Wasserstoff nutzen in Industrie und Gewerbe: Stand des Hochlaufs und Perspektiven

Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner et al.





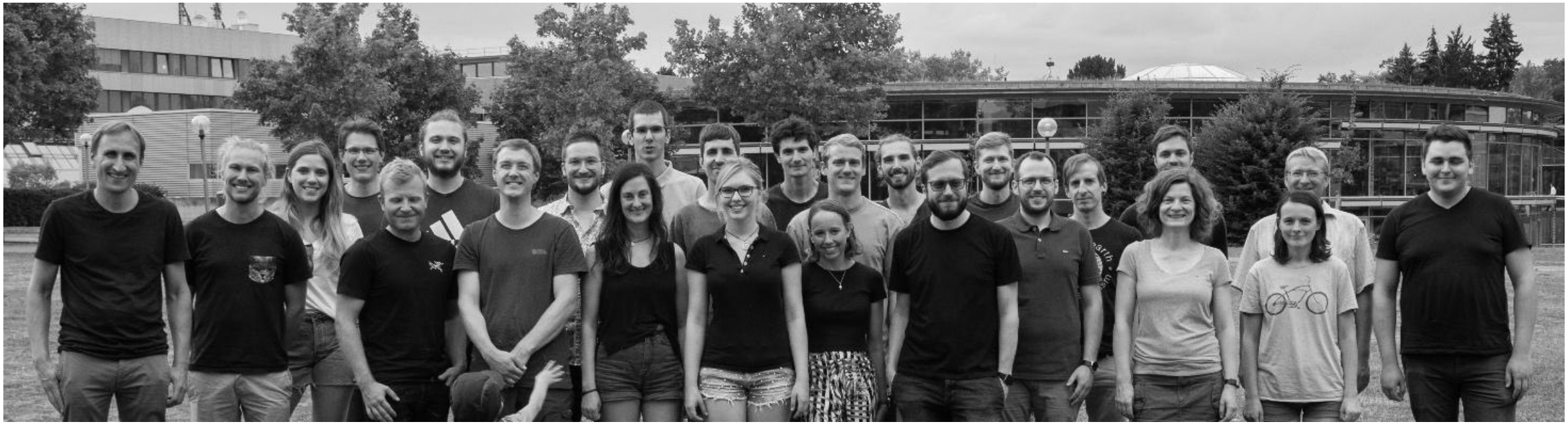
Wasserstoff Forum Hessen
25 Jahre

HOLM Frankfurt am Main

27.10.2026

OTH Regensburg +30 Forscher:innen arbeiten an H_2/PtX Lösungen



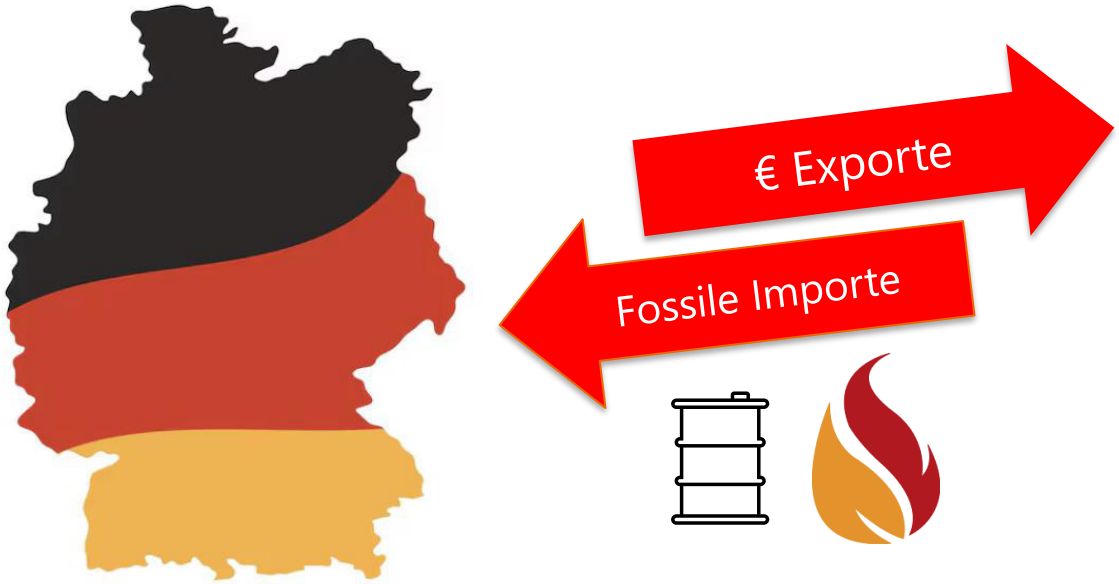


Inhalt

1. Ausgangslage und Einordnung
2. Wasserstoff und PtX: Bedarf, Erzeugung, Kosten
3. Herausforderungen und Lösungen

Energiewende = Freiheit = Unabhängigkeit = Frieden

Wertschöpfung vor Ort halten - Kein „ins Krieg ziehen“









Klimawandel

Neuer UNO-Bericht: Erde steuert bis 2100 auf bis zu 2,8 Grad Erwärmung zu



Trockenheit

Waldbrände in mehreren Bundesländern – Evakuierung in der Eifel



Schifffahrt

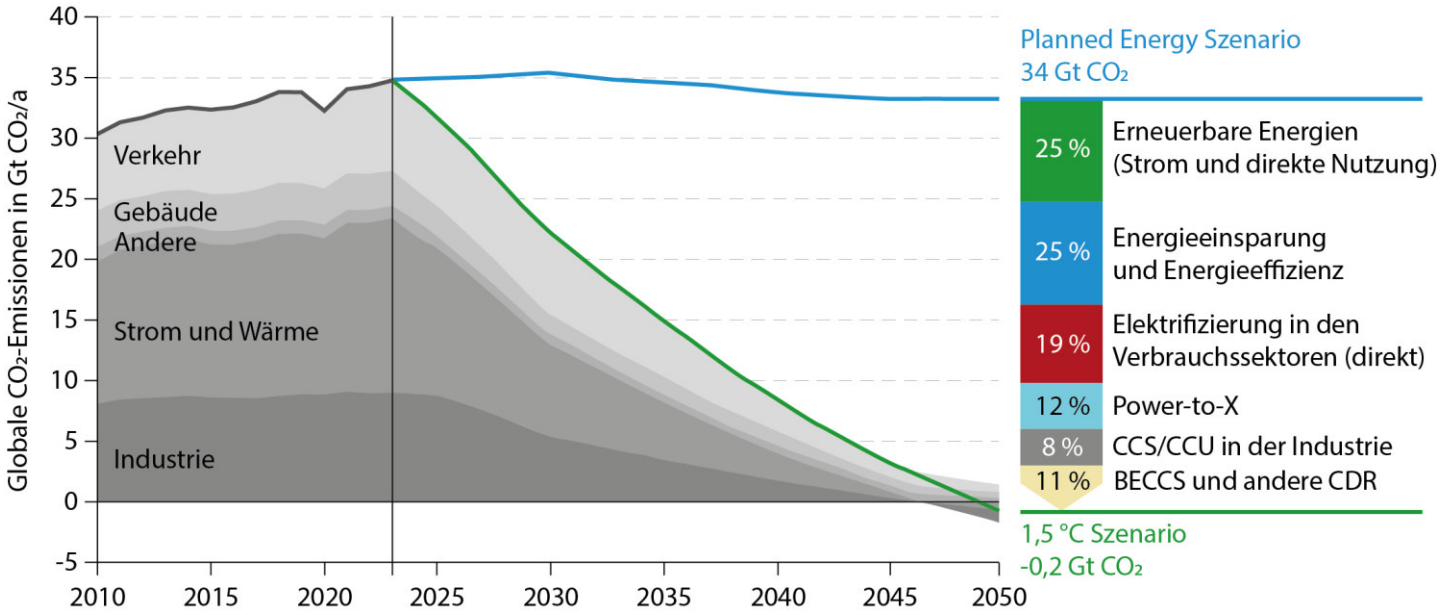
Niedrigwasser könnte deutsches Wirtschaftswachstum zunichte machen

Hitzebedingte Sterblichkeit

Rund 16.000 Hitzetote in diesem Jahr – und nun?

