

12.02.2026

*Symposium Energie-Innovationen, Graz*

# Auswirkungen unterschiedlicher Entwicklungen der H<sub>2</sub>-Erzeugung auf das Energiesystem

Christine Krüger, Wuppertal Institut

Session D3: Rahmen für die Wasserstoffwirtschaft

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Wie wirken unterschiedliche Entwicklungspfade der Wasserstoff-Erzeugung im Gesamtsystem?



Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt



Institut für ZukunftsEnergie-  
und Stoffstromsysteme

## Motivation des Projekts: Welche Rahmenbedingungen führen zu einer richtungssicheren Entwicklung der Wasserstoff-Erzeugung?

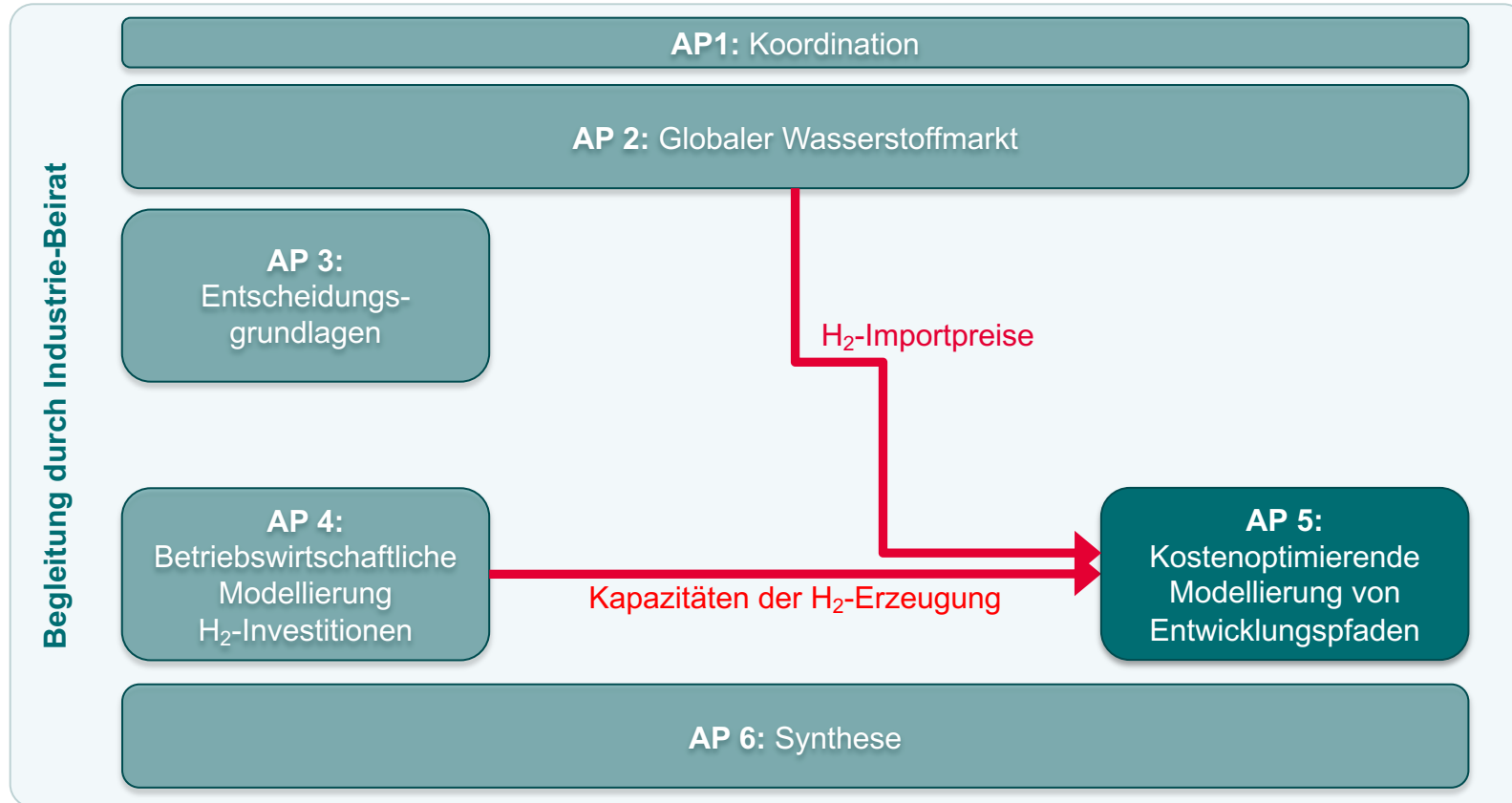
- › Aus vorherigen Arbeitspaketen resultieren Pfade der Wasserstoffherzeugung. Aber sind die richtungssicher?
- › Oder führen sie zu Lock-Ins oder Fehl-Investitionen?

