

Welche Speicher sichern unseren Strom im Winter?

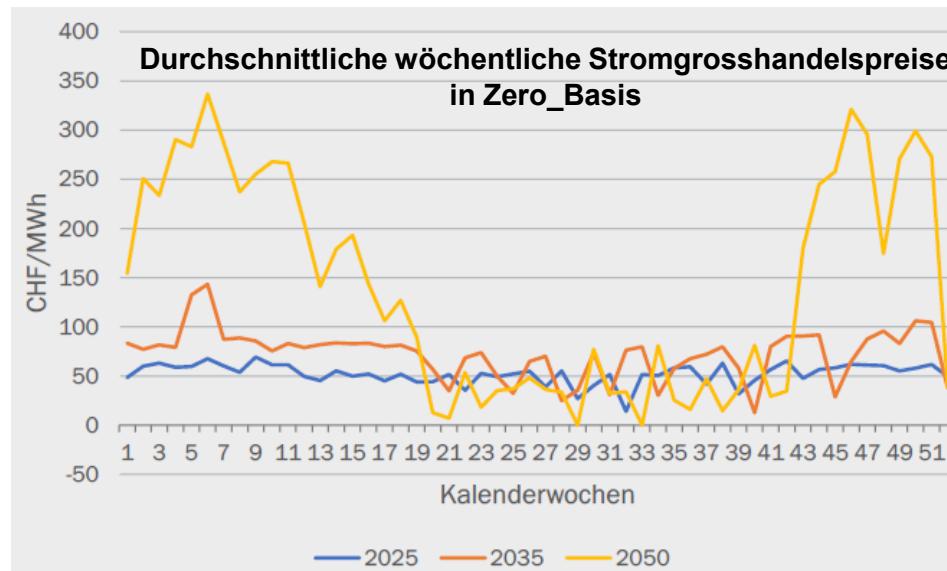
ZHAW
Energie- und Umweltforum

Institut für Bioenergie und Ressourceneffizienz (IBRE)
Prof. Dr. Tom Kober
Kontakt: tom.kober@fhnw.ch
12.11.2025

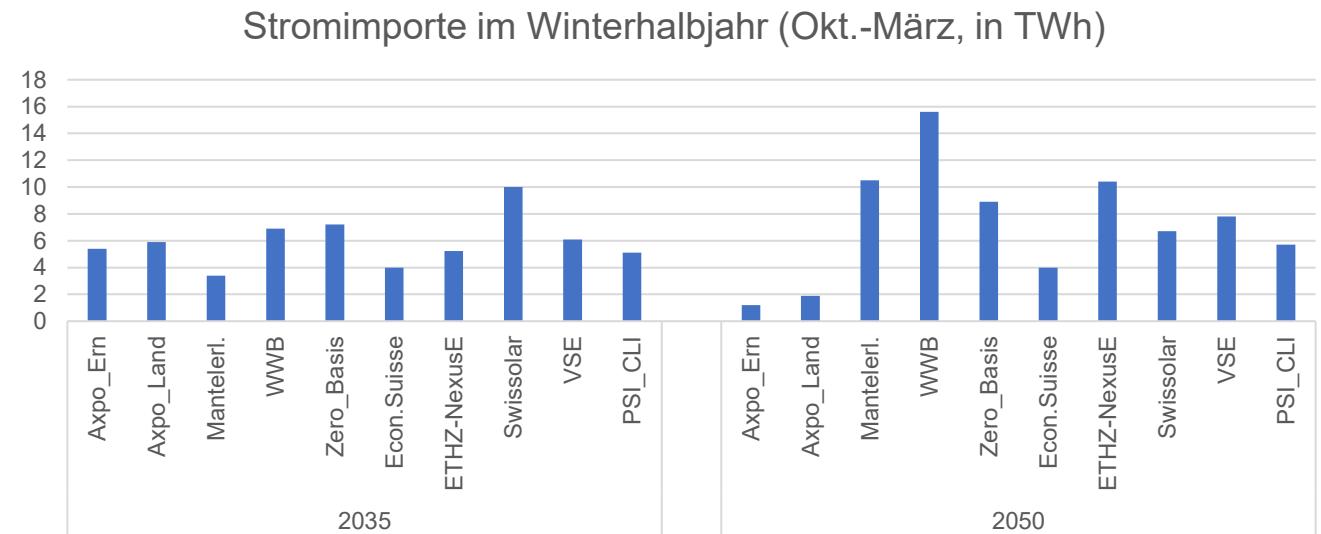


«Winterstromlücke» – wie definiert / wie gross?

- «Verbrauch abzüglich inländischer Erzeugung, ohne zusätzliche Flexibilitäten» → «Nettostromimporte»?
- Ansteigender Jahresstromverbrauch auf 69-76 TWh in 2035 und 77-91 TWh in 2050, mit einem Verbrauchsanteil im Winter zwischen 50 und 58%



Quelle: Prognos et al. 2021



Quellen: Axpo Power Switzer (2025), Panos et al. 2023

Reduktion der «Winterstromlücke» und saisonale E-Speicher

- Stromverbrauch im Winter senken (Energieeinsparungen, Effizienz erhöhen)
 - Wärmespeicher
 - Speicher für chemische Energieträger, wie CH₄ und H₂ (ohne Wiederverstromung)
- Inländische Produktion im Winter steigern bzw. sichern (Gas, Holz, ggf. m. WKK, Windenergie, Geothermie, Kernenergie)
 - Wasserkraftreserve
 - Chemische Energiespeicher (z.B. Wasserstoff) mit anschliessender Verstromung