Allianz-Studie: Hitzewellen im Sommer 2026 kosten Deutschland 25 Milliarden Euro

Wie wir unabhängig werden und das Pariser Klimaziel erreichen können – 4 Schritte



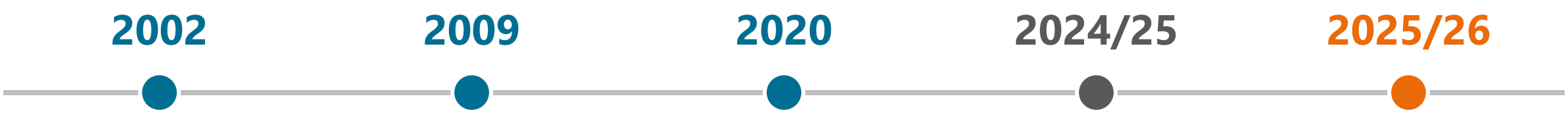
1 **Energieeffizienz** in allen Sektoren verbessern

2 **100 % erneuerbarer Strom**

3 **Elektrifizierung aller Sektoren** wie Wärme, Verkehr, Industrie soweit möglich

4 **Power-to-X** (Wasserstoff) bzw. auch Biomasse für alle verbleibenden Bereiche (v. a. Industrie, Schwerlast- und Langstreckenverkehr, Stromspeicher)

Nach dem Hype ist vor dem Hype



Forum gegründet

Erste Welle Anfang 2000 (und davor)

Power-to-Gas

Wind-to-Gas und Methanisierung als Speicher

H_2-Strategie

Nationale Ziele und Förderprogramme

Ernüchterung

Projekte verschoben, Kosten zu hoch

Es geht weiter!

Kernnetz genehmigt, ERA ONE, HKW West H_2-fähig, H_2-Züge

Die nächste Welle kommt bestimmt!

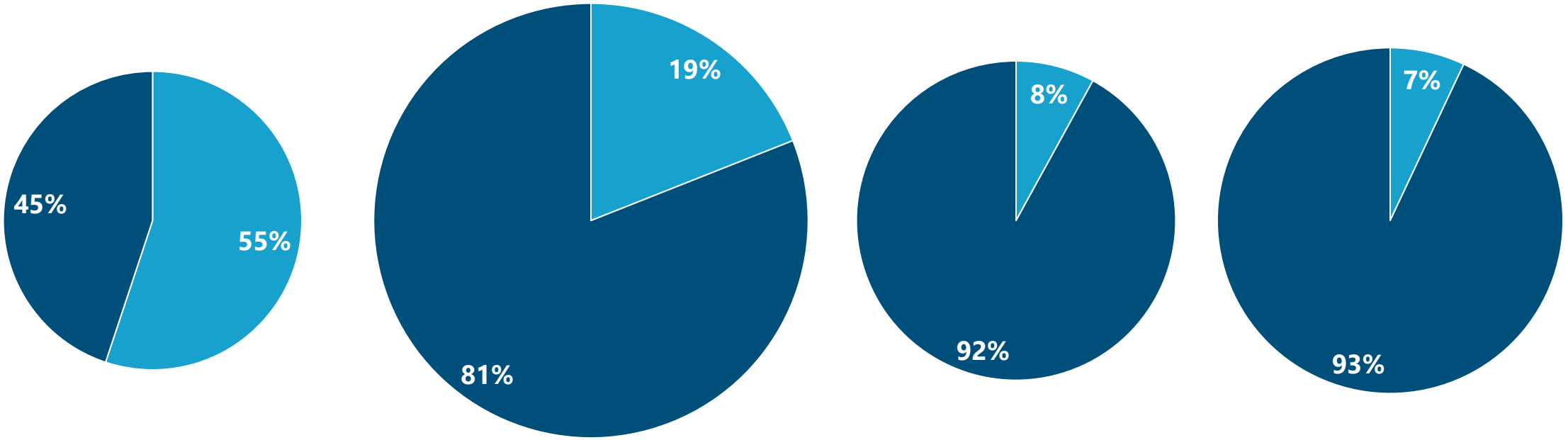
Jeder Tag, den wir Energiewende + H_2-Hochlauf verzögern, ist Cash für die Ölindustrie.

Quelle: eigene Darstellung; INERATEC, Mainova, BNetzA

Elektronenwende: 60 % geschafft

Molekülwende: noch am Anfang

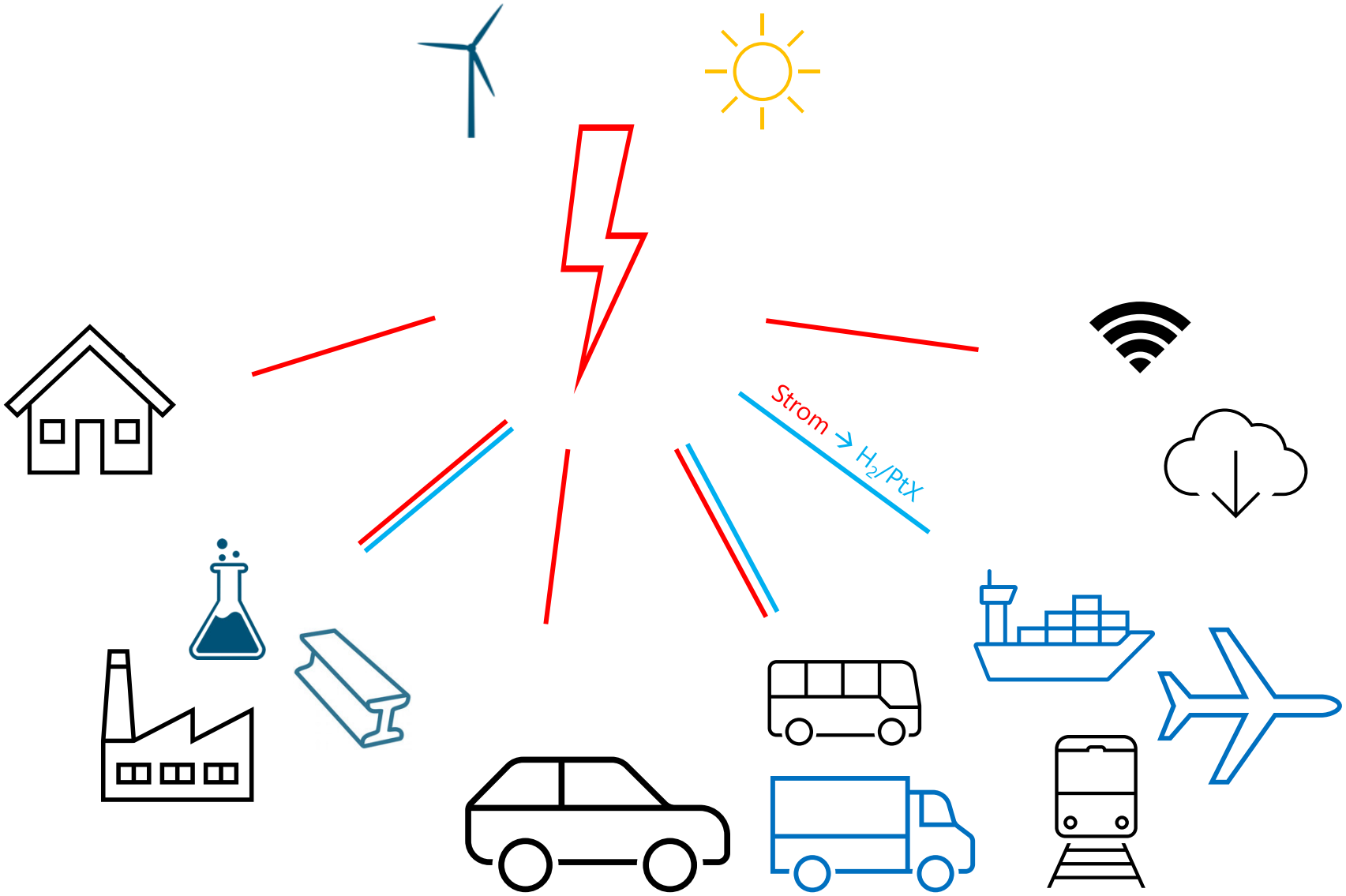
Erneuerbare in Deutschland: 24 % des Endenergieverbrauchs 2025