Dafür Einbettung der Wasserstoffpfade in ein europäisches Gesamt-Energiesystem

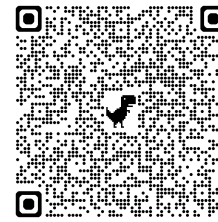
- › 1) Wie sähe ein kostenoptimaler Pfad der Wasserstoffversorgung aus? → Referenzszenario
- › 2) Wie wirkt es sich im Energiesystem aus, wenn andere Pfade gewählt werden?

Heute betrachtete Varianten:

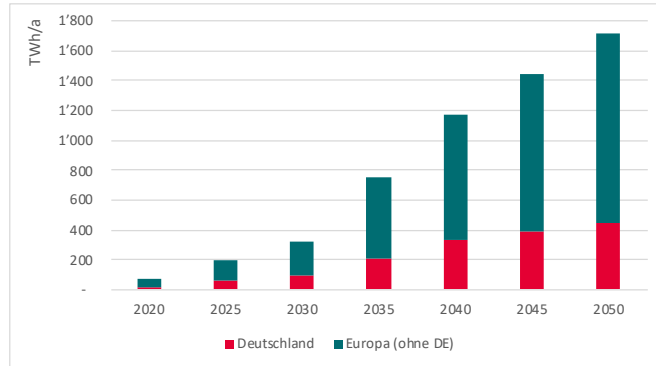
- › 2a) Investitionen in blauen Wasserstoff (Dampfreformierung + CCS) in Deutschland
- › 2b) Investitionen in Elektrolyse entsprechend „Status-Quo“-Entwicklung aus AMIRIS



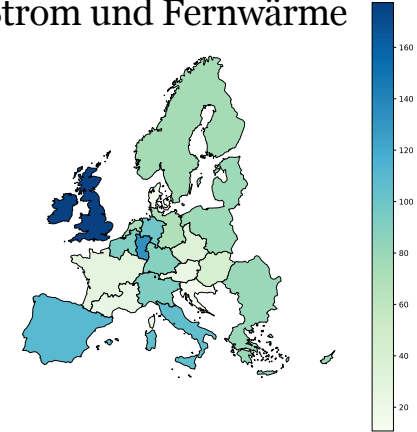
# Angebots-Optimierung mit dem WESOM „Wuppertal Energy Supply Optimisation Model“



- › Kostenoptimierte Deckung einer vorgegebenen Nachfrage nach Wasserstoff, Strom und Fernwärme



Entwicklung der H<sub>2</sub>-Nachfrage in Europa, angelehnt an [TYNDP 2022]



Modellierte Regionen und H<sub>2</sub>-Nachfrage in 2045

- › Das Modell kennt Kosten, Wirkungsgrade, technische Potenziale und Emissionslimits
- › Das Modell kennt **keine** regulatorischen Einschränkungen, Förderinstrumente etc.
- › **Was ist der kosteneffizienteste Weg, die europäische Energienachfrage zu decken? Welche Struktur der Wasserstoff-Erzeugung resultiert daraus?**