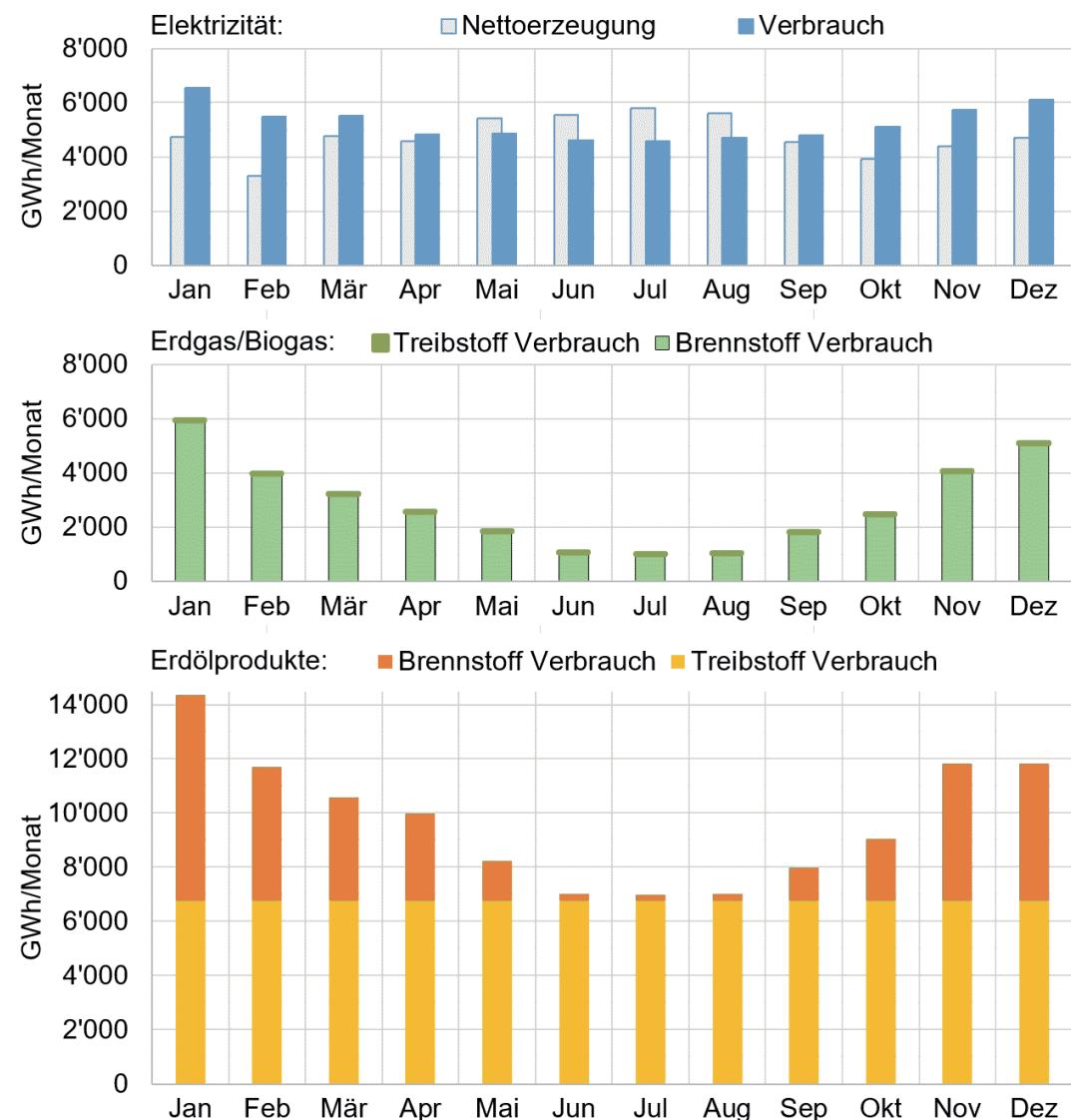
Abschätzung Status-Quo Speicher heute

– Zentrale Speicher (ca. 75 TWh)

- Notlager für Heizöl und Treibstoffe (ca. 48.5 TWh)
- Wasserspeicher (9 TWh)
- Erdgasspeicher in FR (3 TWh)
- Uran (ca. 7 TWh)

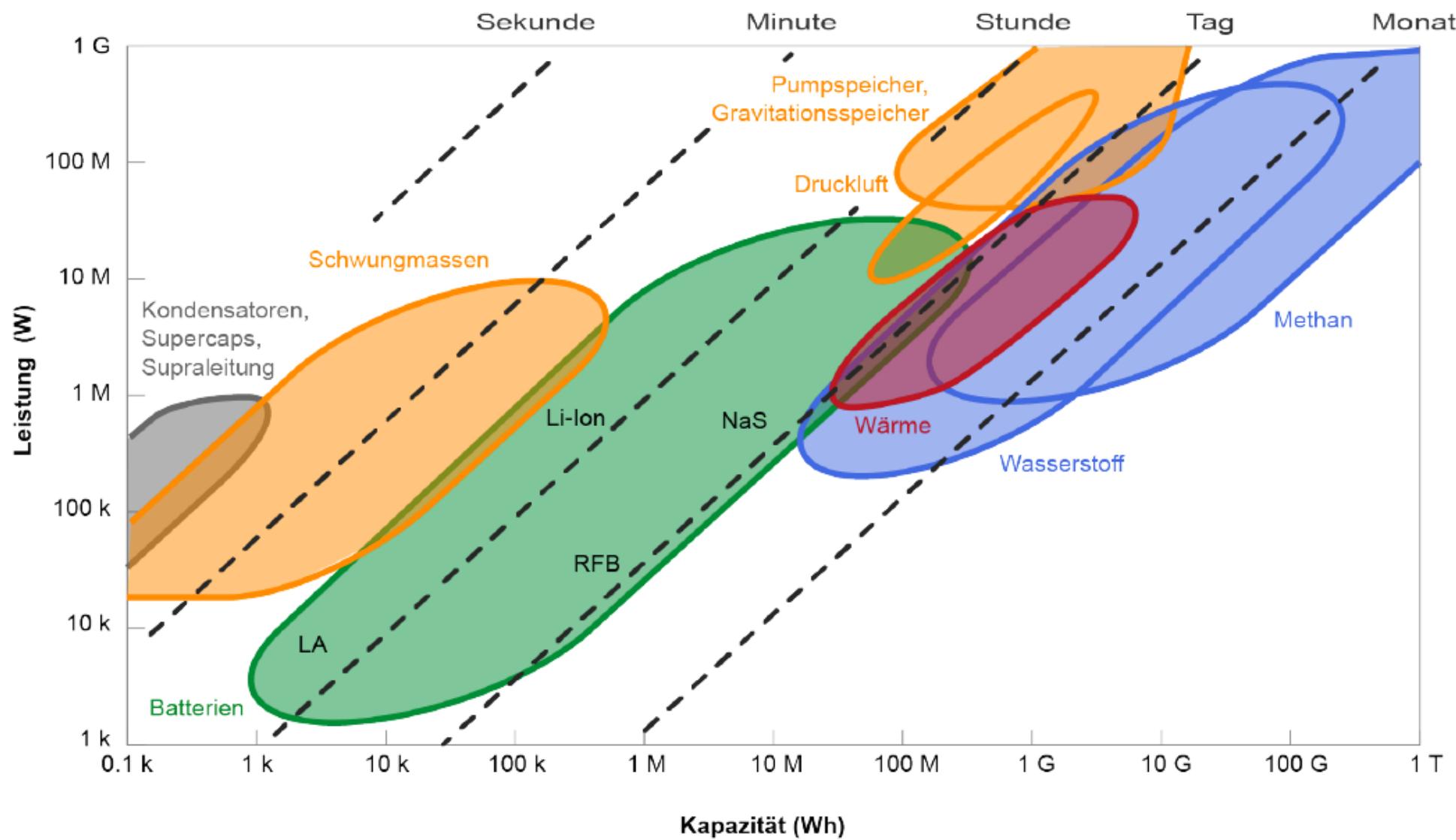
– Dezentrale Speicher

- Heizöl (schätzungsweise 18 TWh)
- Tankstellen (ca. 1 bis 2 TWh)
- Wärmespeicher (ca. 50 GWh)
- Batteriespeicher (ca. 1.3 GWh)