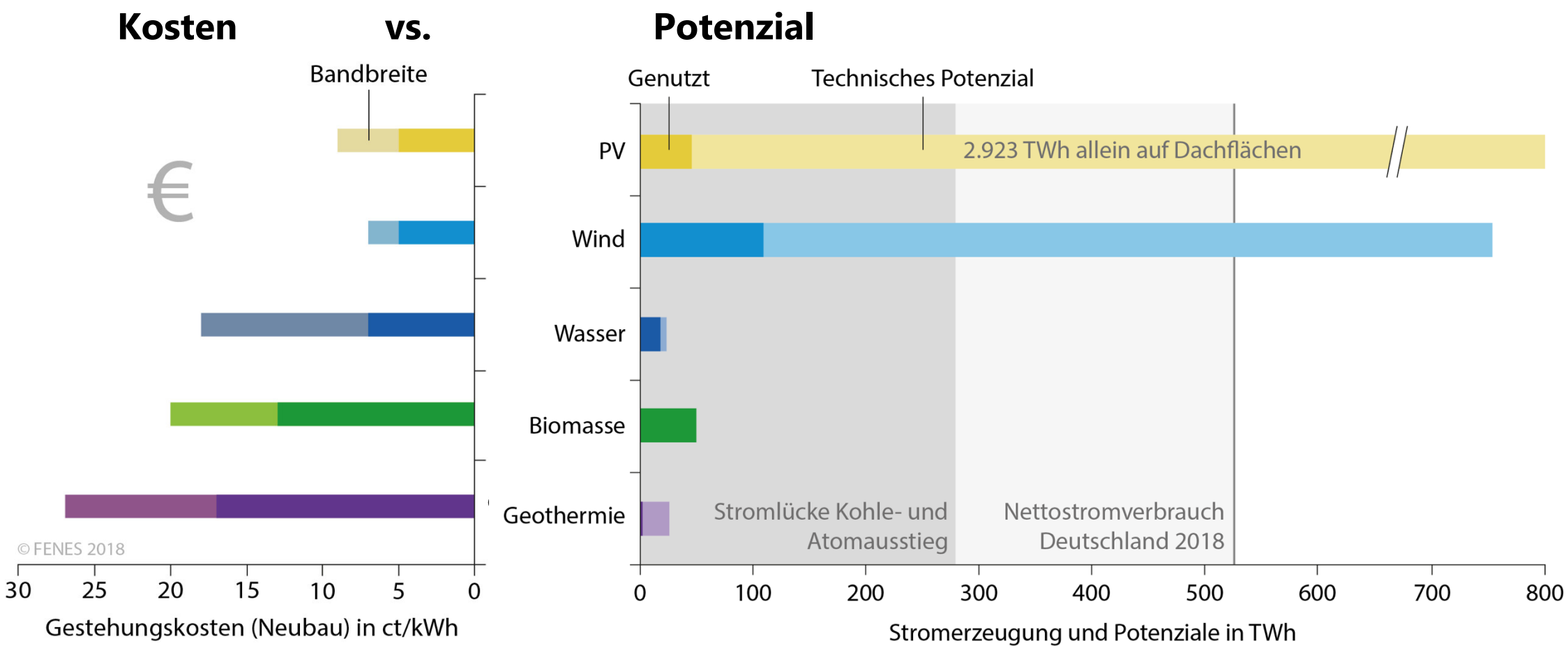
Strom	Wärme	Verkehr	Industrie
530 TWh	1100 TWh	600 TWh	700 TWh

Quelle: UBA/AGEE-Stat, 2026 (Daten 2025); Sektorvolumen gerundet, Industrie: Stand 2024

Vieles hängt am Strom!



Erneuerbare Energien in Deutschland



Zum Vergleich: Kosten neuer Atom- / Kohle- / Gaskraft: 20-30 €-ct/kWh
→ **4-8 x so teuer** wie Wind und Solarstrom

Alle Strom-Speichertechnologien sind in Marktreife vorhanden

Grobe Einordnung



Kurzzeitspeicher

Stunden, Tage

Pumpspeicher, Batterien





2,8 Mio. Speicher

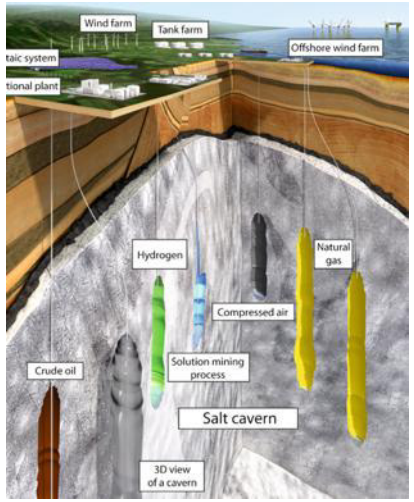
32 GWh @ 21 GW

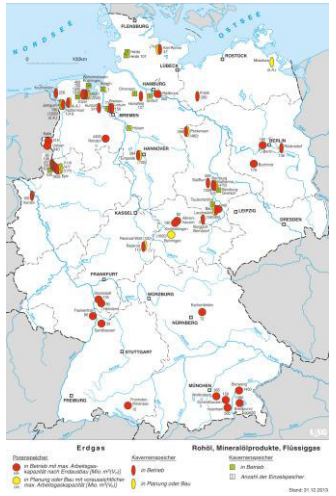


Langzeitspeicher

Wochen, Monate

Power-to-Gas, Wasserstoff, Gasspeicher





x00 Gasspeicher

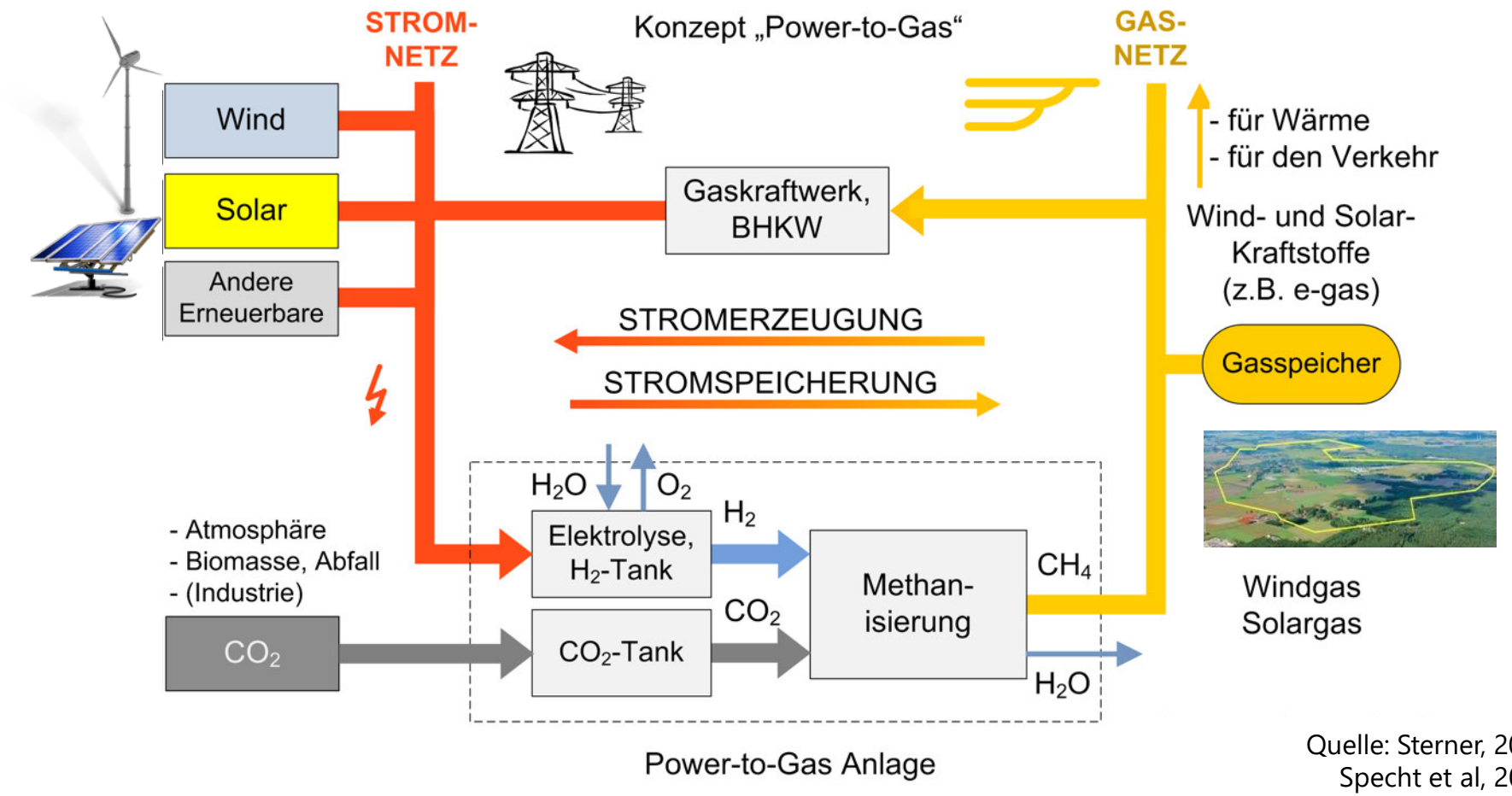
240.000 GWh

Faktor 7.500 mehr!

