

Energieversorgungssicherheit in der Energietransformation

H. U. Heinrichs, F. Kullmann, N. Pflugradt, J. Linßen, D. Stolten

Parlamentarisches Frühstück

16. März 2023

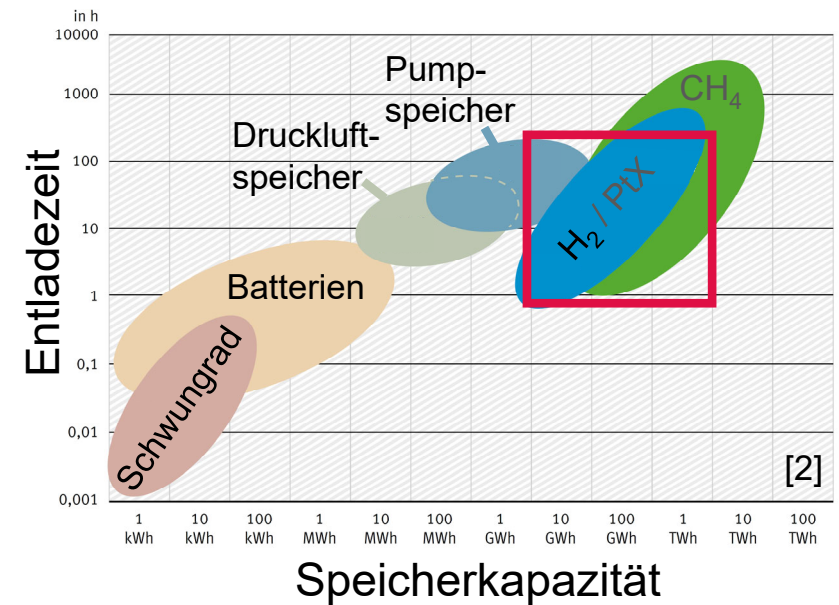
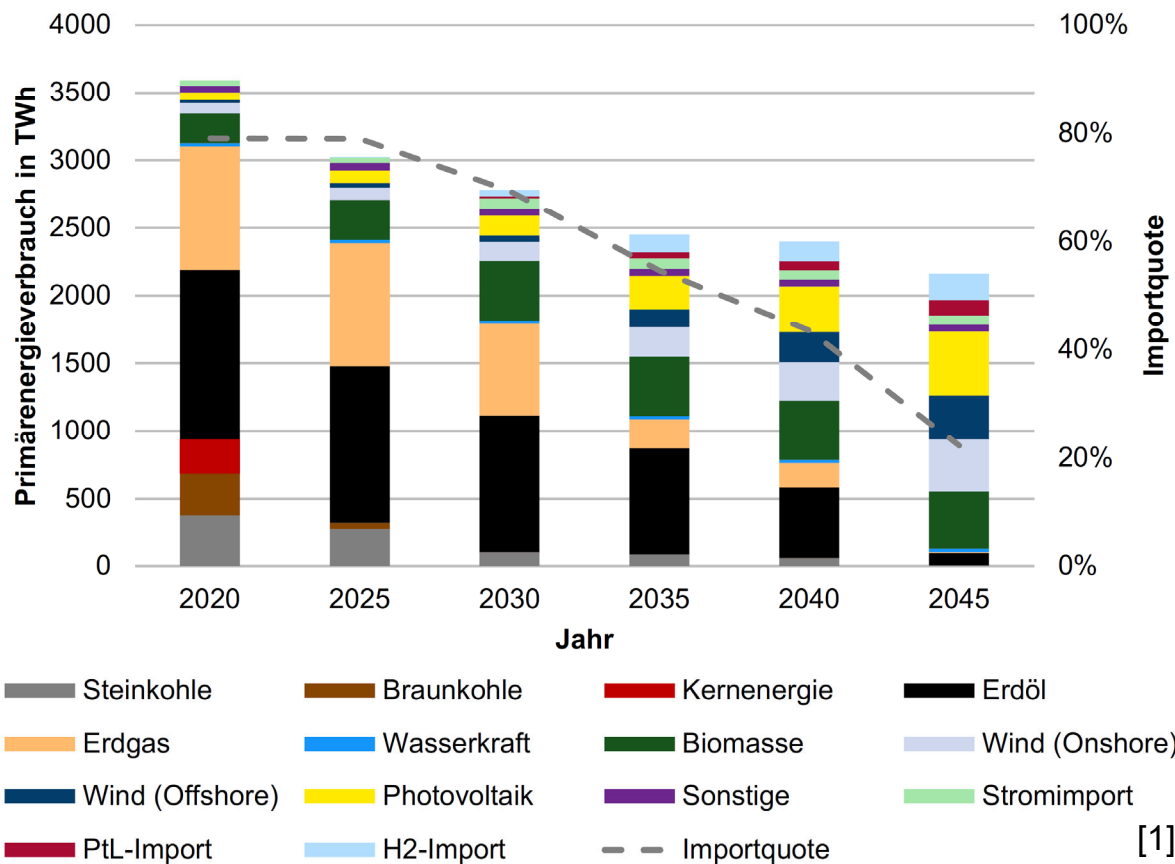
Brasserie am Gendarmenmarkt, Berlin

IEK-3: Institute of Techno-economic Systems Analysis

Treibhausgasneutralität senkt Importabhängigkeit Deutschlands

Treibhausgasneutralität erfordert:

- fast vollständige **Dekarbonisierung aller Sektoren** + natürliche Senken + geolog. Speicher [1]
- **100% erneuerbare Energien** bei Verdopplung der Stromnachfrage bis 2045 [1]

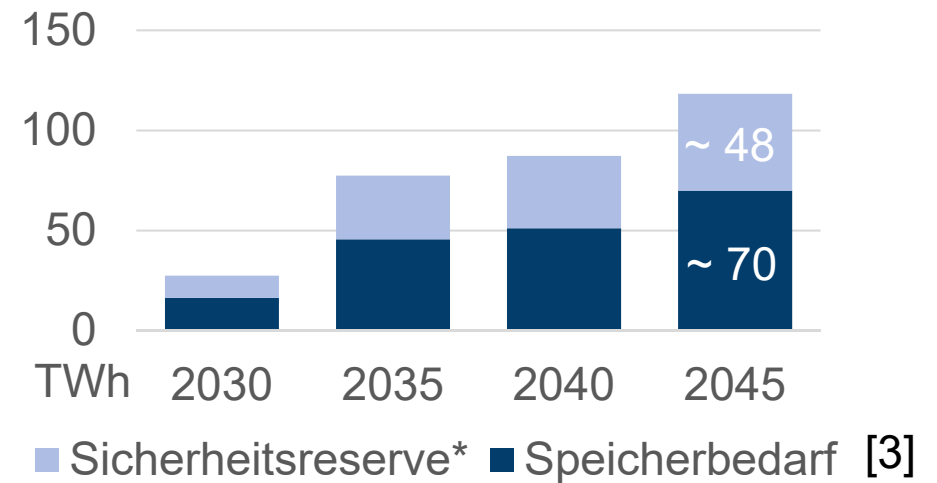
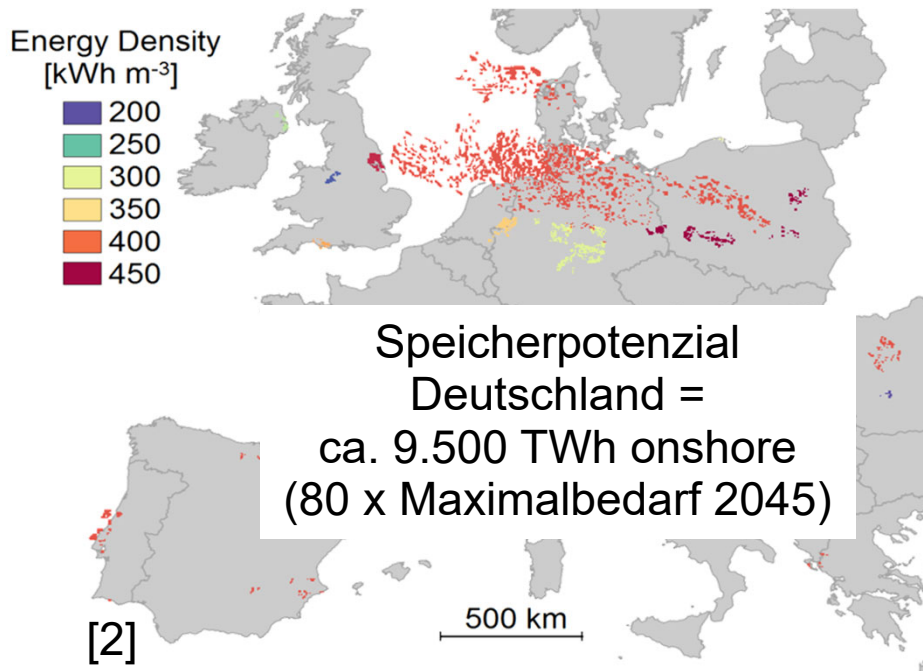


➔ **Großspeicher in Salzkavernen & grüner Wasserstoff erforderlich**

[1] D. Stolten et al. (2021): Strategien für eine treibhausgasneutrale Energieversorgung bis zum Jahr 2045. [2] Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050, Umweltbundesamt, Berlin, 07/2014.

Start Um- und Ausbau von Salzkavernen Jetzt!

- **Neben Umstellung** (max. ca. 32 TWh_{H2} (Erdgas) + 17,6 TWh_{H2} (Öl) [1]) bestehender Kavernenspeicher **auch Neubau erforderlich**, aber **Soleentsorgung** noch **ungeklärt**
- **Während Umstellung** muss **Versorgungssicherheit** weiterhin **erhalten** bleiben
- **Kavernenbereitstellung braucht Zeit**: Neubau bis 10 a, Umstellung bis 5 a [1]
- Nur **wenige Kavernenbauer** in Deutschland, aber **>400 neue Kavernen bis 2045** nötig



Salzkavernen = großtechnische Untertagespeicherung in Kavernen in Salzgesteinsschichten

Alle Energieangaben als unterer Heizwert (LHV). *analog zum Erdölbevorratungsgesetz. [1] M. Kohl (2022) Gasspeicher – Integraler Bestandteil einer zukünftigen Wasserstoffwirtschaft, Megatrend Wasserstoff, Berlin. [2] Caglayan et al. (2020) Technical potential of salt caverns for hydrogen storage in Europe, IJHE, Vol. 45(11), p. 6793-6805. [3] D. Stolten et al. (2021): Strategien für eine treibhausgasneutrale Energieversorgung bis zum Jahr 2045.

Flüssigwasserstoffimporte anstatt Ammoniak

- **Wasserstoffimporte nötig** (ca. 50% = 200 TWh in 2045 [4])
- **Schiffsimporte** erlauben **höhere Versorgungsflexibilität**
- **Log-in Effekte** bei Importinfrastruktur **vermeiden**
- **Diversifikation** von Exportländern **wichtig**
- Europa hat Technologien um LH₂-Tanker zu bauen



Ammoniak (NH₃)

- **Schiffskapazität global:** ca. 36 TWh [5]
- Ammoniak ist **hochgiftig** (LD_{50,Ratte} = 200 ppm)
- **Wertschöpfung** der chemischen Industrie in Deutschland **gefährdet**
- **Gefahr von globalen Ernteeinbußen** bis zu 5% wegen Konkurrenz um Schiffe [1,2]
- **Zusätzliche erneuerbare Energien** in Deutschland nötig für NH₃-Cracking (ca. 85% Windenergiepotenzial vom Saarland [6])



Flüssigwasserstoff (LH₂)

- Aktuell **erfolgreicher Prototyp** von Kawasaki [3] → **Markteintritt Mitte 2030er Jahre!**
- **Mittelfristig günstigste Option** für globalen Transport
- Wasserstoff ist **nicht giftig**
- **Energieaufwand** für Verflüssigung im **EE-reichen Exportland**

[1] World population supported by synthetic nitrogen fertilizers (ourworldindata.org). [2] International Fertilizer Association, IFA. [3] Kawasaki (2019): World's first Liquefied H₂ Carrier Suiso Frontier. [4] D. Stolten et al. (2021): Strategien für eine treibhausgasneutrale Energieversorgung bis zum Jahr 2045. [5] S&P Global (2022): Global Fleet, S&P Global Market Intelligence. [6] R. Stanley et al. (2022) Potentials of Renewable Energy Sources in Germany and the Influence of Land Use Datasets, Energies 2022, 15(15), 5536.