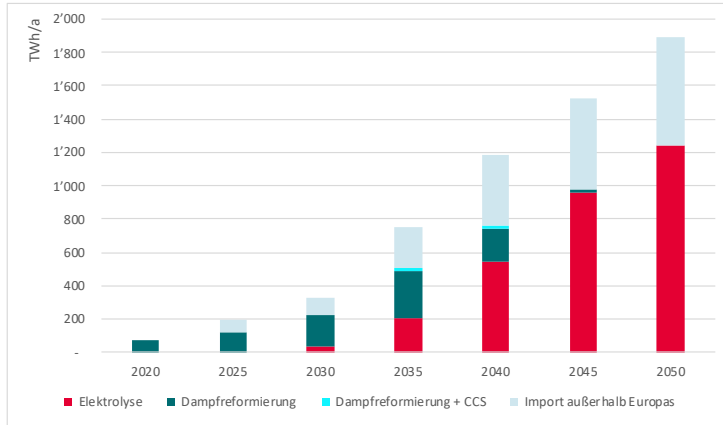
# Referenzszenario

■  
kostenoptimale Versorgungsstruktur

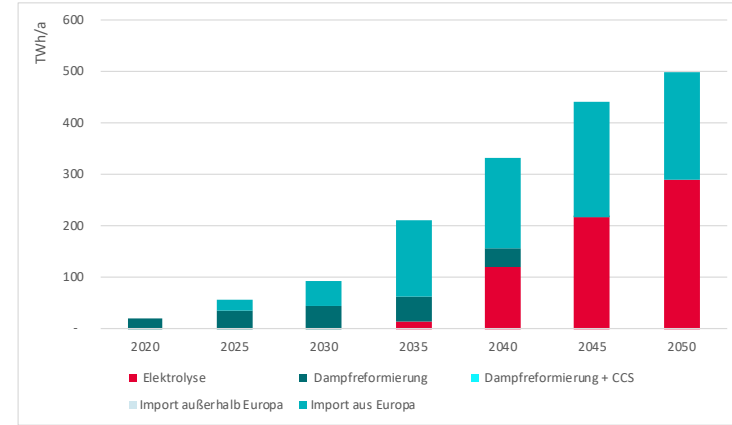
KEINE Kapazitätsvorgaben für die Wasserstoff-Erzeugung

# Referenzszenario

## kostenoptimale Versorgungsstruktur ohne weitere Vorgaben



Wasserstoffherzeugung in Europa in TWh/a



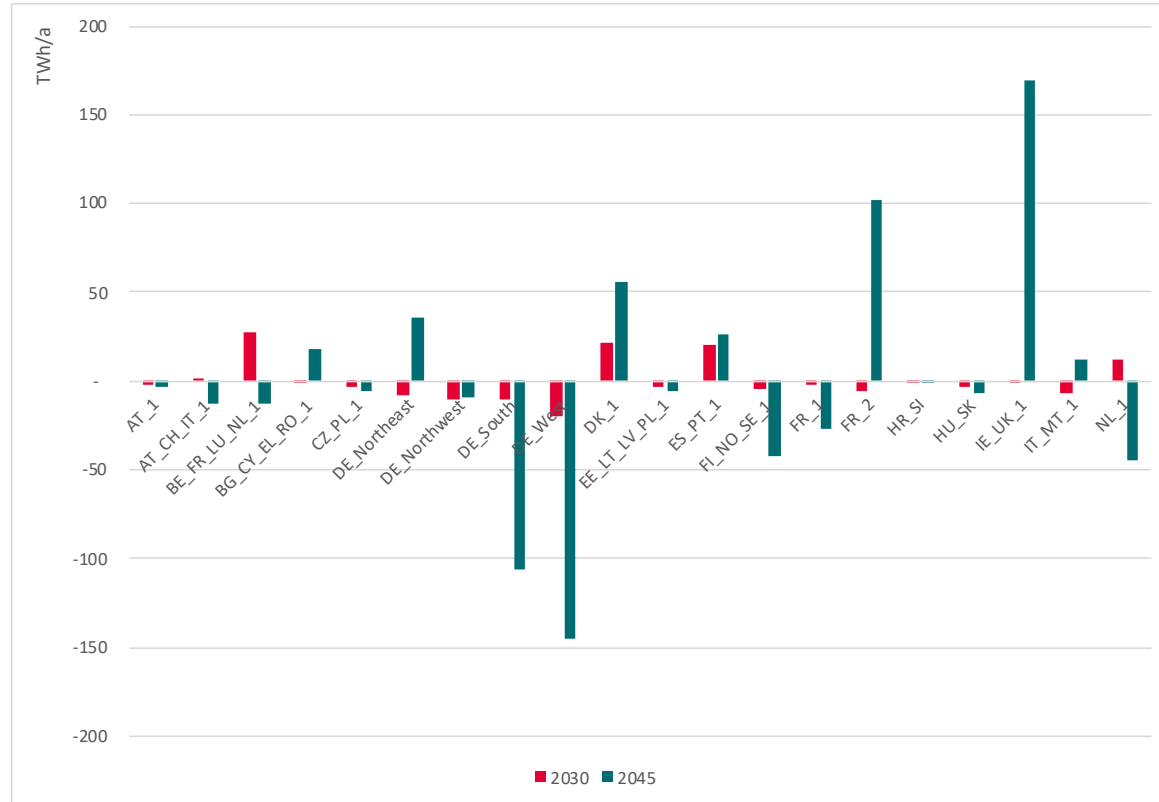
Wasserstoffherzeugung in Deutschland in TWh/a