Power-to-Gas Das Original

Energiespeicherung durch Kopplung von Strom- und Gasnetz

Kombiniere!



Quelle: Sterner, 2009
Specht et al, 2010

Zugang zu allen Sektoren

Lösung für Dunkelflaute

Nutzung vorhandener Infrastruktur

Sterner, M. (2009): Bioenergy and renewable power methane in integrated 100% renewable energy systems. Kassel University, Dissertation.
http://www.upress.uni-kassel.de/publi/abstract.php?978-3-89958-798-2

Power-to-Gas Umsetzung in der Praxis





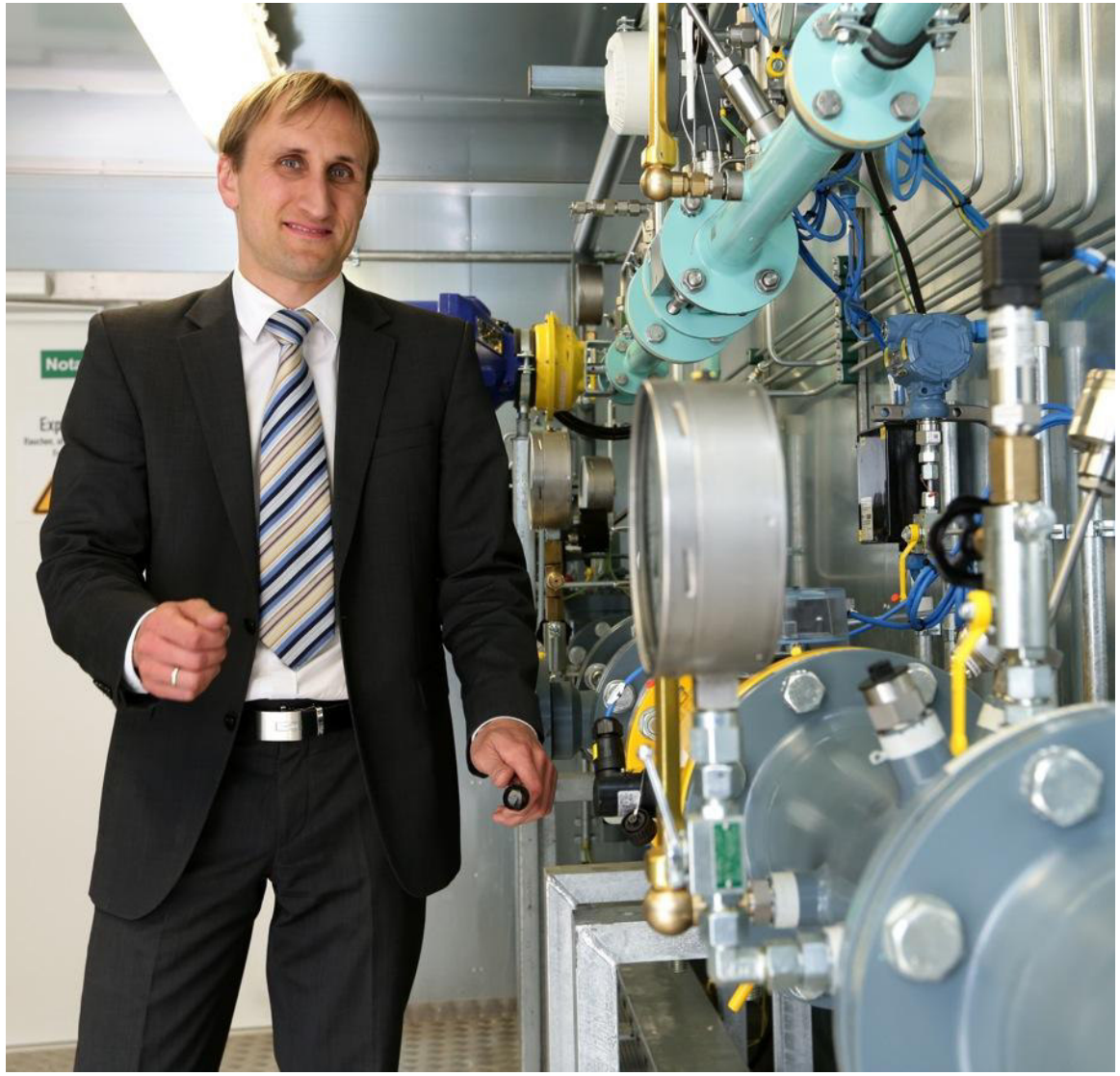
Audi

Fraunhofer IEE

ZSW

Quelle: ZSW, FhG, Audi, 2013

Strom-zu-Gas Anlage in Frankfurt: 1. H_2-Einspeiseanlage ins Verteilnetz (Mai 2014)





Final documentation in literature 2021

energies

MDPI

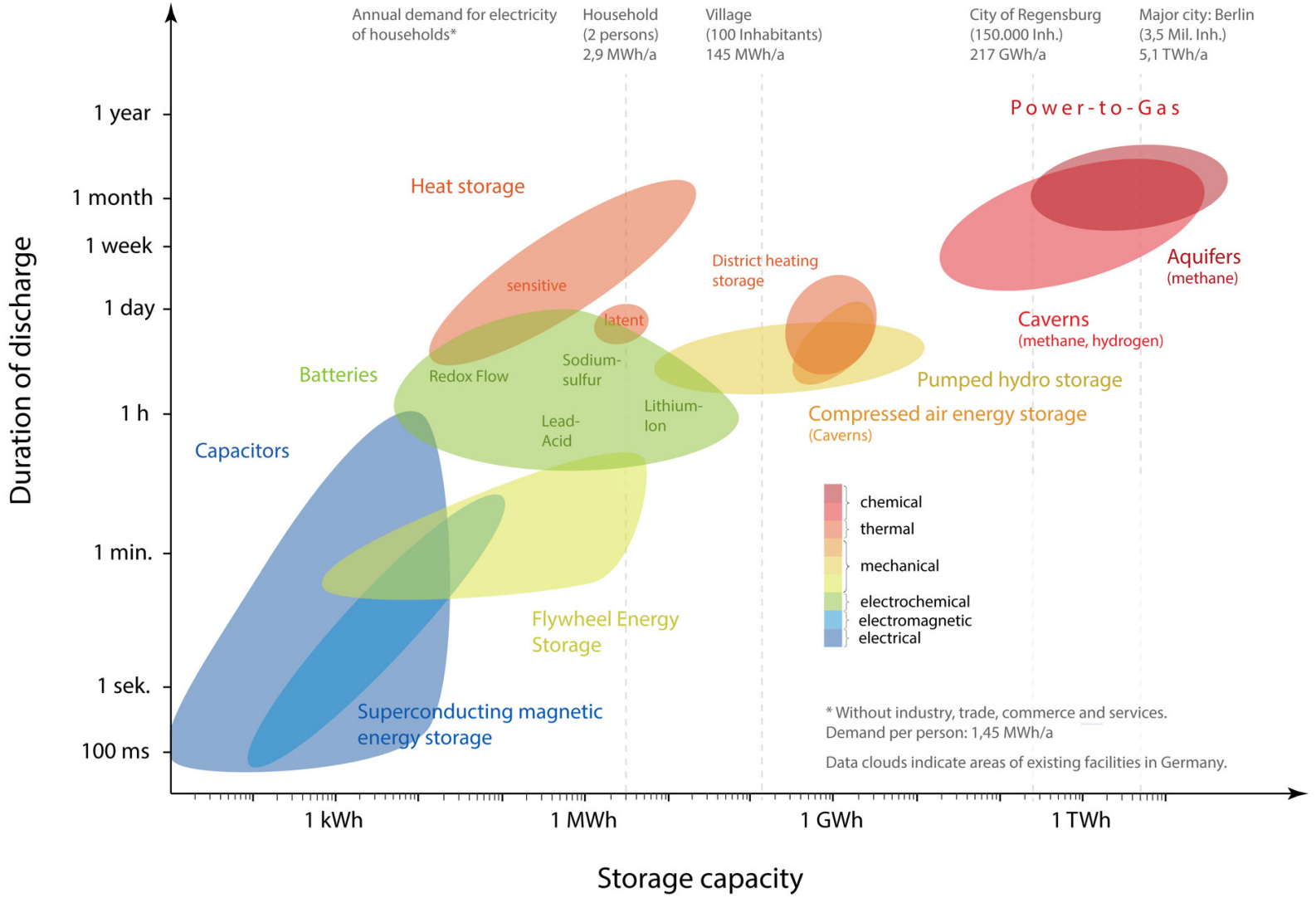
Article

Power-to-Gas and Power-to-X—The History and Results of Developing a New Storage Concept

