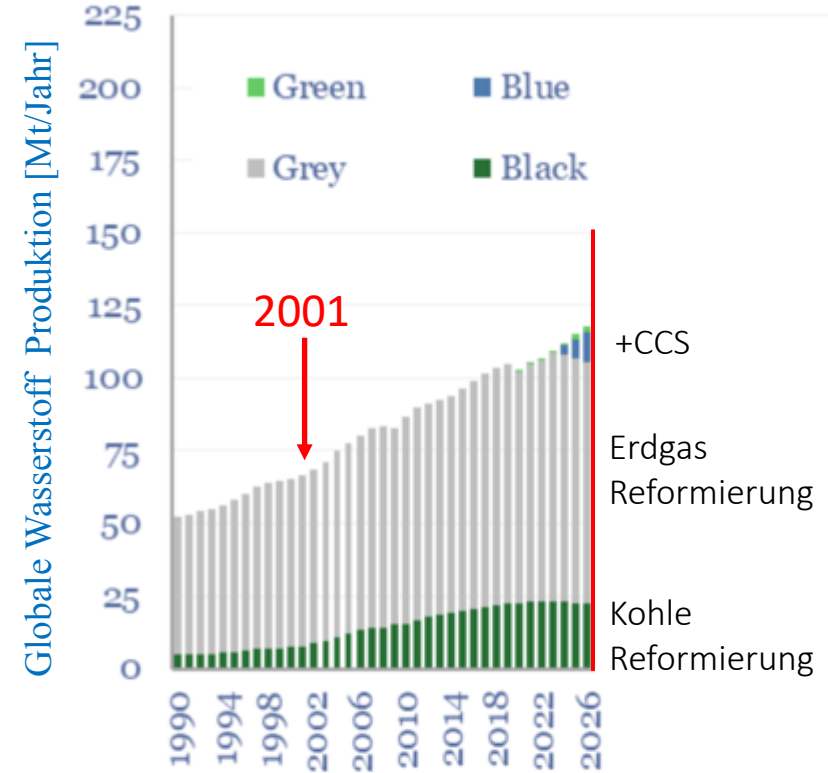
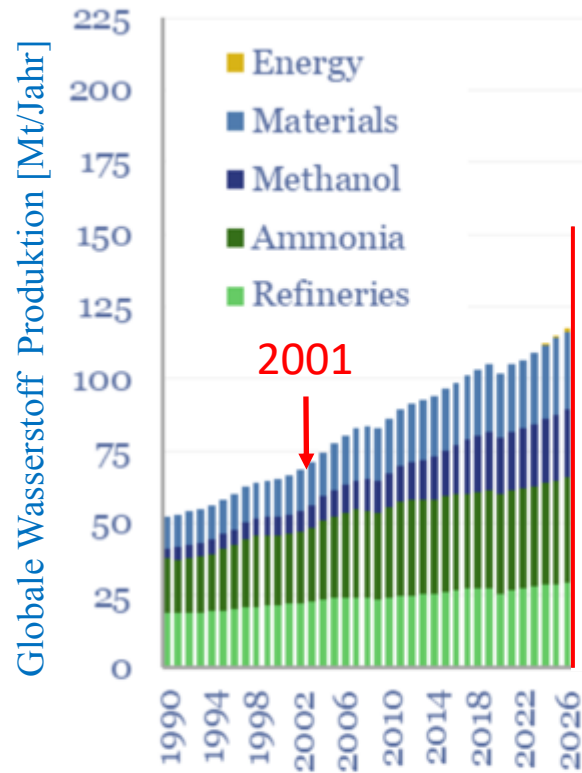
Die Farben des Wasserstoffs



Entwicklung der CO₂ freien Wasserstoff Wirtschaft



Entwicklung der Wasserstoff Wirtschaft



Die weltweite Wasserstoffproduktion 120 Mt/Jahr verursacht derzeit höchstwahrscheinlich 1.3 Gt/Jahr CO₂-Emissionen mit einer durchschnittlichen CO₂-Intensität von 12 tCO₂/tH₂, bestehend aus

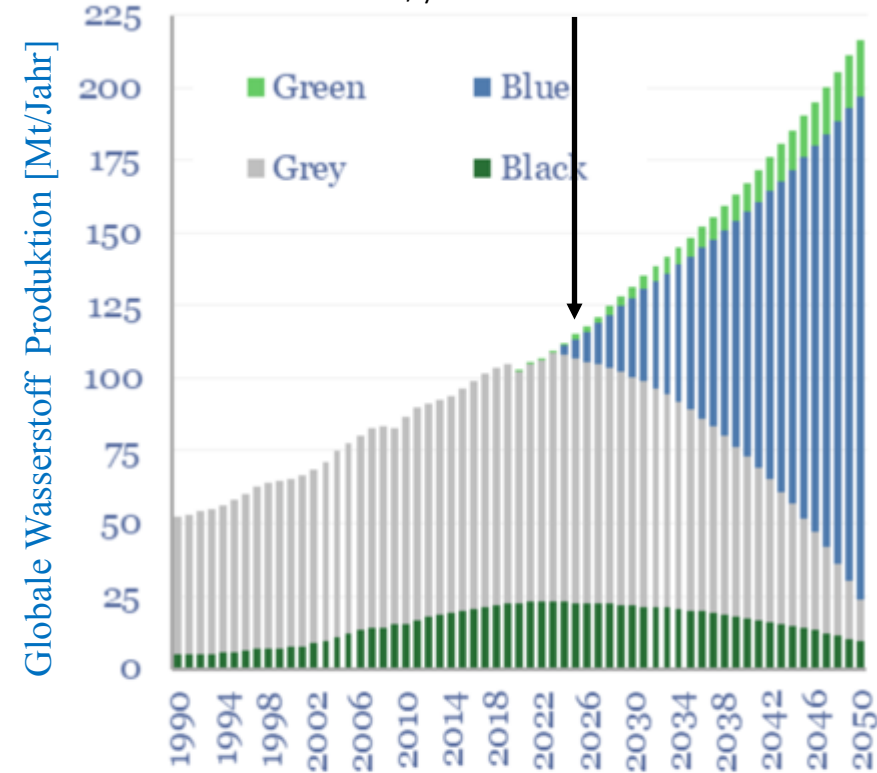
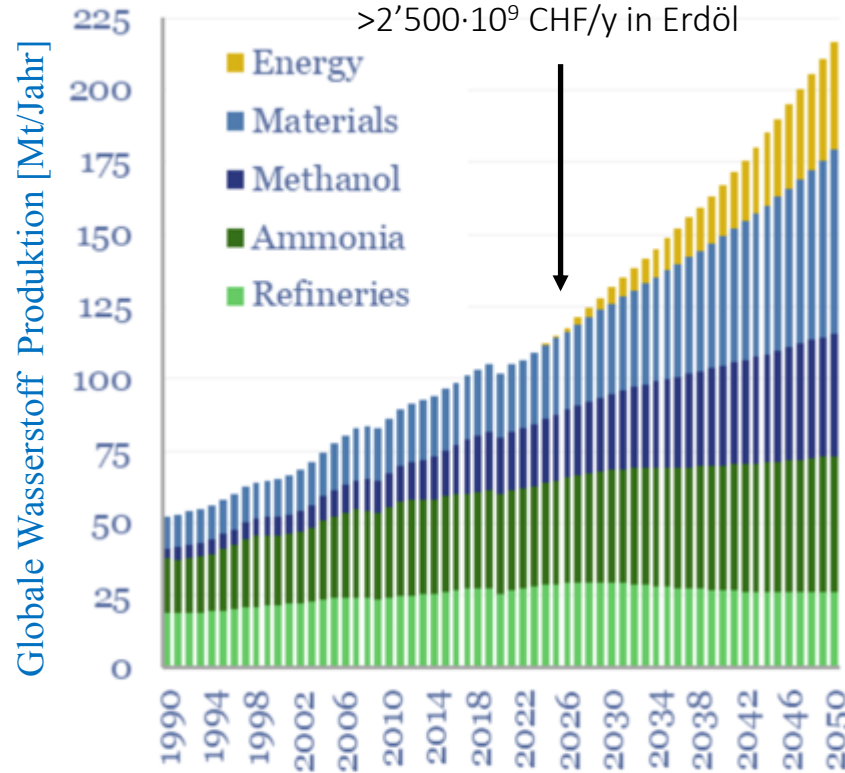
85 Mt/Jahr grauem Wasserstoff mit 9 tCO₂/tH₂ CO₂-Emissionen und 25 Mt/Jahr schwarzem Wasserstoff mit 25 tCO₂/tH₂ Emissionen.

Ret.: <https://thundersaidenergy.com/downloads/global-hydrogen-supply-demand-by-region-by-use-over-time/>

Diesel: 262g CO₂/kWh

Entwicklung der Wasserstoff Wirtschaft

5'000 TWh/year = 0.5 TW
70'000 TWh/year = 7 TW in Erdöl



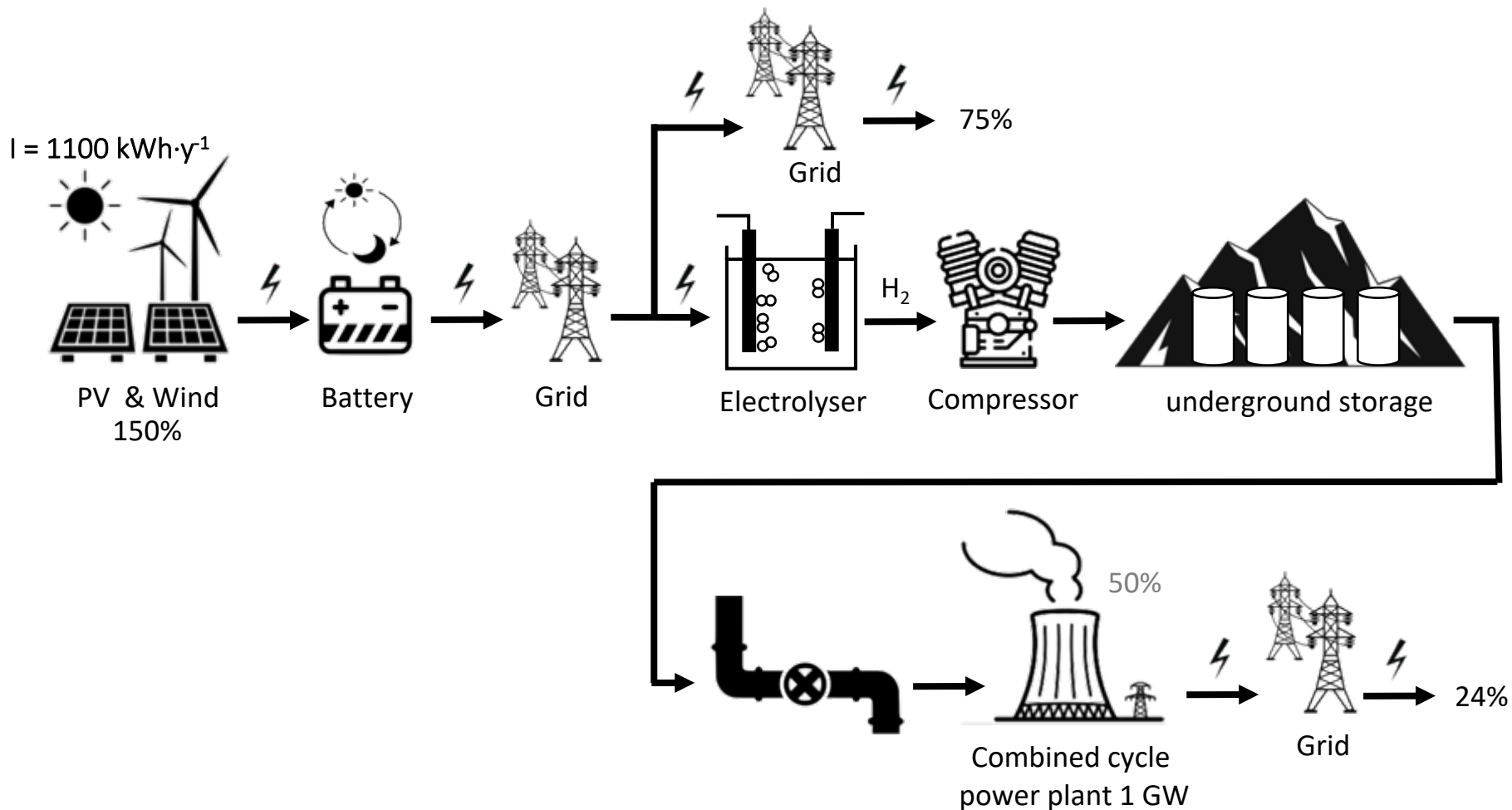
Die weltweite Wasserstoffproduktion 120 Mt/Jahr verursacht derzeit höchstwahrscheinlich 1.3 Gt/Jahr CO₂-Emissionen mit einer durchschnittlichen CO₂-Intensität von 12 tCO₂/tH₂, bestehend aus

85 Mt/Jahr grauem Wasserstoff mit 9 tCO₂/tH₂ CO₂-Emissionen und 25 Mt/Jahr schwarzem Wasserstoff mit 25 tCO₂/tH₂ Emissionen.

Diesel: 262g CO₂/kWh

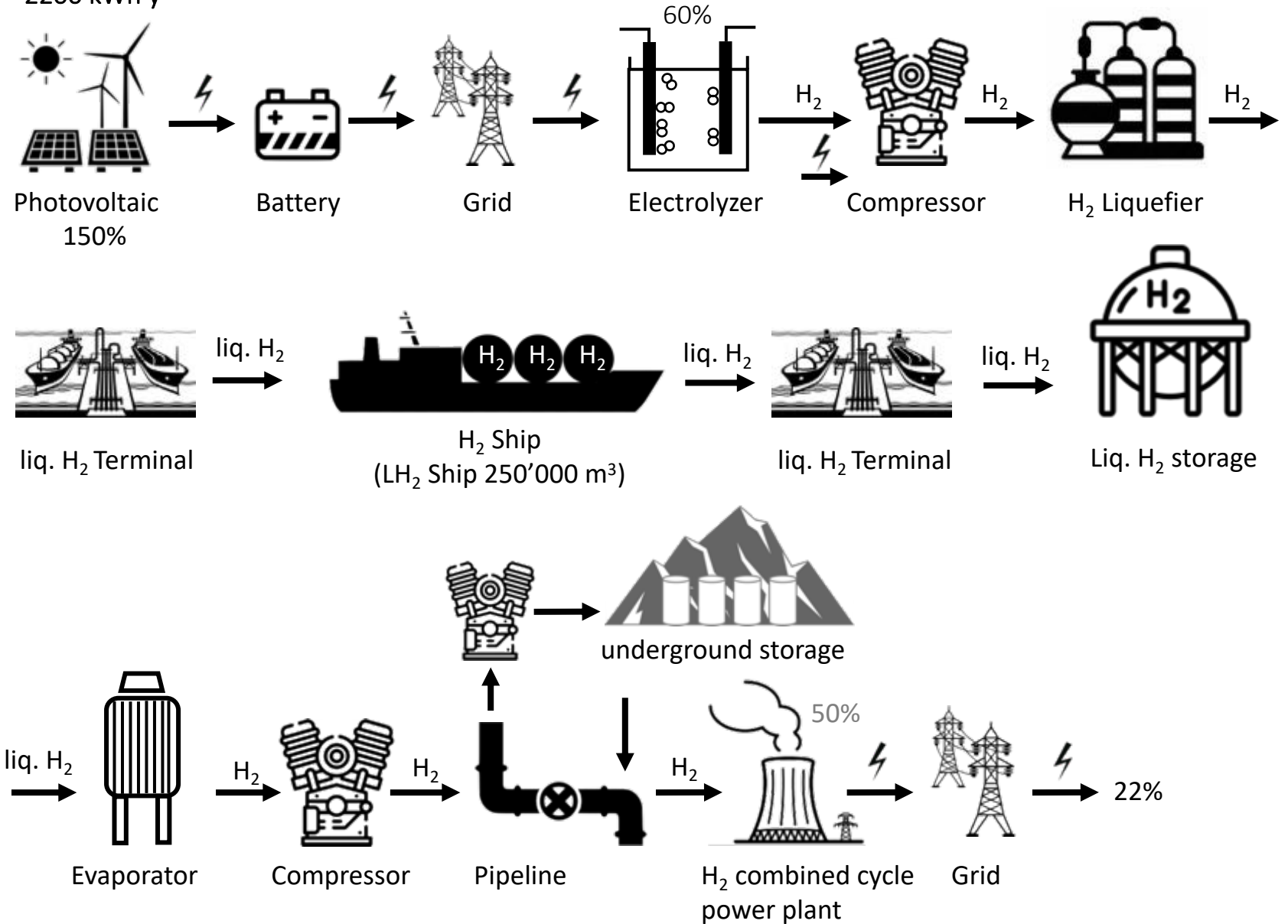
Ref.: <https://thundersaidenergy.com/downloads/global-hydrogen-supply-demand-by-region-by-use-over-time/>