- **Elektrolyse-Zubau erst ab 2030 (bzw. 2035 in Deutschland)**
- **vorher Nutzung von bestehenden Dampfreformierungsanlagen in der Industrie**
- **darüber hinausgehende Bedarfe werden über Importe gedeckt**
- **kaum Zubau von Dampfreformierung mit CCS**

# Referenzszenario

## kostenoptimale Versorgungsstruktur ohne weitere Vorgaben

Wasserstoff-Exportsaldo der europäischen Regionen in TWh/a



### Exportierende Regionen:

- › Großbritannien
- › Frankreich
- › Dänemark
- › Iberien
- › Benelux (zu Anfang)

# Untersuchungsfall 1: Investitionen in blauen Wasserstoff

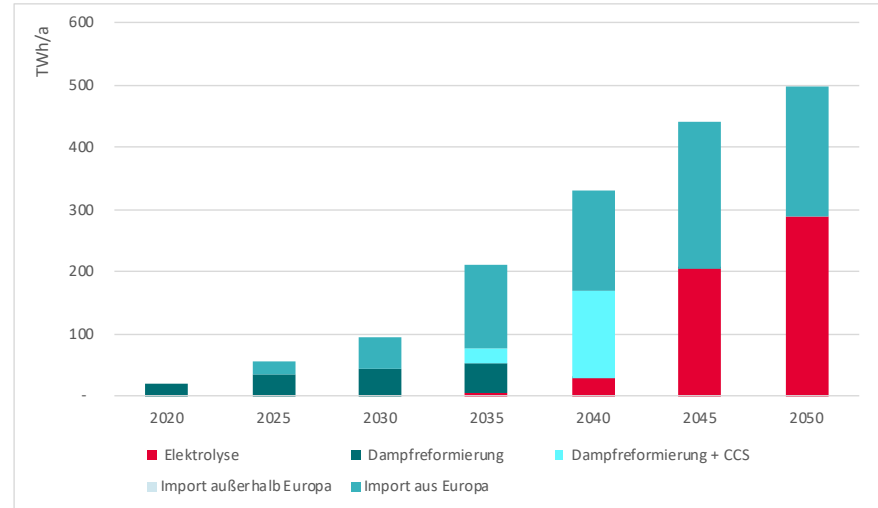
---

Was geschieht, wenn in Deutschland in blauen Wasserstoff statt in Elektrolyse investiert wird?