Michael Sterner [1,2,*] and Michael Specht [3,4]

https://doi.org/10.3390/en14206594

Reine H_2-Speicher hätten uns nicht durch den Winter 2022/23 gebracht



240 TWh

Gasspeicher Deutschland

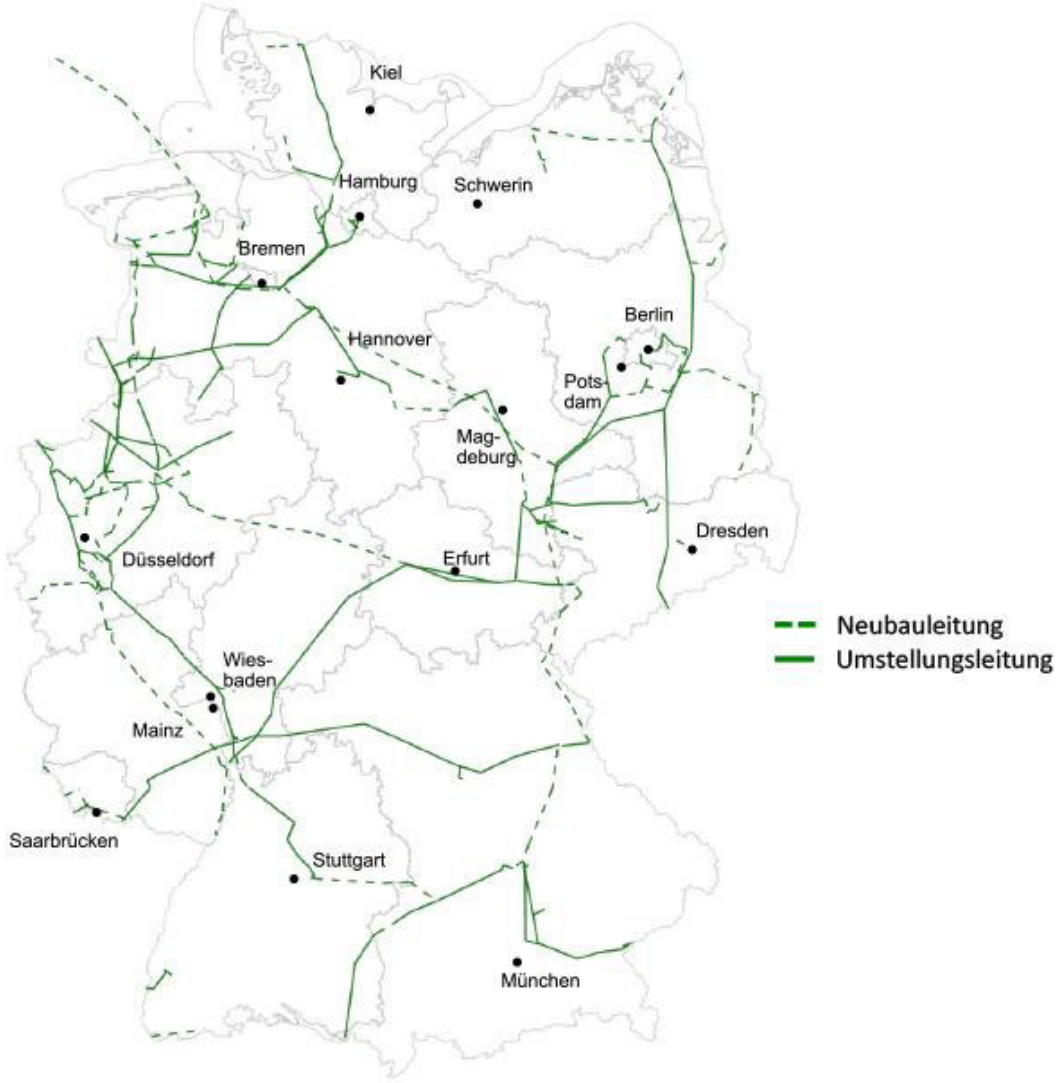
¼ bei 200 bar

80 TWh

Wasserstoffspeicher Deutschland

Quelle: ehb.eu, 2024

Wasserstoff-Kernnetz
2032 (60 % umgewidmet)



Hydrogen Backbone
2030

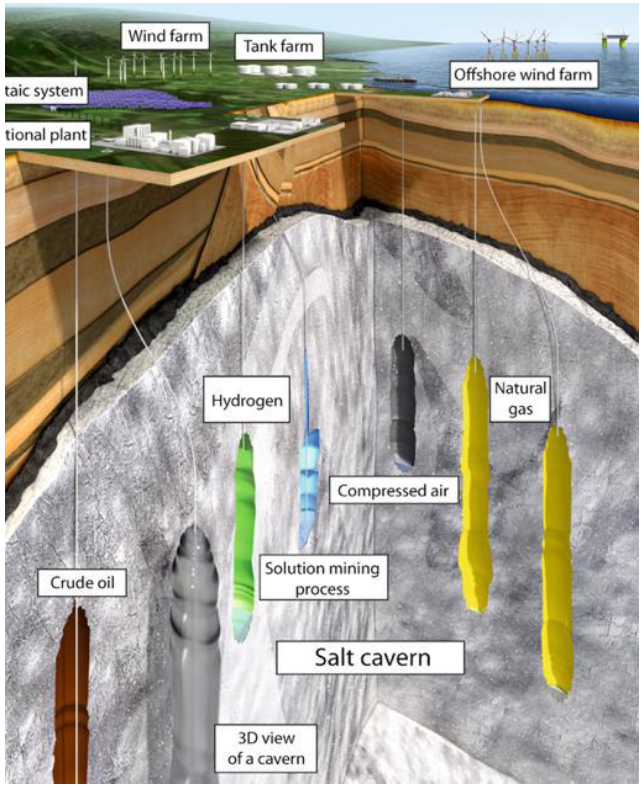


Quelle: FNB Gas, 2024

Kohle/Atomausstieg



Speichereinstieg



→ **Absicherung für alles mit Strom**:
Digitalisierung, Wärmepumpen, E-Mobilität, Industrie, kritische Infrastruktur