Lokale Produktion mit saisonaler Speicherung von H₂

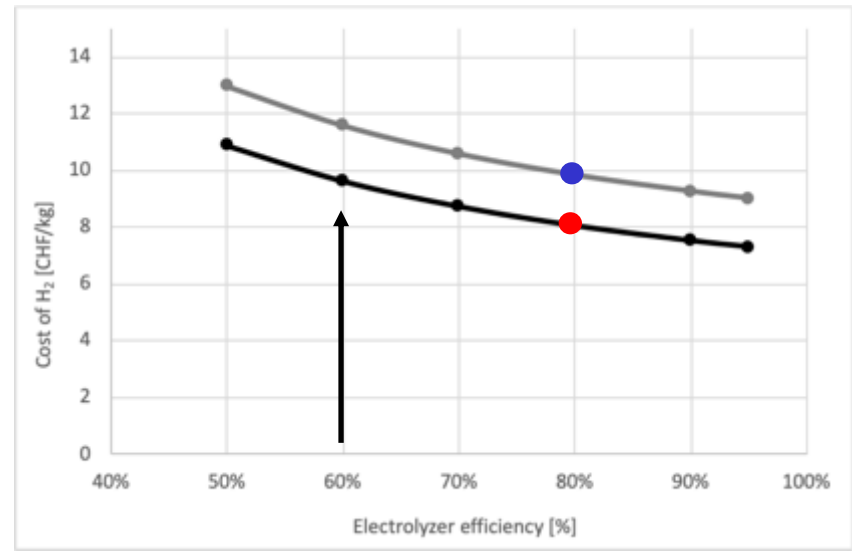
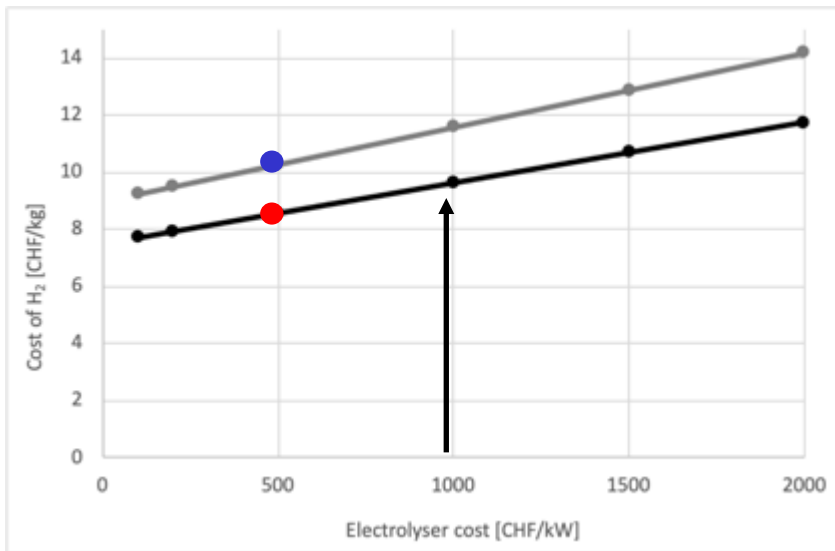
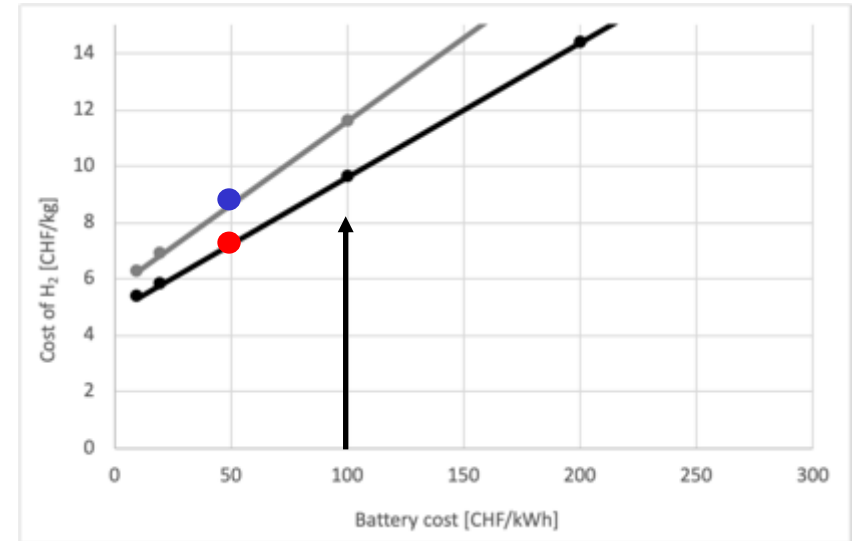
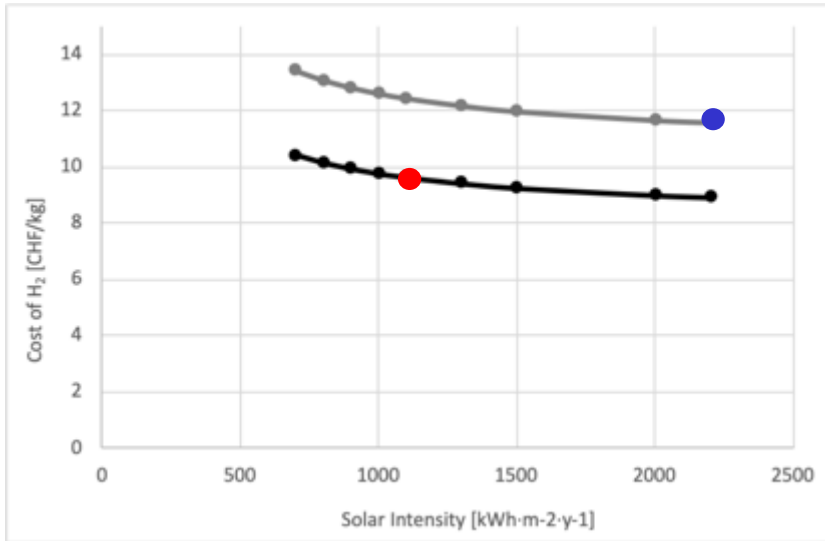


Import von flüssigem Wasserstoff

$I = 2200 \text{ kWh} \cdot \text{y}^{-1}$



Kosten von grünem lokal produziert und importiertem H₂



lokal produziert H₂: Effizienz < 48%, Kosten > 4.5 CHF/kg H₂

importiert H₂: Effizienz < 43%, Kosten > 5.4 CHF/kg H₂

Fazit

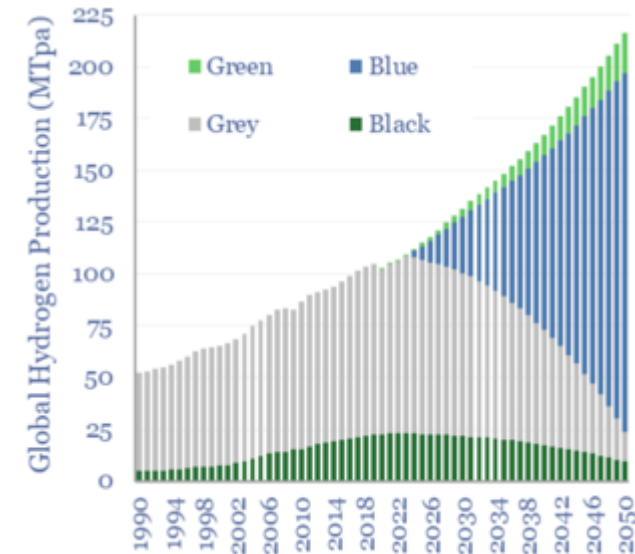
Der globale Wasserstoffmarkt hat sich in den letzten 25 Jahren verdoppelt und wird sich voraussichtlich in kommenden **25 Jahren wieder verdoppeln**.

Heute fließen ca. **0.5 TW von knapp 20 TW (2.5%)** des globalen Energieverbrauchs durch Wasserstoff.
Grüner Wasserstoff steht ganz am Anfang (<1%) und der Markt entwickelt sich erst.

Die **Kostenentwicklung** von grünem Wasserstoff hängt stark von der Entwicklung der Kosten der erneuerbaren Elektrizität, der Elektrolyse und der Effizienz der Produktion ab.

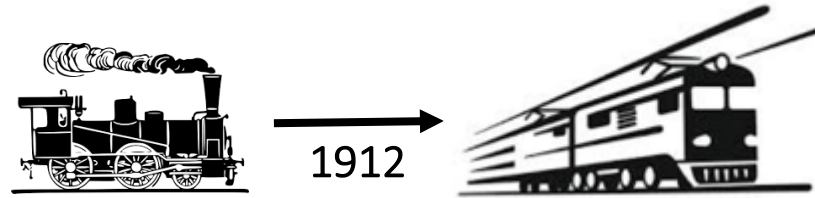
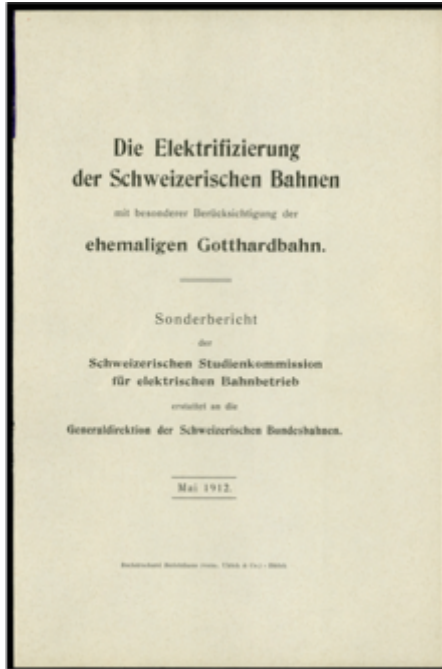
Schweizer Technologie mit grosser Wertschöpfung:

- **Effizientere Elektrolyse**, Membranen mit höher Ionen-Leitfähigkeit
- **Hydride**: Speicherung, Kompression, Reinigung
- **Hydrierung von Bioöl**, neue Prozesse, Enzyme, Katalyse
- **Effizientere Methan und Ammoniak Synthese**
- **Brennstoffzellen**, effizienter, leichter, kompakter



Beispiel aus China

Energiewende in der Schweiz 1912



Ref.: "Die Elektrifizierung der Schweizerischen Bahnen mit besonderer Berücksichtigung der ehemaligen Gotthardbahn.", Sonderbericht der Schweizerischen Studienkommission für elektrischen Bahnbetrieb erstattet an die Generaldirektion der Schweizerischen Bundesbahnen. Mai 1912.

1912

Elektrifizierung
1.23 – 2.6 Mio.€/km

alle 27m ein Mast,
35 – 70 k€ pro Mast

Schienennetz 62 Mio. €/km
(Autobahn 150 - 330 Mio.€/km)

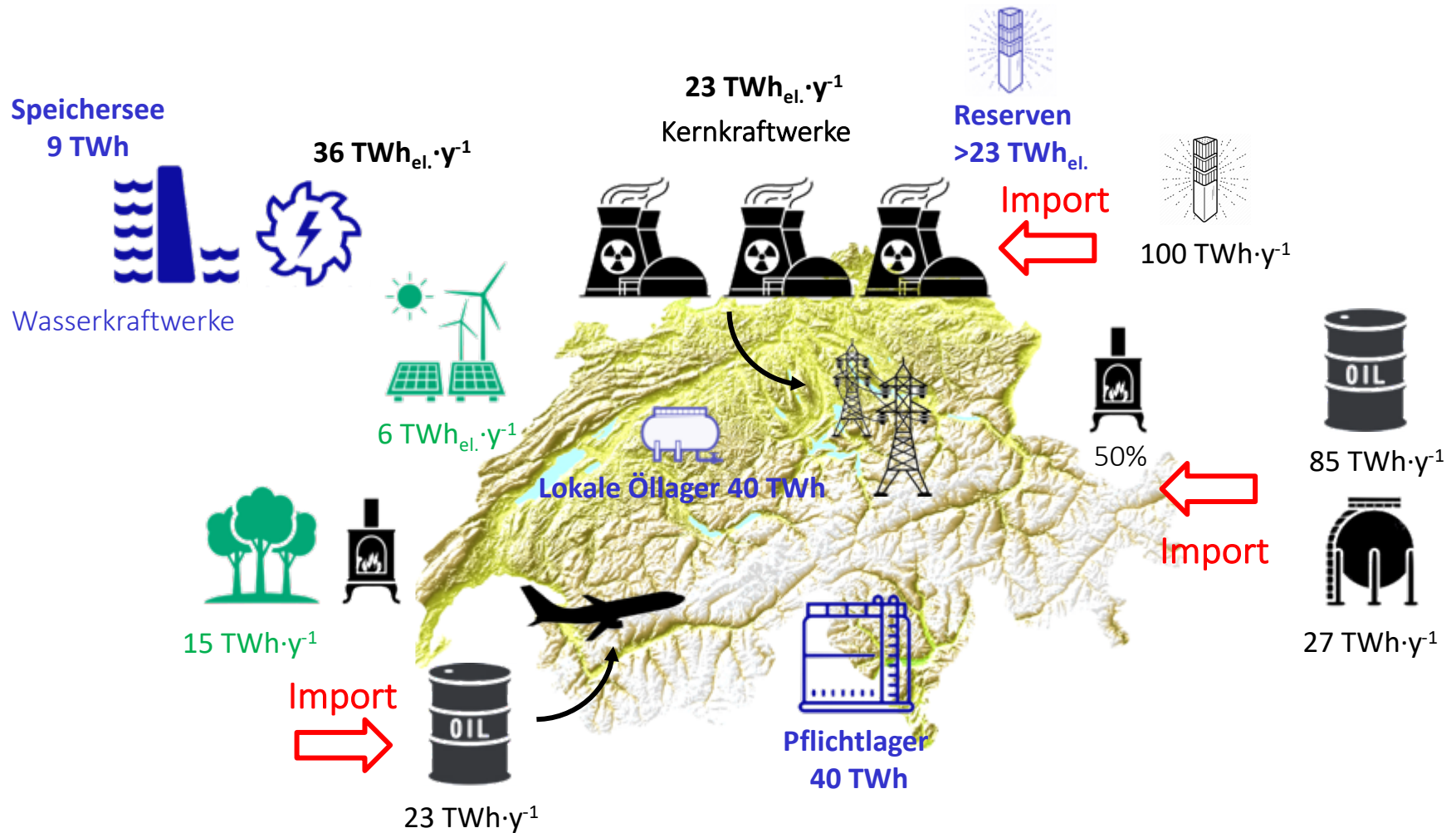


Ref.: Deutschland: Lindau -München 500 Mio.€ für 189 km incl. Lärmschutz und neuem Bahnhof...

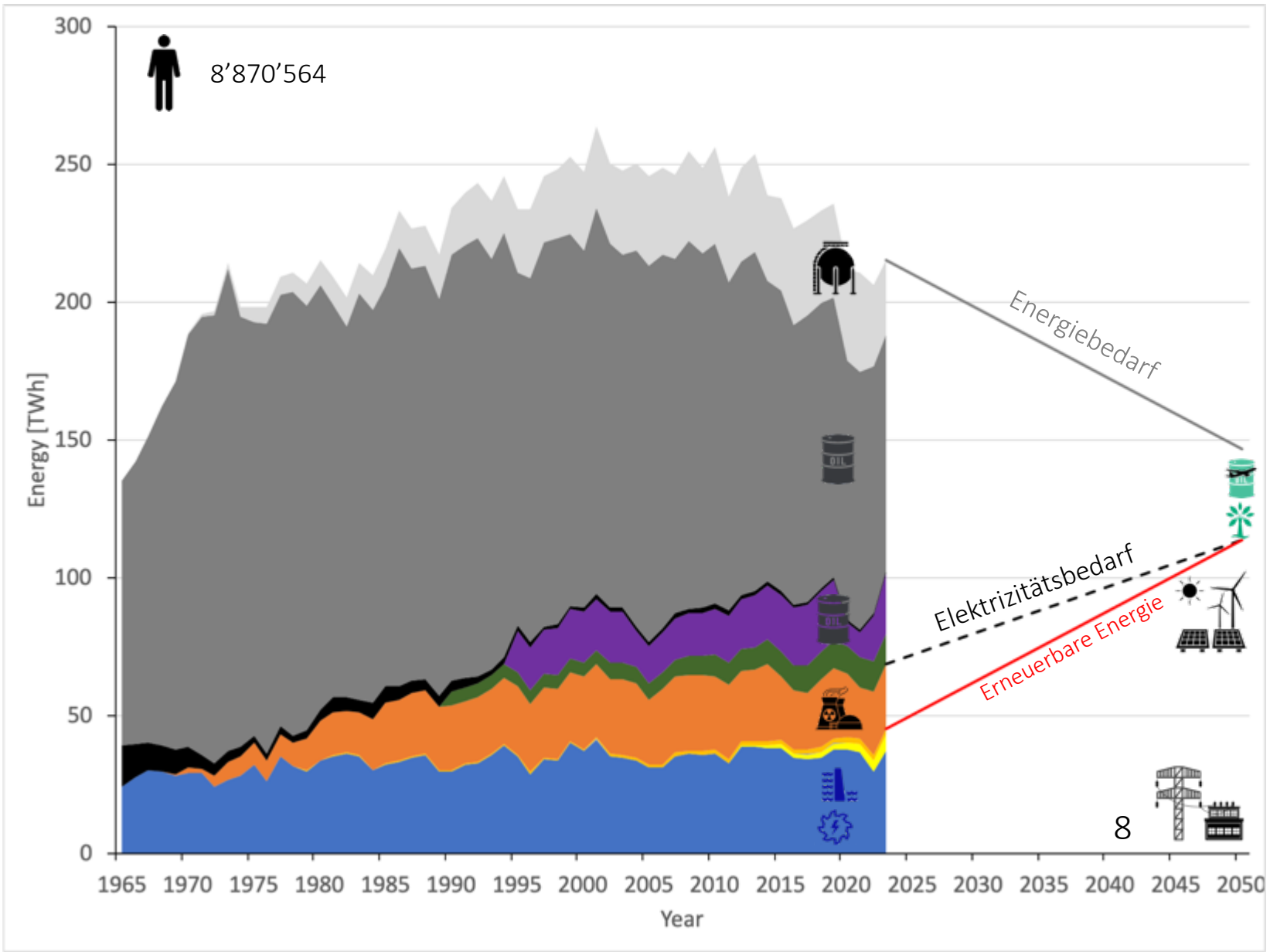
Dänemark: Gesamtes Schienennetz 1'600 Mio.€ für 1300 km

Schweizer Energiewirtschaft

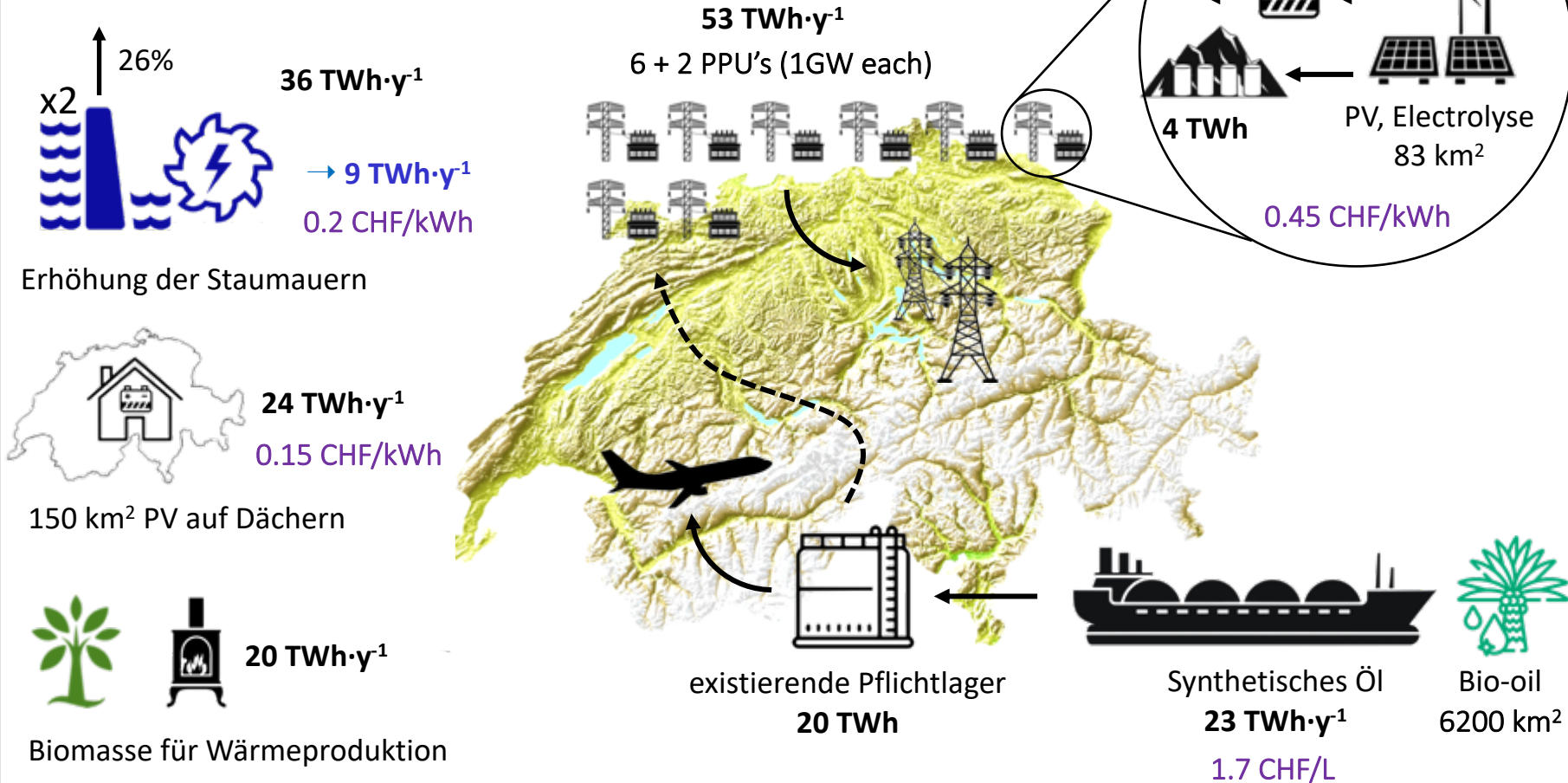
Importe, Reserven



Energiewende (1965 – 2050)



Erneuerbare Energie Lösung (Beispiel)

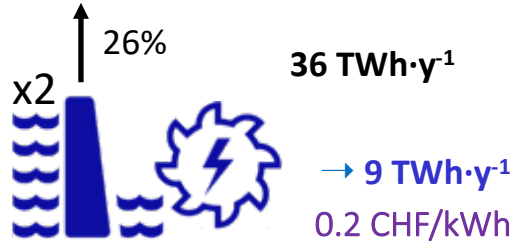


Senken des Energieverbrauchs durch Isolation, Nutzung der Abwärme aus den Kraftwerken zum Heizen.

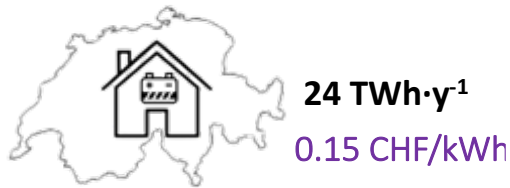
Kosten: 6 x 40 Mrd. CHF = 240 Mrd. bis 2050 entspricht ca. 1.3% des BSP pro Jahr

Ref.: Andreas ZÜTTEL, Christoph NÜTZENADEL, Louis SCHLAPBACH, Paul W. GILGEN "Power plant units for CO₂ Neutral Energy Security in Switzerland", Frontiers in Energy Research: Process and Energy Systems Engineering, 12:1336016 (2024).

CO₂ neutrale Energie Lösung (Beispiel)



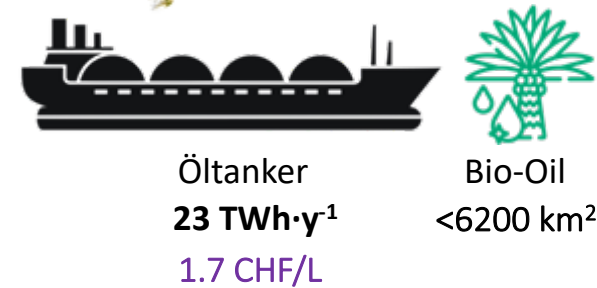
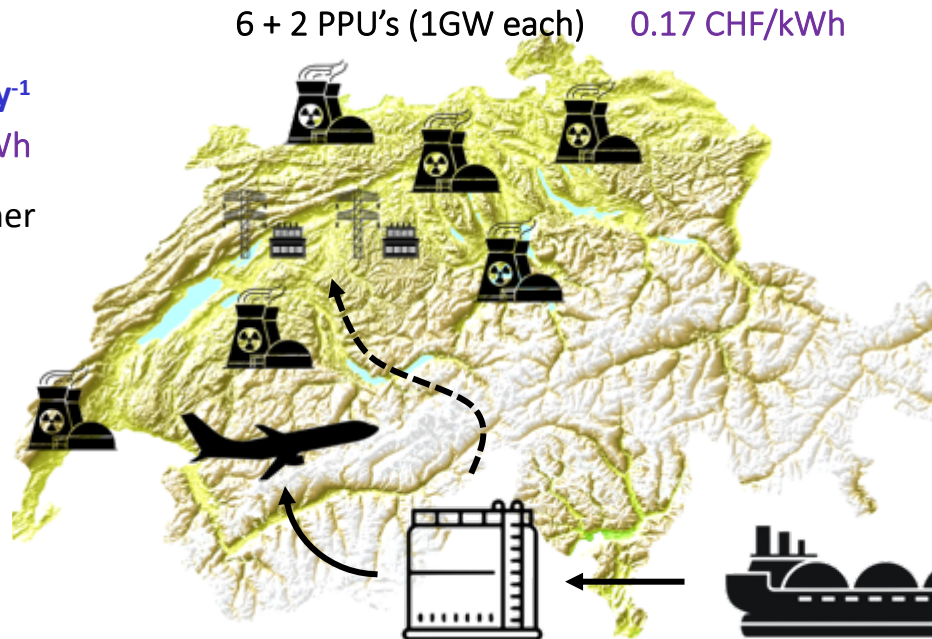
Vergrößerung der Wasserspeicher



150 km² PV auf Dächern



Biomasse zum Heizen



Senken des Energieverbrauchs durch Isolation, Nutzung der Abwärme aus den Kraftwerken zum Heizen.

**Kosten: 6 x 20 Mrd. CHF = 120 Mrd. bis 2050
entspricht ca. 0.6% des BSP pro Jahr**





Andreas ZÜTTEL, Prof. Dr.

Laboratory of Materials for Renewable Energy (LMER)
Institute of Chemical Sciences and Engineering (ISIC)
Basic Science Faculty (SB)
École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) Valais/Wallis
Rue de l'Industrie 17, CP 440
CH-1951 Sion, Switzerland

e: andreas.zuettel@epfl.ch
m: +41 79 484 2553
T: +41 21 695 8304 (Secretary)
U: <http://lmer.epfl.ch>