Hypothetischer Fall – Kapazitätsvorgaben werden nicht aus AMIRIS übernommen

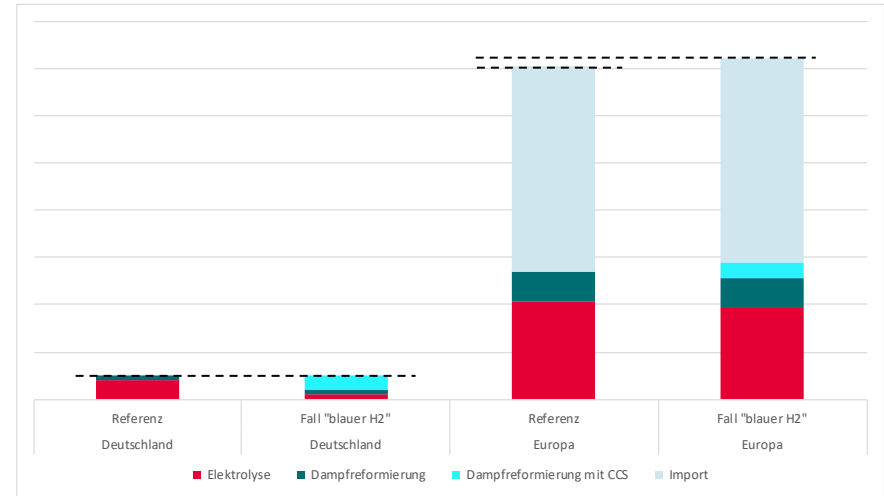
Vorgabe: 75% der deutschen Wasserstoff-Kapazität aus dem Referenzszenario werden durch Dampfreformierung mit CCS ersetzt

- › Dampferformierung mit CCS kann nur bis 2040 genutzt werden
- › Bis dahin leicht erhöhte H<sub>2</sub>-Produktion ggü. Referenz
- › danach werden die Investitionen in Elektrolyse nachgeholt
- › → Anlagen für blauen H<sub>2</sub> sind stranded assets
  
- › Stromerzeugung in Deutschland reduziert ggü. Referenz
- › In geringerem Umfang als Rückgang des Elektrolysestroms
- › → geringere Stromimporte



Wasserstoffherzeugung in Deutschland im Untersuchungsfall „blauer Wasserstoff“ in TWh/a

- › In Deutschland sind Kosten der Wasserstoff-  
Erzeugung\* fast identisch zur Referenz
- › → Mehrkosten für Dampfreformierung mit CCS und  
Minderkosten Elektrolyse kompensieren sich
- › in Europa steigen die Kosten um 3%
- › → Mehr Elektrolyse außerhalb von Deutschland  
gegenüber dem Referenzfall
- › Gesamtsystemkosten (inklusive Kosten der  
Erzeugung von Strom- und Fernwärme) steigen um  
ca. 0.3%



Kosten der Wasserstoffherzeugung in Deutschland und Europa

\* Ohne Kosten für Strom und Methan, ohne Kosten für inner-europäischen H2-Import

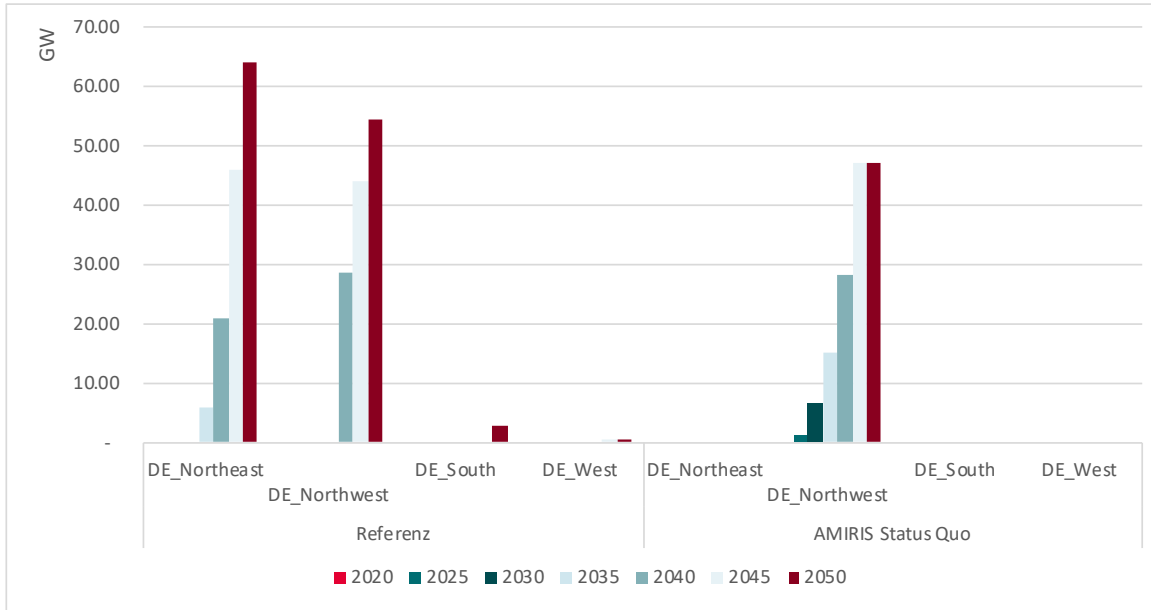
# Untersuchungsfall 2: Investitionen gemäß Akteursverhalten aus AMIRIS (vorläufiges Ergebnis)