Quelle: KBB, 2014

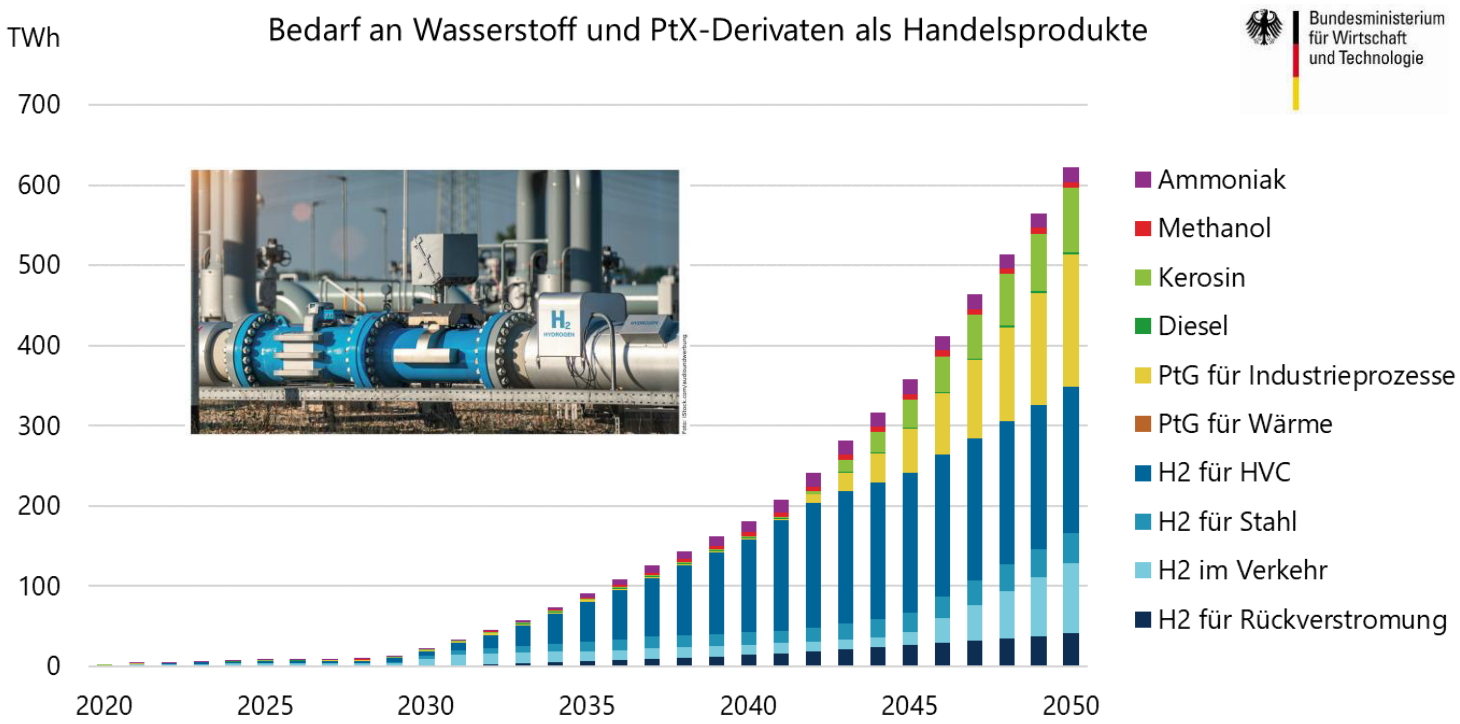
H_2 + PtX

Bedarf, Potenziale, Kosten

Wasserstoff und PtX-Bedarf

Treiber: Klimaziele, Resilienz - Marktentstehung bis 2030, Hochlauf ab 2030

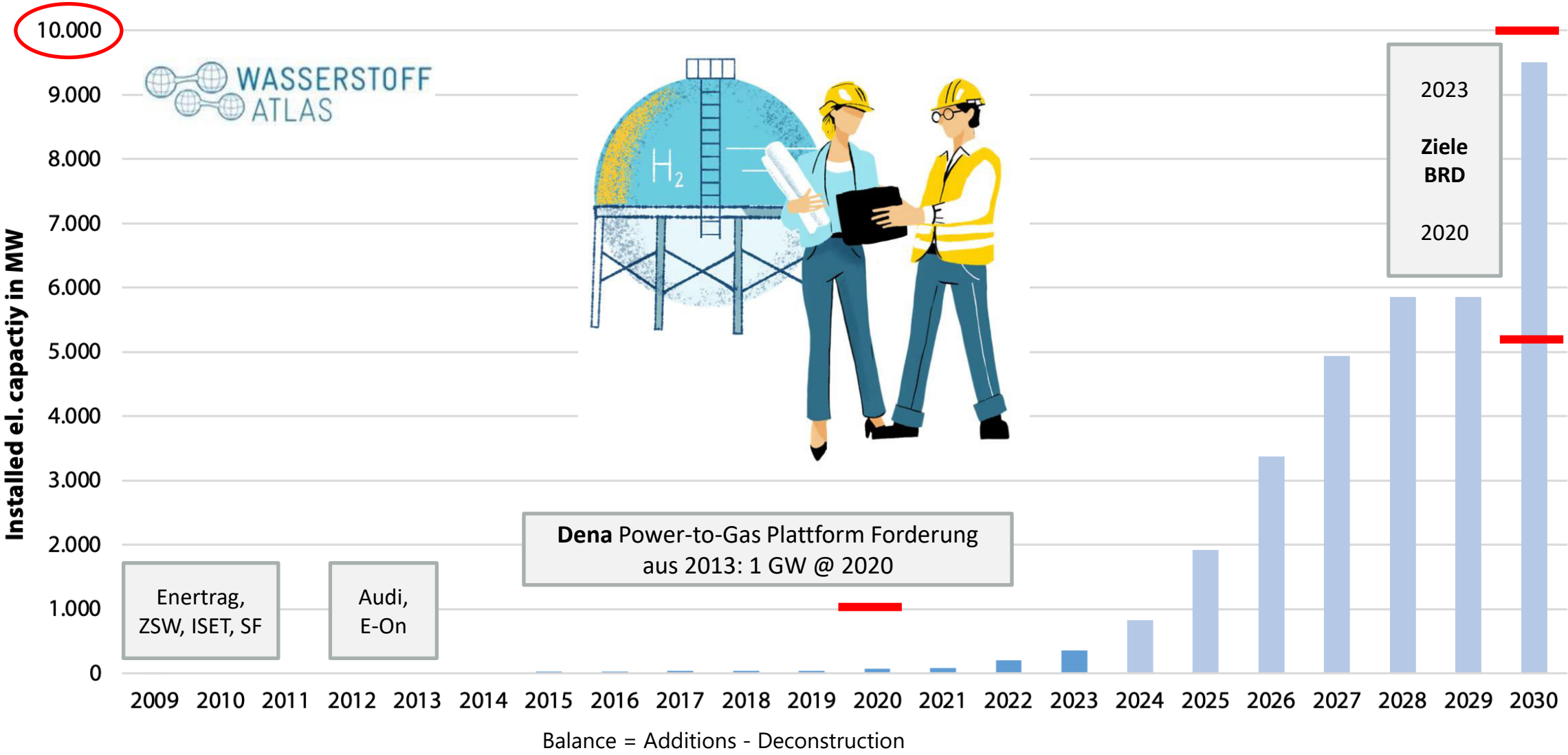
1. **Industrie**
   - Stoffliche Nutzung (**Stahl**, **Chemie**, Glas, Papier etc.)
   - Energetische Nutzung (Prozesswärme)
2. **Strom**
   - Kraftwerke und KWK-Anlagen
3. **Verkehr**
   - Personen- und Güterverkehr (LKW, Zug, Flug, Schiff)
   - **Raffinerien**
4. **Wärme**
   - **KWK**, **Wärmenetze**
   - H_2-Thermen



Quelle: Sterner et al 2021, Abschlussbericht H2Global Phase II H2/PtX-Nachfrage für BMWi

Elektrolyseleistung in Deutschland

GEFÖRDERT VOM
Bundesministerium für Bildung und Forschung



Positives Beispiel: EWE und Salzgitter-Stahl

320 MW Elektrolyse (Siemens) in Emden → Kernnetz → 10.000 t / a H_2-Abnahme (6,5 % gedeckt)

Förderung: 267 Mio. € x. Mrd. € 925 Mio. €











Positives Beispiel: ERA ONE im Industriepark Höchst

Europas größte e-Fuel-Anlage macht seit 2025 Kerosin und Diesel aus lokalem CO_2 und H_2

CO_2 aus Biogasanlage
Abfallverwertung im Park

H_2 aus Chlor-Alkali
Nebenprodukt, Infraserv

→

Fischer-Tropsch-Synthese
modulare PtL-Anlage, INERATEC

→

e-SAF, e-Diesel, e-Chemikalien
drop-in-fähig



2.500 t
e-Fuels pro Jahr

8.000 t
CO_2 pro Jahr recycelt

150 kg/h
Wasserstoff-Einsatz

> 70 Mio. €
Finanzierung, u. a. EIB und Breakthrough Energy

Quelle: INERATEC, Infraserv Höchst, 2025; Bild: © INERATEC

Positives Beispiel: Wasserstoff-Infrastruktur in Höchst

Infraserv sichert die Versorgung aus Chlor-Alkali- und PEM-Elektrolyse und speichert über 4 t H_2

Chlor-Alkali- + PEM-Elektrolyse
5 MW_{el}

→

Verdichtung
von 6 auf 550 bar

→

Hochdruckspeicher
> 4.000 kg bei 590 bar

→

H_2-Tankstelle
Weltgröße
H_2-Zugflotte



5 MW
Elektrolyse gesamt

> 4.000 kg
Wasserstoff im Speicher

550 bar
Betankungsdruck

> 15 Jahre
H_2-Erfahrung am Standort

Positives Beispiel: Mainova steigt in Frankfurt aus der Kohle aus

Das Heizkraftwerk West geht im Herbst 2026 mit H_2-fähigen Gasturbinen ans Netz

Bis 2026
Steinkohle-HKW

→

Ab Herbst 2026
Gas-KWK, 2 × SGT-800
Kohleausstieg Frankfurt

→

Perspektive
H_2 statt Erdgas
Beimischung oder H_2-Netz



2 × 62 MW
elektrische Leistung

2 × 105 MW
thermische Leistung

90 %
Brennstoffausnutzung

350 Mio. €
Investition

Lösungen
für Herausforderungen

Erst wachsen lassen, dann erziehen!

Zusätzlichkeit

Zeitliche Korrelation



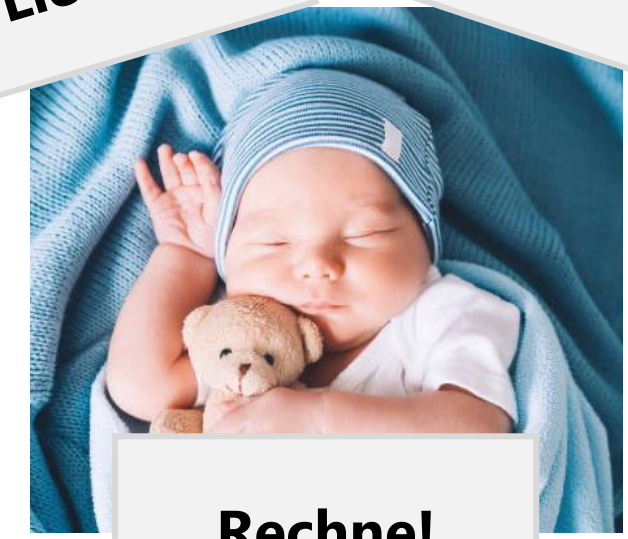
+ 2 € / kg

Räumliche Korrelation

CO_2-Quellen

Lies!

Schreib!



Rechne!

nature communications

Article

https://doi.org/10.1038/s41467-025-62873-w

The impact of temporal hydrogen regulation on hydrogen exporters and their domestic energy transition

Quelle: ©iStock, credit: NataliaDeriabina

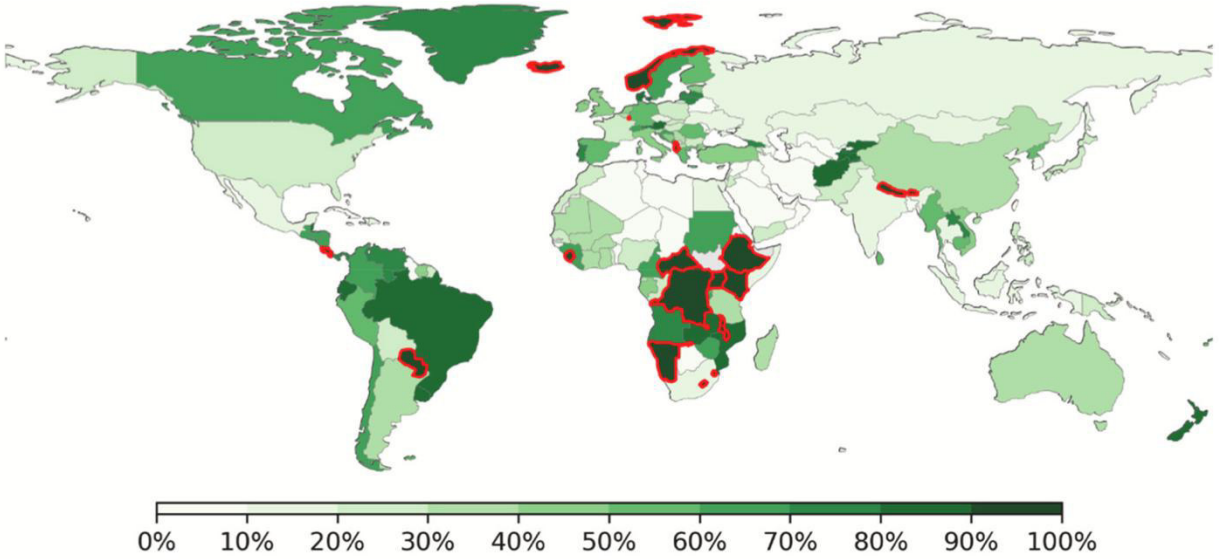
Wasserstoff finanzieren: Unsicherheit verhindert Investitionen

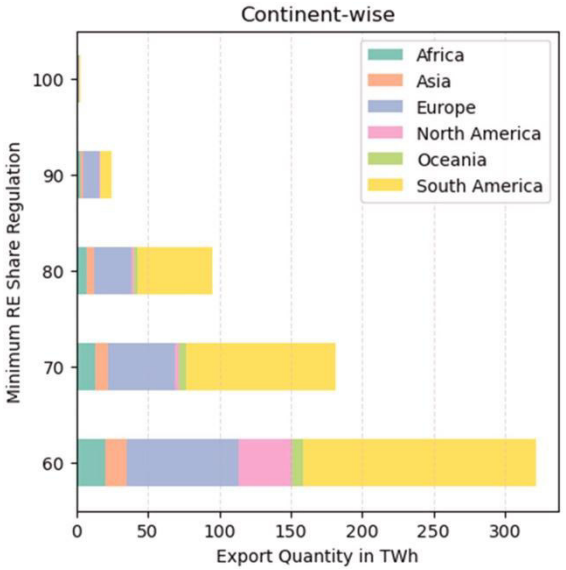


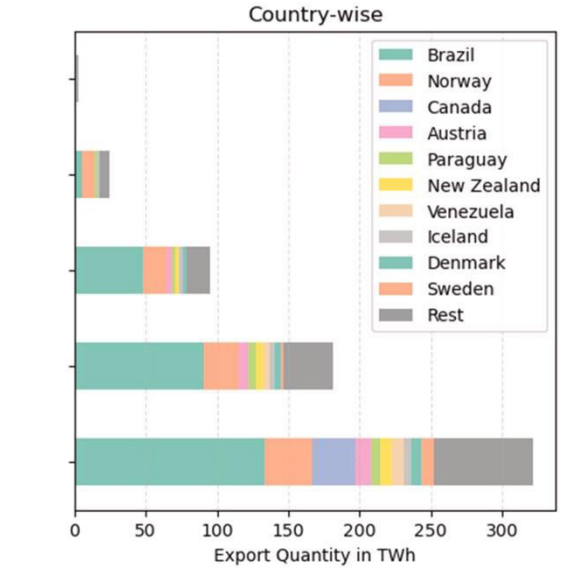
→ Preis- und Mengenrisiko durch pragmatische Regulierung + Quoten überwinden

Quelle: VDI Zukunftsdialog Wasserstoff, 2024

‚Grüner' H_2/PtX bei 70 / 80 / 90 % Erneuerbaren im Strommix





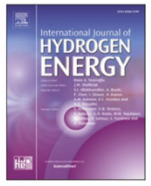


ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

International Journal of Hydrogen Energy

journal homepage: www.elsevier.com/locate/he



Check for updates

The global, country-wise potential of green hydrogen in renewable-dominated electricity systems

Leon Schumm [a,b,*], Anton Achhammer [a], Michael Sterner [a]

[a] Institute for Energy Networks and Energy Storage (FENES), Faculty of Electrical and Information Technology, Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg, Regensburg, Germany

[b] Department of Digital Transformation in Energy Systems, Institute of Energy Technology, Fakultät III, Technische Universität Berlin, Germany

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319926032799?via%3Dihub

Markthochlauf anschieben? Ein Blick nach China (Einparteien-Diktatur)



2006 → jetzt >70 % Solarmarkt



2010 → jetzt 70 % Batteriemarkt

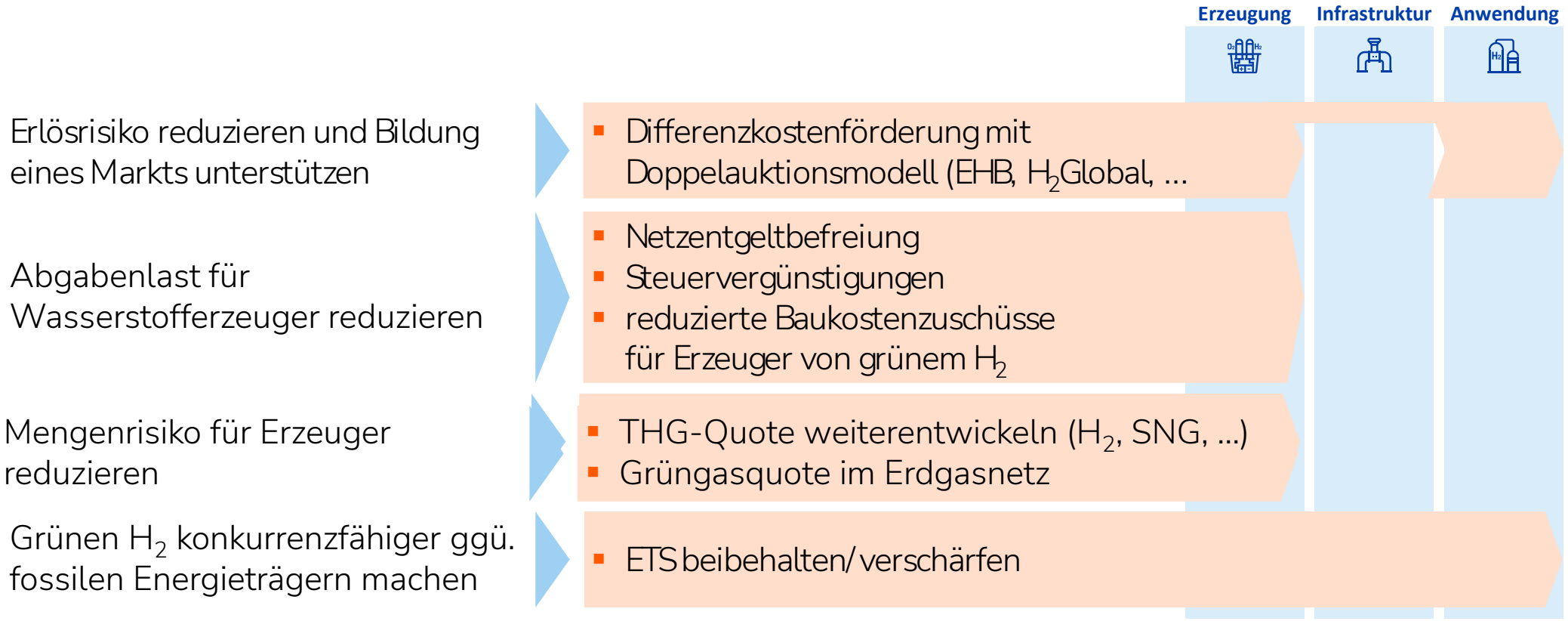


2025 → ?