N.B.: Verteilung des Endverbrauchs der wichtigsten Energieträger auf die Monate im Jahr 2017. Quellen: Elektrizitätsbilanz der Schweiz 2017 und Gesamtenergiestatistik 2017 beide vom BFE, «Erdgas/Biogas in der Schweiz, Ausgabe 2018, VSG-Jahresstatistik», Verband der Schweizer Gasindustrie (Originalgrafik in Friedl et al. 2019)

Einordnung Energie- Speicher



■ mechanisch
■ chemisch

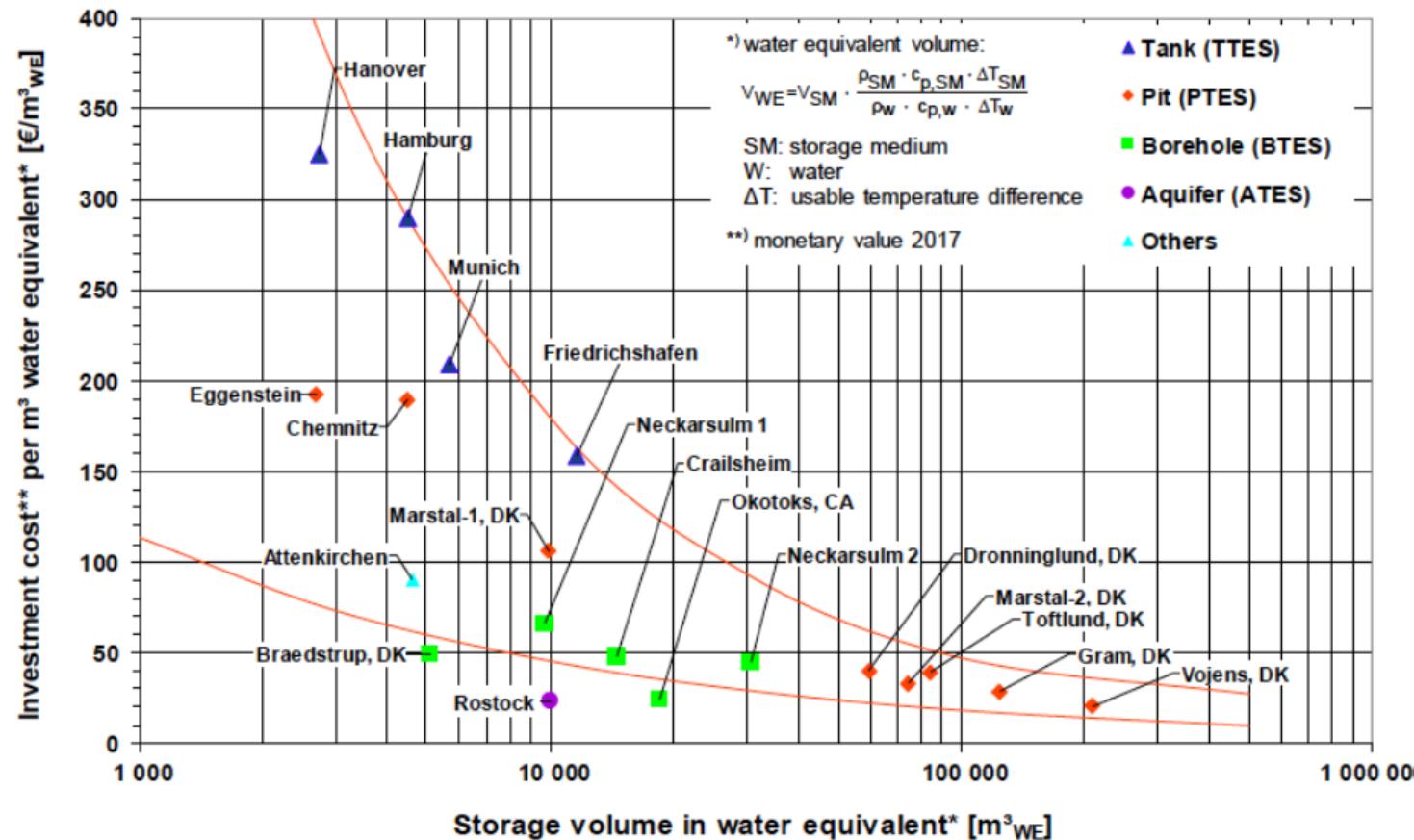
■ elektrochemisch
■ elektrisch

■ thermisch

Quelle: Oberholzer 2021

Saisonale Wärmespeicherung

- Erdwärmespeicherarten: Gruben-, Sonden-, Aquiferspeicher
- Energiedichte: $50\text{-}95 \text{ kWh/m}^3 \rightarrow \text{Platzbedarf!}$
- Abnehmende Investitionskosten bei zunehmender Grösse
- Investitionskosten unter 30 Euro je m^3 erreichbar
- Speicherkosten ca. $100\text{-}130 \text{ CHF/MWh}_{\text{th}}$ bei einem Speicherzyklus pro Jahr
- Einsparung Winterstrom ca. $1/3^*$ der thermischen Speichermenge
- CH-Winterstrom bis zu $-4 \text{ TWh}_{\text{el}} \text{ p.a.}$

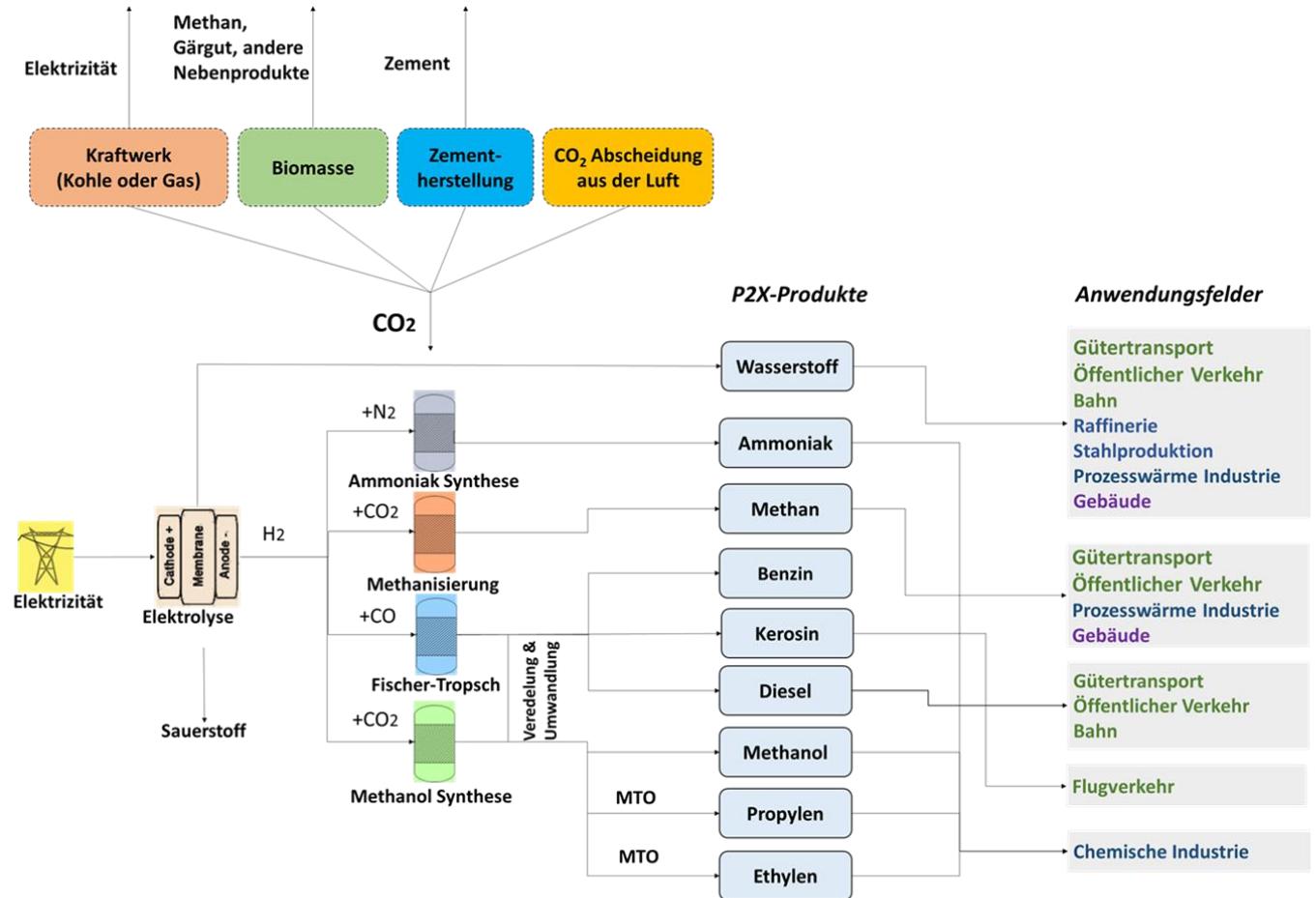


*Annahme Wärmepumpe mit COP 3

Quelle: <https://solarthermalworld.org/news/seasonal-pit-heat-storage-cost-benchmark-30-eurm3/>

Chemische Energieträger und ihre Speicherung

- Hohe volumetrische Energiedichte
- Vergleichsweise günstige Speicherkosten
- Verlustreiche Produktion, insb. wenn strombasiert
- Rückverstromung ebenfalls verlustbehaftet



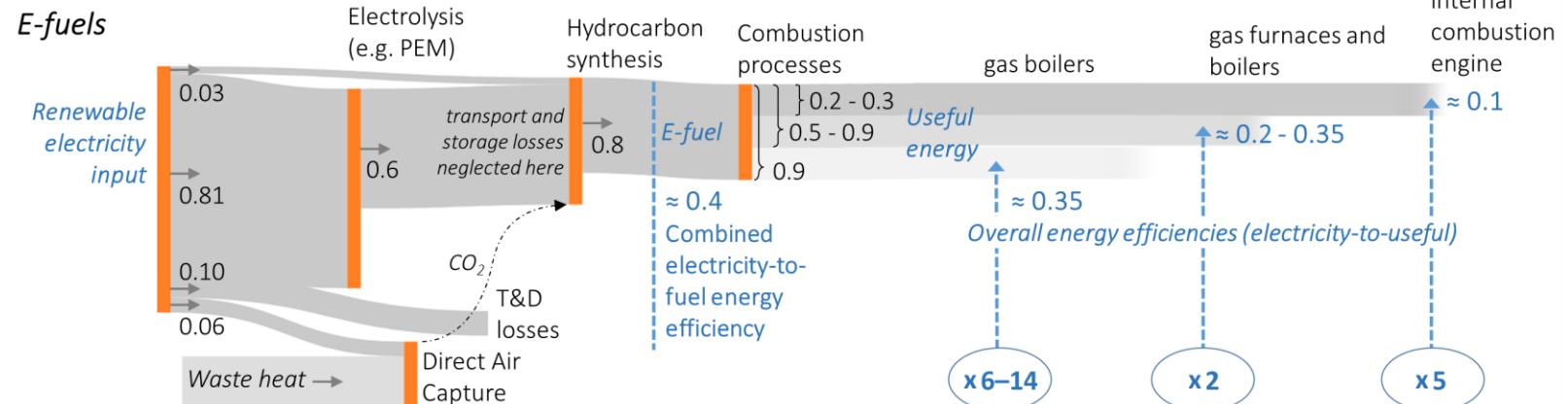
H₂-basierte E-fuels: Energieeffizienz

E-fuels

Direkte Nutzung
des Stroms

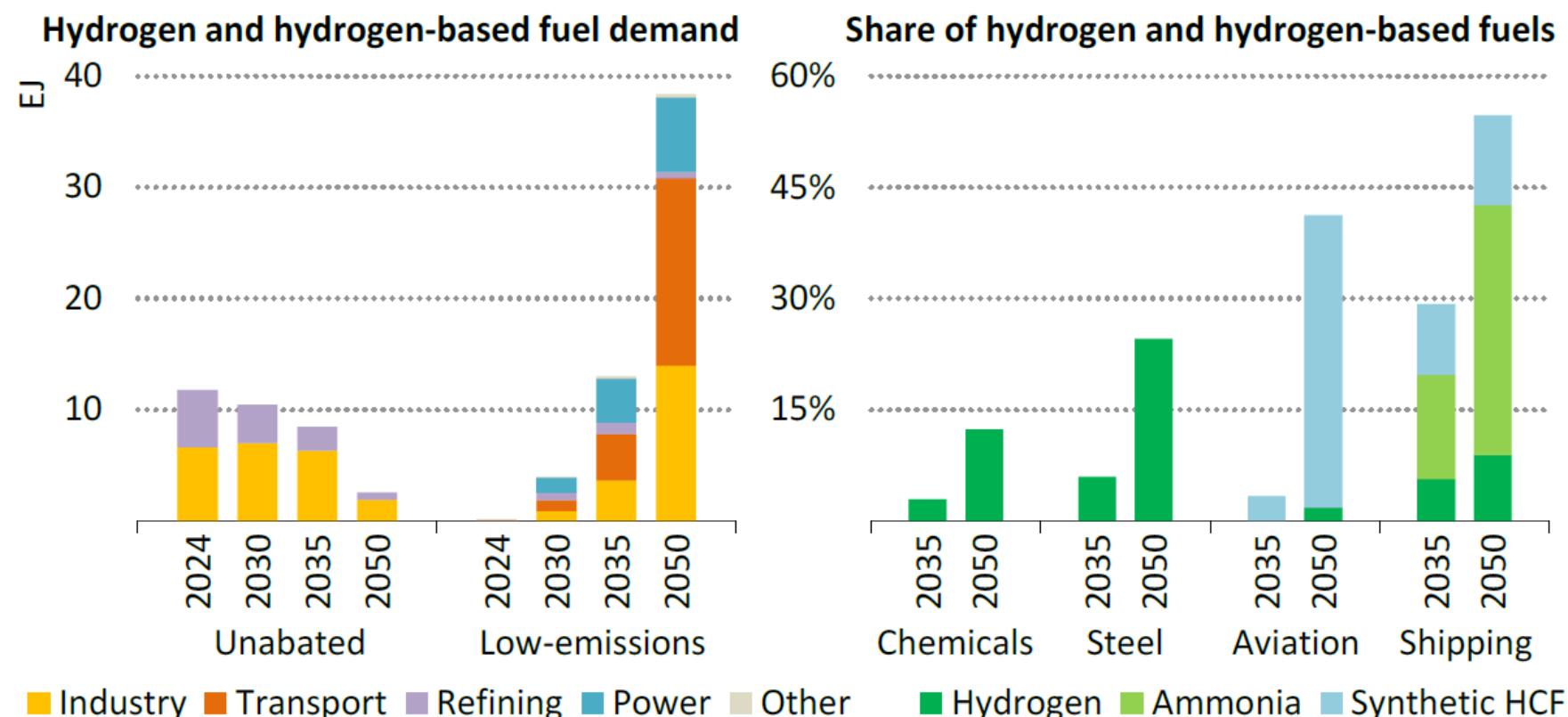
Electricity-to-useful energy efficiencies

Black: individual efficiencies
Blue: combined efficiencies



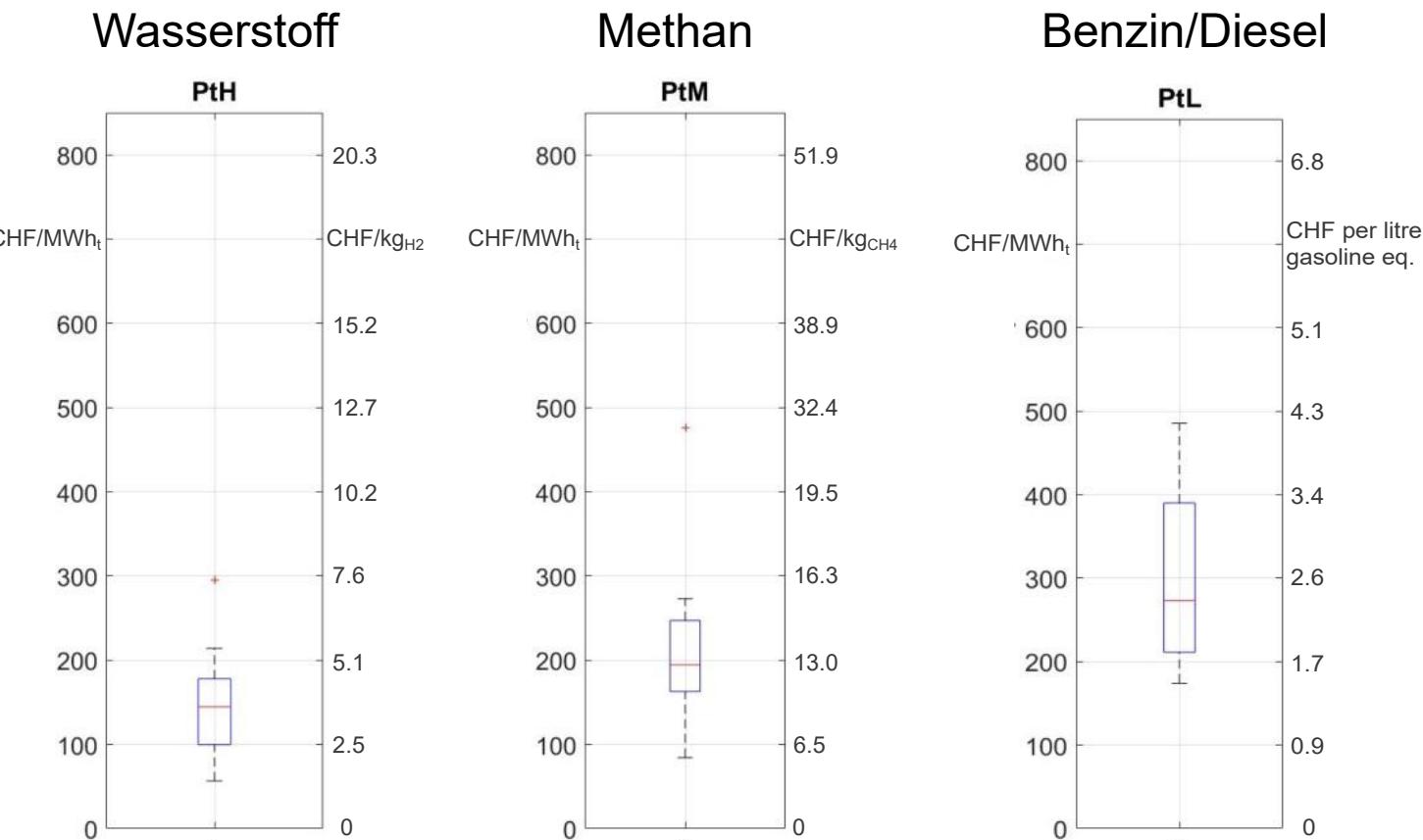
Ueckerdt, F., et al. (2021) Potential and risks of hydrogen-based e-fuels in climate change mitigation.

Verwendung von P2X-Produkten weltweit primär in Industrie und im Verkehrssektor



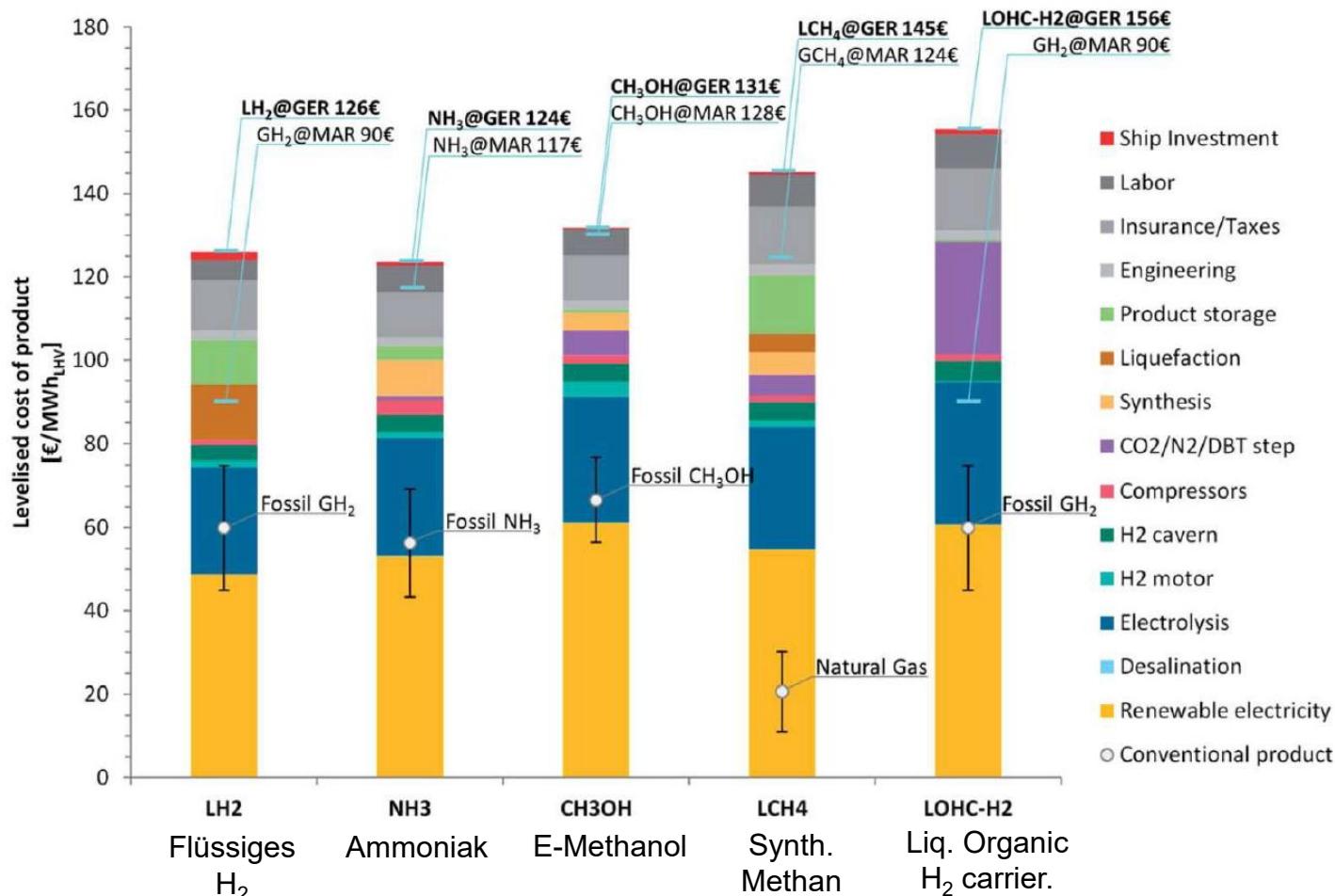
Quelle: IEA WEO (2025), weltweite Nachfrage im Netto-Null-Szenario der IEA

Produktionskosten von P2X-Produkten



Quelle: Kober et al. (2019)

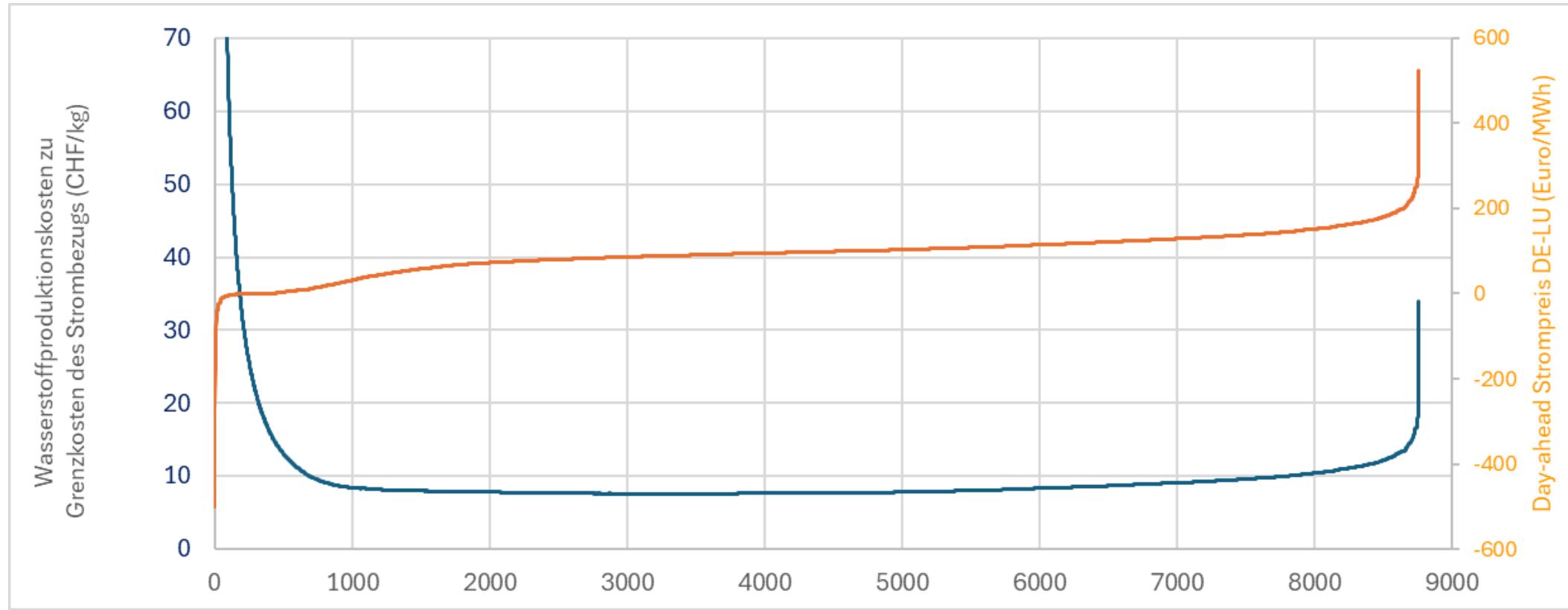
P2X-Produkte importiert



Quelle: Bauer et al. (2022)

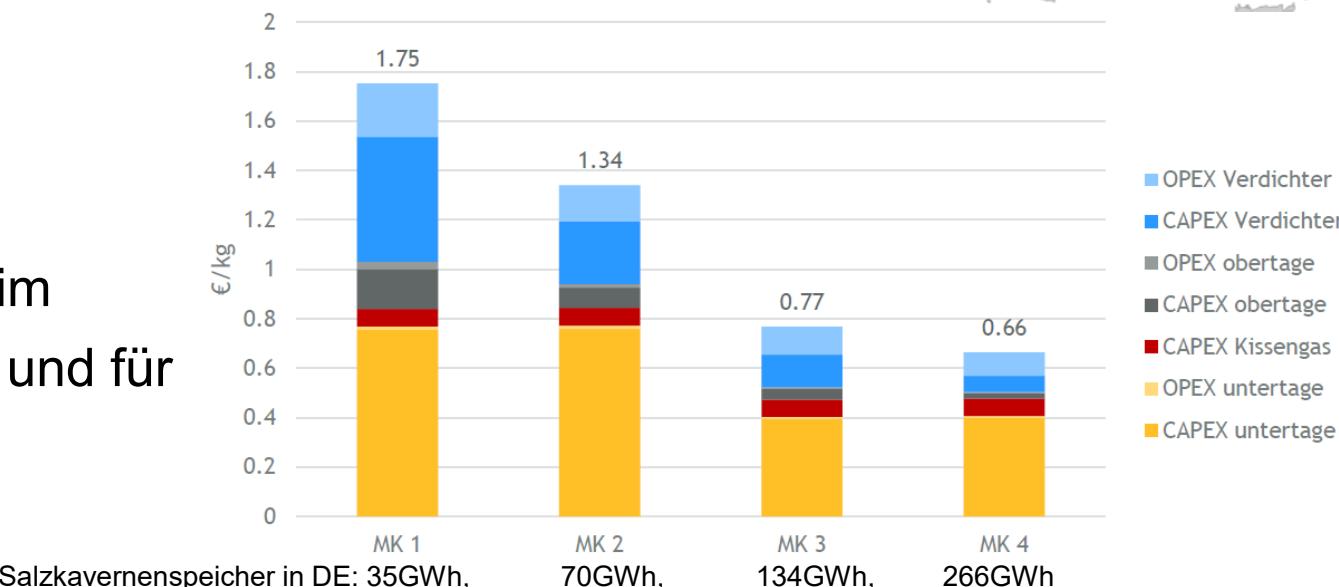
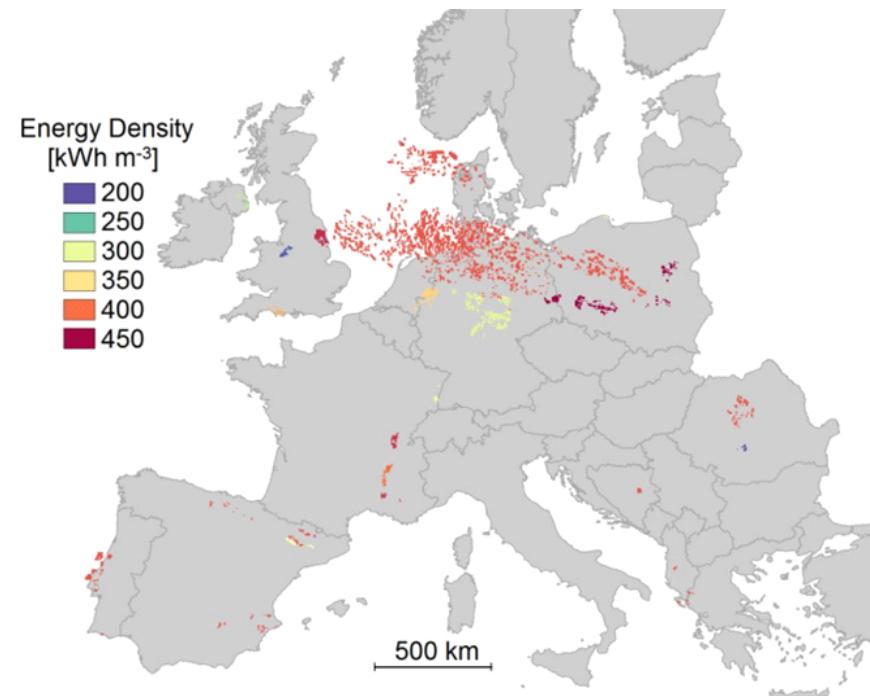
Wasserstoffproduktion mit PV-Überschussstrom?

Wasserstoffproduktionskosten berechnet mit den day-ahead Strompreisen (DE-LU) aus 2023



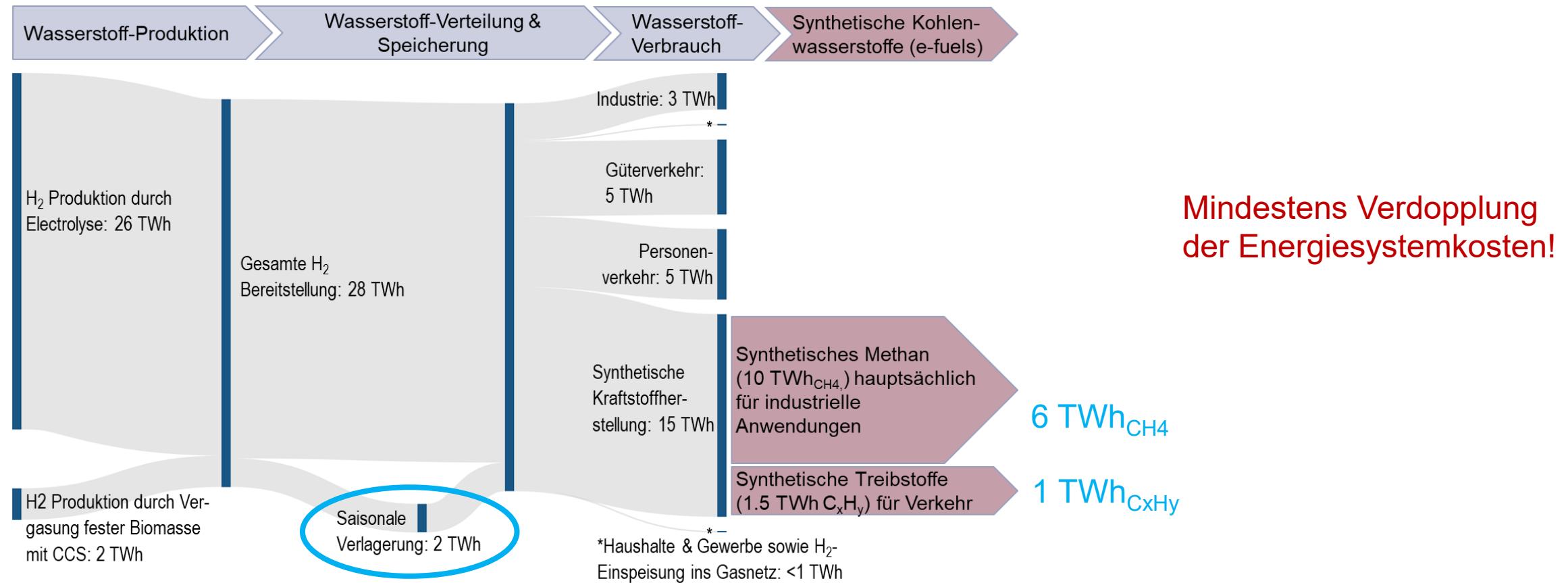
Wasserstoffspeicher

- Grossspeicher in Salzstöcken, Aquiferen und Felskavernen (primär ausserhalb der Schweiz)
- Felskavernenspeicher auch in der Schweiz denkbar
- Speicherkosten zwischen 0.7 und 1.8 Euro/kg_{H2} (23-59 Euro je MWh_{H2}) bei zwei Zyklen; Felskavernenspeicher weitaus teurer
- Zum Vergleich: Kosten **Methanspeicherung** im europäischen Ausland ca. 4-8 Euro/MWh_{CH4} und für Felskavernenspeicher in der Schweiz ca. 13 Euro/MWh_{CH4}



Quellen: oben: GIE (2021), unten: EWI (2024)

H₂ Versorgung und saisonale H₂ Speicherung bei möglichst hoher Energieautarkie der Schweiz (Szenario für 2050)



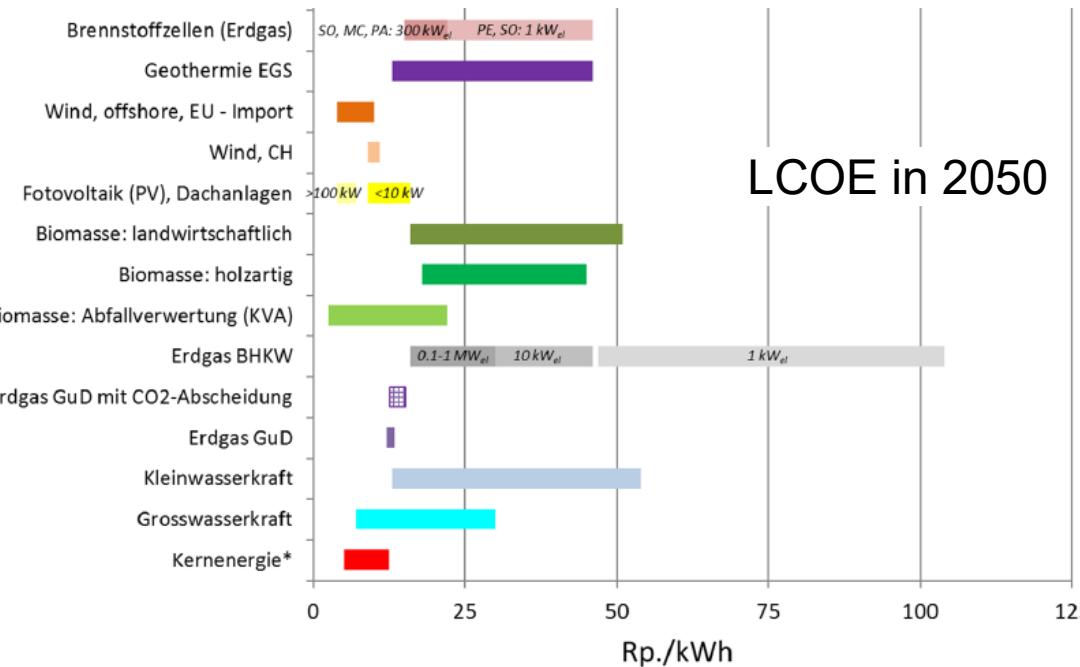
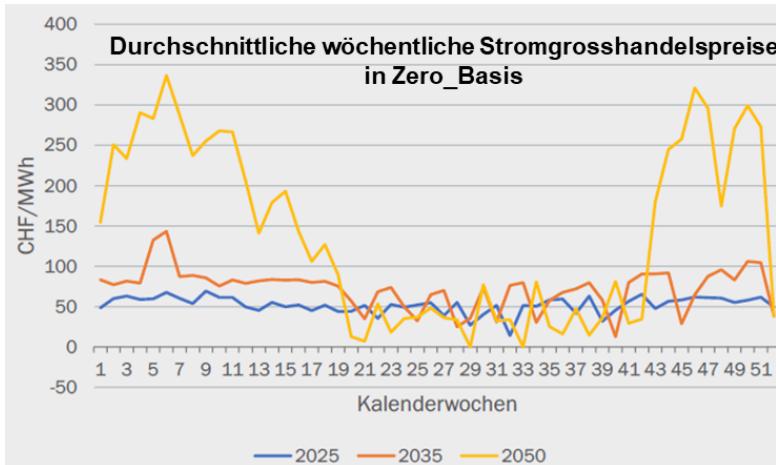
Quelle: Panos et al. 2023

Reduktion der «Winterstromlücke» und saisonale E-Speicher

- Stromverbrauch im Winter senken (Energieeinsparungen, Effizienz erhöhen)
 - Wärmespeicher
 - Speicher für chemische Energieträger, wie CH₄ und H₂ (ohne Wiederverstromung)
- Inländische Produktion im Winter steigern bzw. sichern (Gas, Holz, ggf. m. WKK, Windenergie, Geothermie, Kernenergie)
 - Wasserkraftreserve
 - Chemische Energiespeicher (z.B. Wasserstoff) mit anschliessender Verstromung

Strombereitstellung im Winter

- Hohe Strompreise im Winter bei ca. 200-350 CHF/MWh in 2050 zu erwarten (Folie 2)
- Wasserkraftreserve im Winter +2 TWh, ca. 70-300 CHF/MWh
- Gasturbinenanlagen (auch H₂-betrieben) 1 bis 3 GW in 2050, ca. 150-350 CHF/MWh (abh. von Auslastung, Anlagentyp und Preise für Brennstoffe und ggf. CO₂ Zertifikate), wenn möglich im WKK Betrieb
- Holz-Heizkraftwerk ca. 180-320 CHF/MWh, ca. 0.3 GW
- Windenergie ca. 50-90 CHF/MWh (bis zu 6 TWh im Winter)
- Importe ca. 1-6 TWh



Quellen: Bauer et al. (2022), Bauer et al. (2029)

Résumé

- Es braucht einen Mix an Massnahmen zur Minimierung der «Winterstromlücke»
- Es sollte Ziel sein, den Elektrizitätsverbrauch im Winter so gering wie möglich zu halten
- Saisonale chemische Speicher können zum Massnahmenmix beitragen (2-8 TWh):
 - Wasserstoffspeicher dezentral bzw. im kleineren Massstab im Inland, sonst im Ausland
 - Flüssige e-fuels gute Transport- und Lagerfähigkeit, Nutzung vorhandener Infrastruktur, aber Wettbewerb mit Verkehrssektor
- Energetisch problematisch, wenn e-fuels direkte Elektrifizierung substituiert
- Saisonale Grosswärmespeicher an ausgewählten Standorten (bis zu 4 TWh_{el})
- Ausbau der Stromerzeugung im Winter (Wasser +2 TWh), Wind (max. ca. 6 TWh) , konventionelle Kraftwerke (1-3 GW Gasturbinen)
- Sicherstellung der Integration in den europäischen Elektrizitätsmarkt & Stromimporte