Was verändert sich im Energiesystem, wenn die Investitionen in Deutschland betriebswirtschaftlichem Kalkül folgen?

Übernehme Kapazitätsvorgaben aus AMIRIS

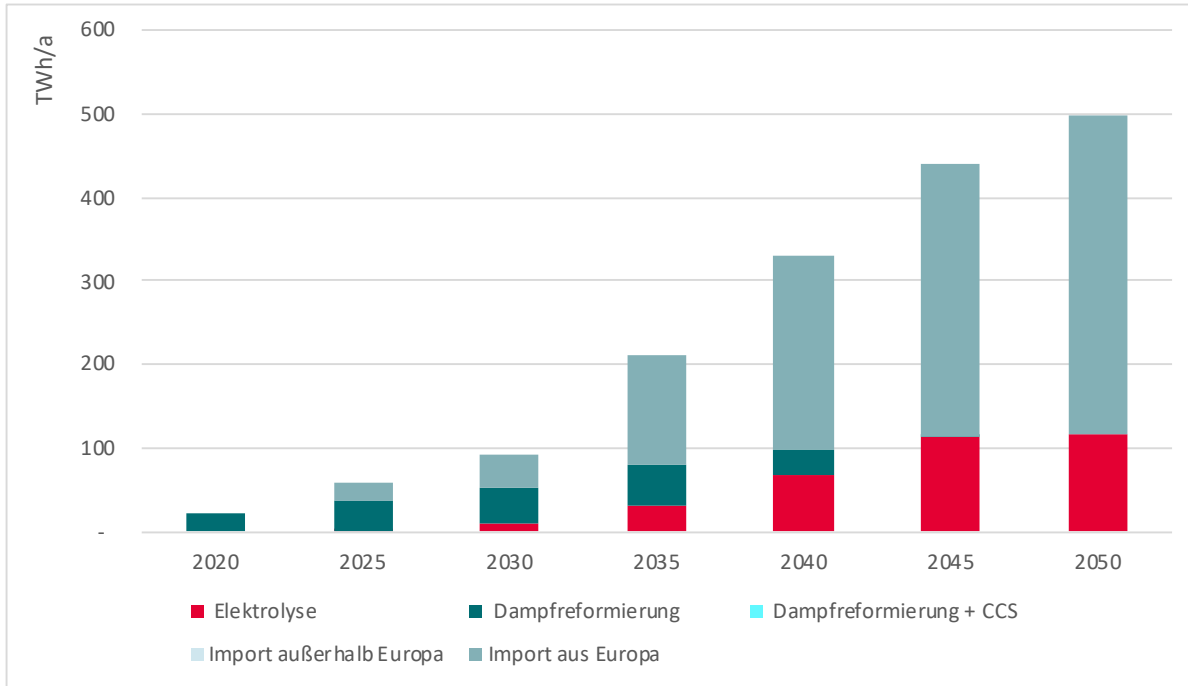
Fall „regulatorischer Status Quo“

# Entwicklung der Elektrolyse-Kapazität in Deutschland Im Vergleich zum Referenzszenario



- **Deutlich geringere Elektrolyse-Kapazität als in Referenz**
- **H<sub>2</sub>-Erzeugung nur in Nordwest-Deutschland**
- **Frühere Investitionen schon ab 2025 (Referenz: ab 2035)**