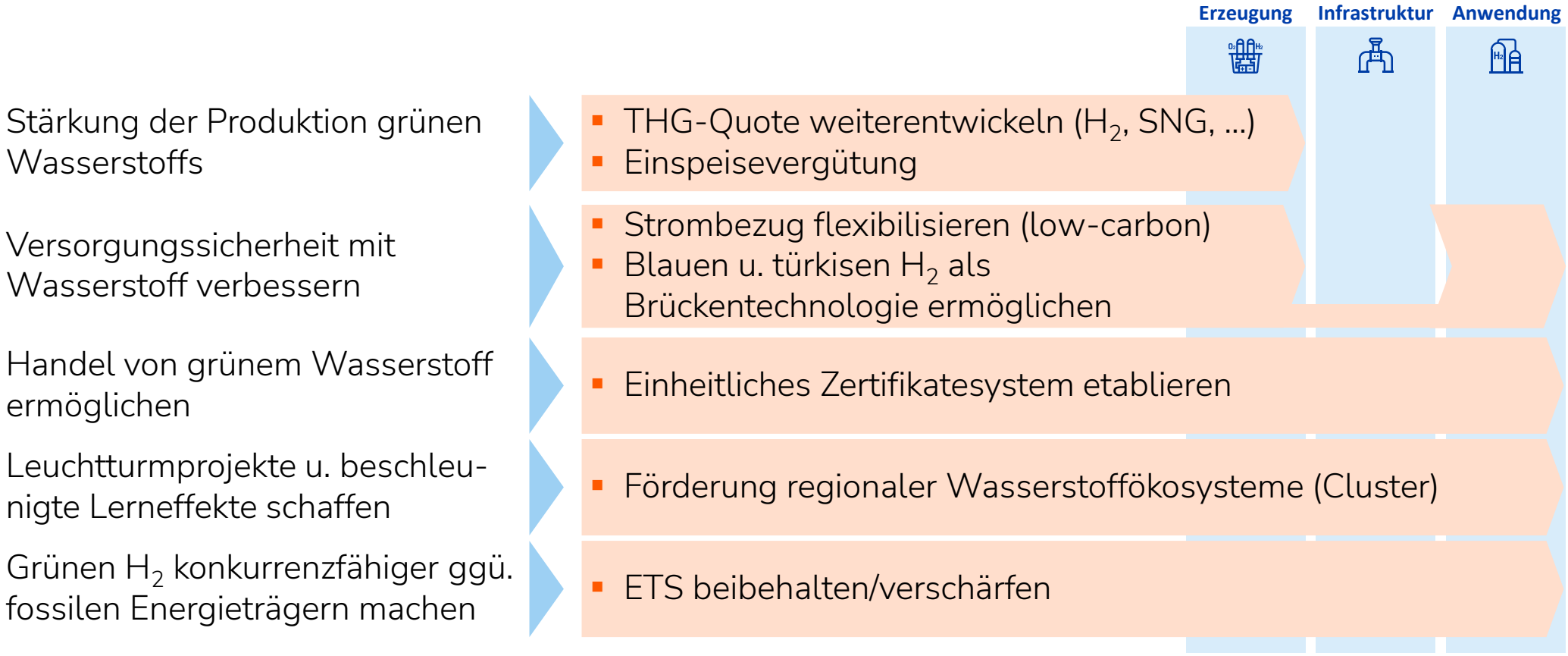
1. Klare strategische politische Festlegung
2. Zielgerichteten Subventionen
3. **Politisch gesicherter Abnahme (Quoten, Tarife)**

→ Hochskalierung, Kostensenkung, globale Marktbeherrschung, Unabhängigkeit

Es braucht 2 Maßnahmenpakete:
1. Unterstützung der Erzeugung von grünem H_2/PtX



Es braucht 2 Maßnahmenpakete:
2. Industrielle Nachfrage stärken / sichern

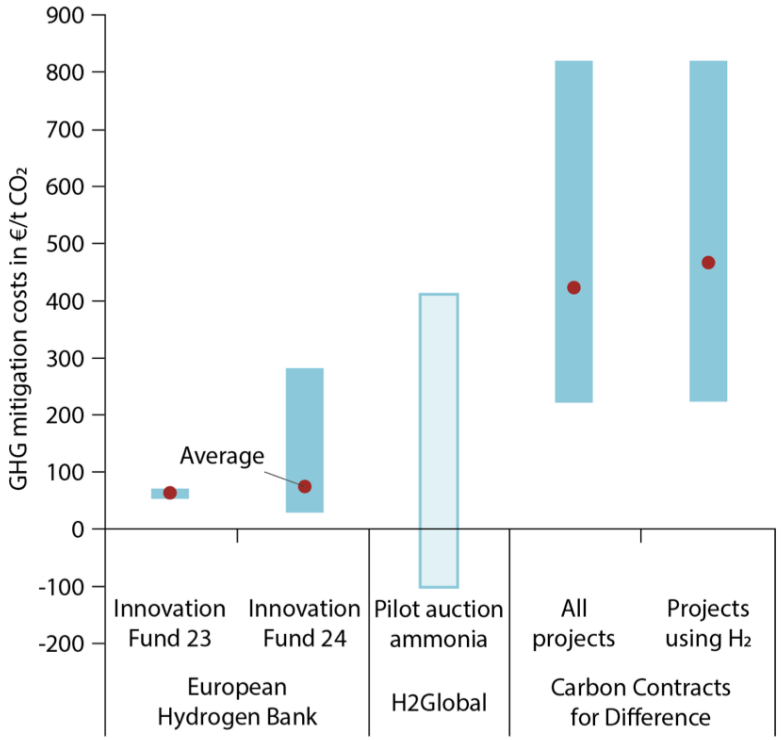


ELSEVIER

ENERGY POLICY

Carrot and Stick: A Comparative Analysis of Instruments for Accelerating the Hydrogen and Power-to-X Economy

Stefan Rahim[a,*], Andreas Hofrichter[a], Franz Bauer[a], Leon Schumm[a], Michael Sterner[a]



Mengen- und Preisrisiko adressieren:

Kombination aus

1. **betrugsfreien, strikt durchgesetzten Quoten mit**
2. **effizienten marktbasierten Instrumenten wie H_2Global**

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages



Happy Birthday!

25 Jahre Wasserstoff Forum Hessen

Danke für 25 Jahre Wegbereitung!

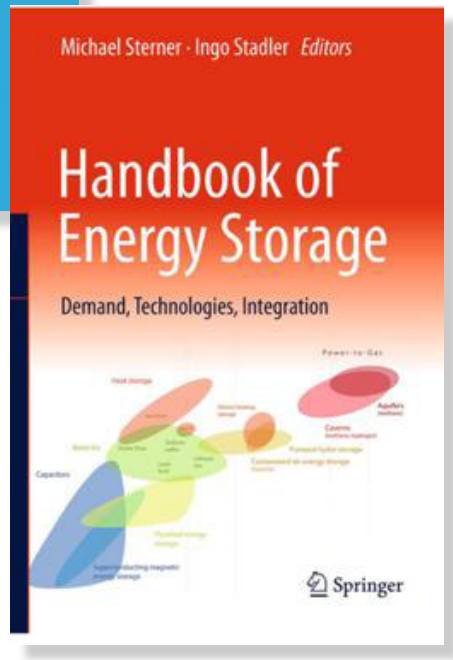
Auf die nächsten 25 Jahre!

Vernetzen

Bücher



15 Bücher kostenfrei am Stand



Musik / Charity



unicef
für jedes Kind