Materialverfügbarkeiten mitdenken – Beispiel Iridium in PEM-Elektrolyseuren

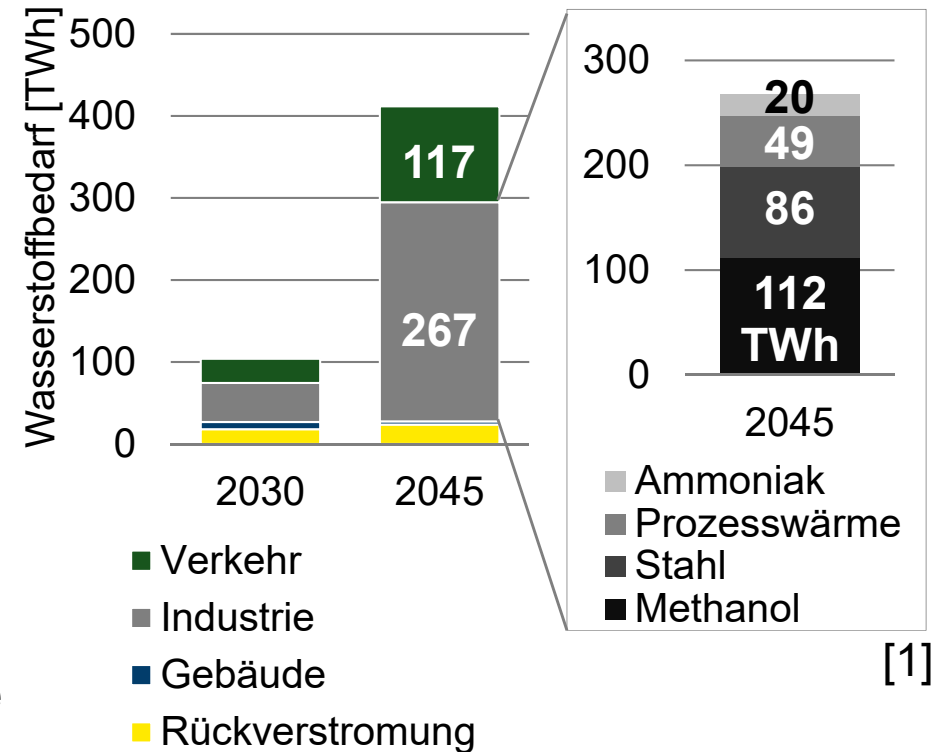
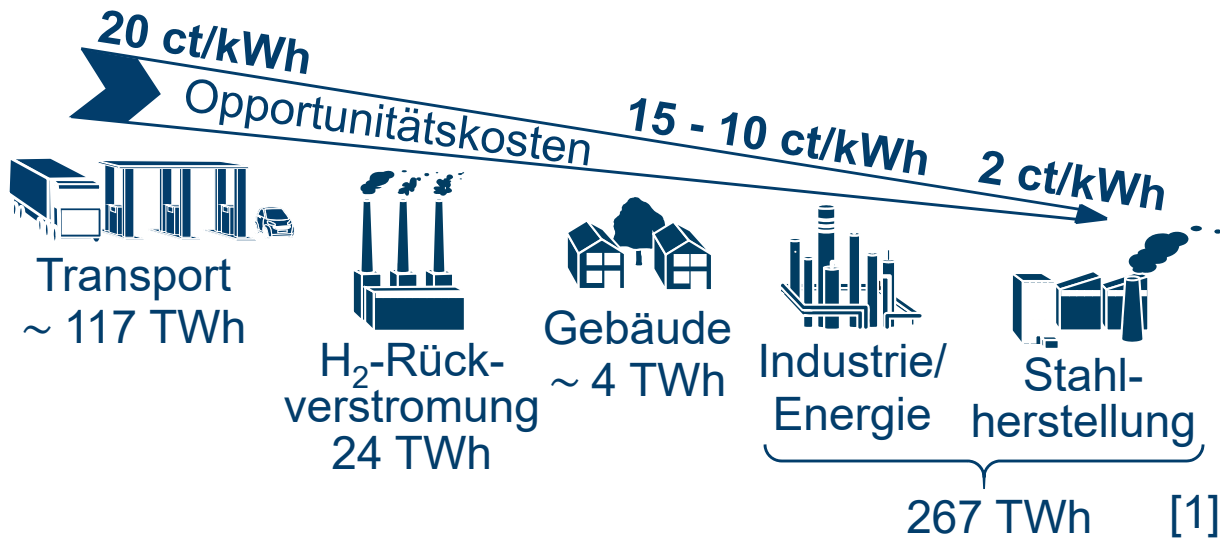
- **PEM-Elektrolyseure** sind **flexible** betreibbar, **überlastfähig** und **Kosten-senkungen** erwartet = **sehr gut für volatile erneuerbare Energien** [1]
- **Iridiumabbau** 2016 ca. **7 t/a** meist als **Beiprodukt** (z.B. Platinabbau); Zugänglichkeit nur über Preis in Konkurrenz [1]
- **Südafrika** liefert ca. 92% des globalen Iridiums = **starke Abhängigkeit** [4]
- **Aktueller Iridiumbedarf** für Anode im **PEM-Elektrolyseur** 1-2 mg/cm² [1] bei einer Leistungsdichte von ca. 4,4 W/cm² [2] → **ca. 227-454 mg/kW**
- Gemäß globalem IRENA 1.5°C Szenario **4-5 TW Elektrolysekapazität in 2050** [5] → ca. 150-185 GW/a durchschnittliche Neuinstallationen
- **Jahresbedarf Iridium für PEM-Elektrolyseure = ca. 34-84 t/a**
→ **übersteigt globale Iridiumproduktion um Faktor ca. 5-12!**
- Zukünftiges optimistisches **Reduktionspotenzial Iridiumbedarf** PEM-Elektrolyseure = 10 mg/kW [1,2] → **ca. 20-26% globale Iridiumproduktion + Nachfragekonkurrenz**
- **Alkalische Elektrolyseure** enthalten kein Iridium, haben aber eine Mindestlast (im Verbund irrelevant) → **Chance für deutsche Industrie!**



Iridium: Metall der Platingruppe, Vorkommen in Erdkruste ca. 0,001 ppm [3]

[1] Saba, S. M. (2021) Technische und ökonomische Bewertung der Polymer-Elektrolyt-Membran Elektrolyse, Diss. RWTH Aachen. [2] Tjarks, G. H. (2017) PEM-Elektrolyse-Systeme zur Anwendung in Power-to-gas Anlagen, Diss. RWTH Aachen. [3] <https://en.wikipedia.org/wiki/Iridium>. [4] European Commission report on the 2020 criticality assessment. [5] <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Hydrogen>

Industrielle Stoffliche H₂-Nutzung Essentiell für Treibhausgasneutralität



- Über den **Einstieg im Verkehr** können **Kostenreduktionspotenziale** für den Einsatz in der **Industrie im globalen Wettbewerb** realisiert werden
→ **höherer staatlicher Förderbedarf ohne Verkehrseinstieg**
- **Wasserstoff Option für Dekarbonisierung** für Teile der Industrie
- Etwa **70%** des zukünftigen **Wasserstoffbedarfs** entfällt auf die **Industrie**
→ **mehr als 130 TWh Wasserstoff nur für stofflichen Bedarf**

[1] D. Stolten et al. (2021): Strategien für eine treibhausgasneutrale Energieversorgung bis zum Jahr 2045.

Schlüsselaussagen zur Energieversorgungssicherheit

- Treibhausgasneutralität **senkt deutsche Importabhängigkeit**
- **Zügiger Um- und Ausbau Salzkavernen** erforderlich
- Umsetzung (mit Begleitforschung) und Marktreife von **Flüssigwasserstoffschiffen unterstützen**
- **Materialverfügbarkeiten** mitdenken: **AEL-Elektrolyseure** Chance für deutsche Industrie
- **Stoffliche Wasserstoffnutzung** in der Industrie essentiell für Treibhausgasneutralität:
Kostenreduktionspotenziale durch Verkehrssektor erschließen

Thank you for your attention!



For further questions, please contact:

Dr. Heidi Heinrichs
h.heinrichs@fz-juelich.de

Prof. Dr. Detlef Stolten
d.stolten@fz-juelich.de

IEK-3 profile
go.fzj.de/iek3



IEK-3 publications
go.fzj.de/iek3-publications



GHG net zero scenario
go.fzj.de/ksg45



Project DacStore
go.fzj.de/dacstore



H2 Atlas Africa
go.fzj.de/h2africa



Project Resur
go.fzj.de/resur