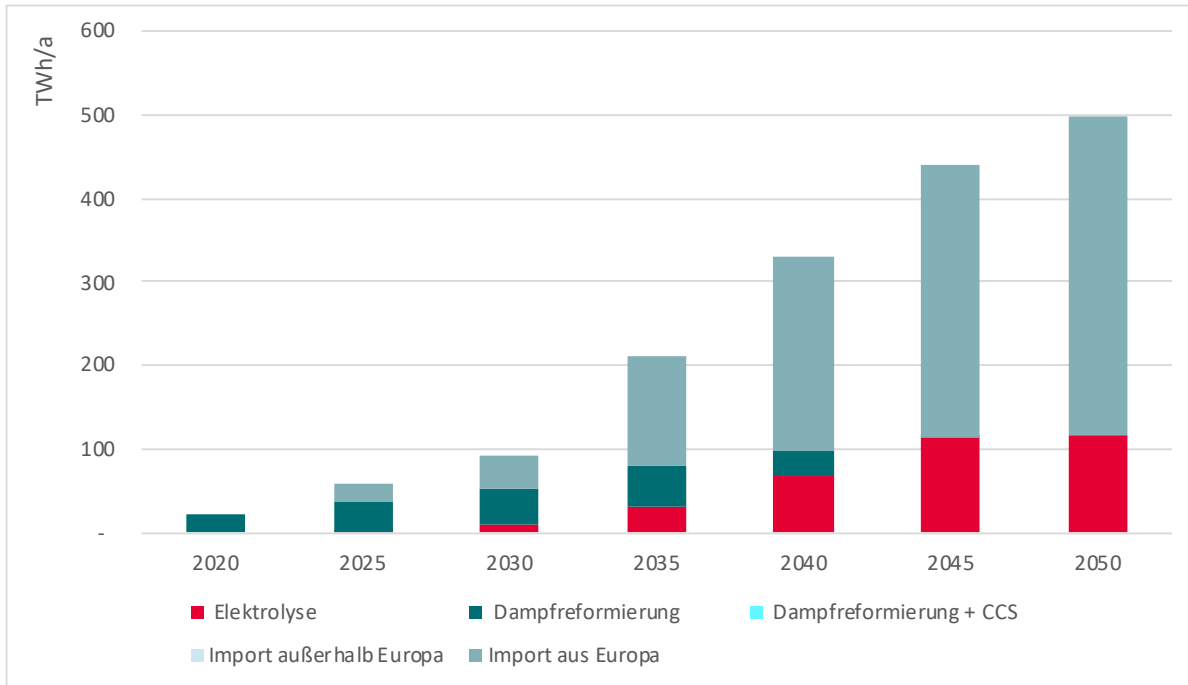
# Entwicklung der Wasserstofferzeugung



➤ Geringere Erzeugung aus  
Elektrolyse

➤ Höhere Importe aus Rest-  
Europa

# Entwicklung der Wasserstofferzeugung



- › Geringere Erzeugung aus Elektrolyse
- › Höhere Importe aus Rest-Europa
- › Kosten-Auswirkungen: Kosten für Wasserstoff-Erzeugungsanlagen
- › in Deutschland um 5% geringer
- › In Europa um 2% höher

- › **Kostenoptimierende Modellierung des Energiesystems, wenn die Investitionen in Wasserstofferzeugung vom Optimum abweichen**
- › **Vergleich mit der Referenzentwicklung zur Beurteilung der Auswirkungen**
  
- › **Forcierte Investitionen in blauen Wasserstoff liegen ab 2045 still**
- › **Vorläufiges Ergebnis aus AMIRIS: Akteursverhalten führt zu Elektrolyse-Investitionen deutlich unter denen in der Referenzentwicklung**
  
- › **Abweichende Entwicklungen führen zu Verschiebungen in der Strom- und Wasserstofferzeugung in Deutschland, die in Europa kompensiert werden**
- › **Die Mehrkosten sind moderat im Verhältnis zu den Gesamtsystemkosten, aber deutlich in Bezug auf die Investitionen in Wasserstofferzeugung**

*christine.krueger@wupperinst.org*

# Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

---

Unsere Ergebnisse in Ihrem Postfach -  
Anmeldung zur Mailingliste:

