

# UNSER ENERGIESYSTEM HEUTE UND IN ZUKUNFT

**Dorothee Peters**

**DLR Institut für Vernetzte Energiesysteme**



# Inhalt

## DLR-Forschungsbereich Energie

## Zukünftiges Energiesystem

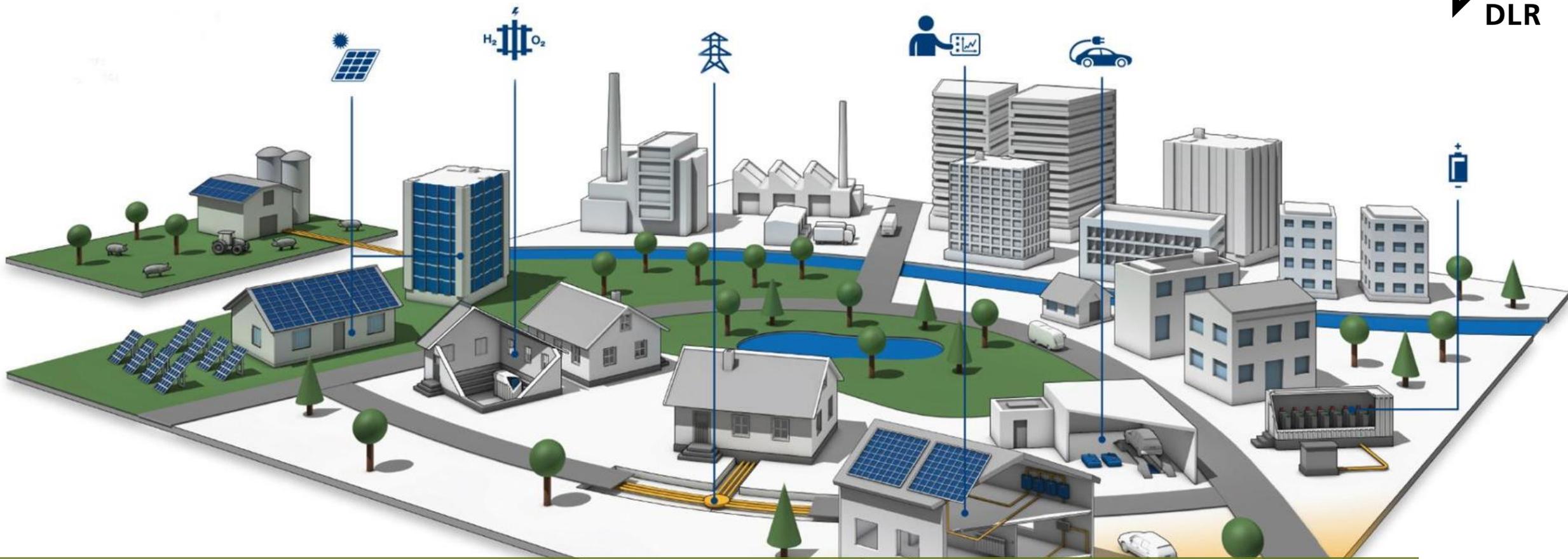
- ➔ Energieverbrauch
- ➔ Energieträger
- ➔ Flexibilisierung
- ➔ Infrastruktur

## Forschungsprojekte Energiesystemtechnologie

- ➔ enera
- ➔ Wasserstoffregion Nord-West Niedersachsen



Quelle: eigene Darstellung

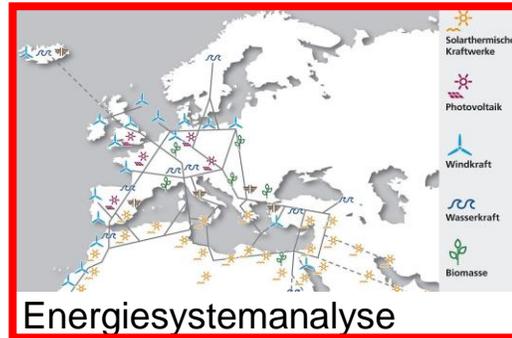


# DLR-FORSCHUNGSBEREICH ENERGIE

# DLR- Forschungsbereich Energie – ein bundesweites Netzwerk von Instituten und Einrichtungen



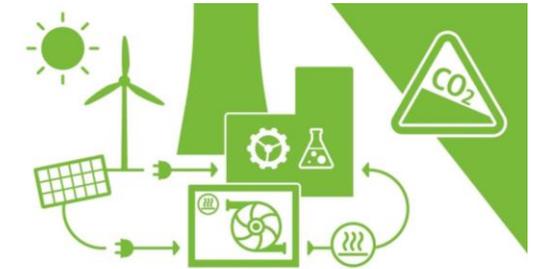
Solarenergie



Energiesystemanalyse



Alternative Brennstoffe



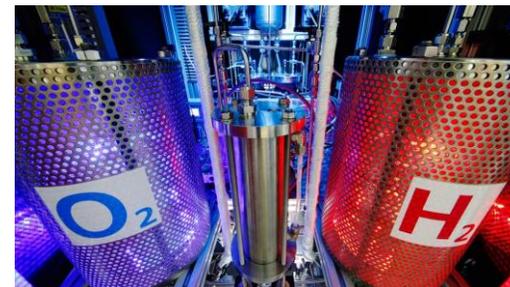
Dekarbonisierte Industrie



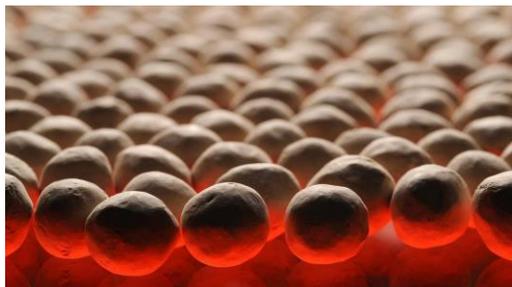
Energiewandler



Windenergie



Brennstoffzelle & Elektrolyse



Energiespeicher



Energiesystemtechnologie



Maritime Energiesysteme



[https://www.dlr.de/DE/forschung/energie\\_node.html](https://www.dlr.de/DE/forschung/energie_node.html)

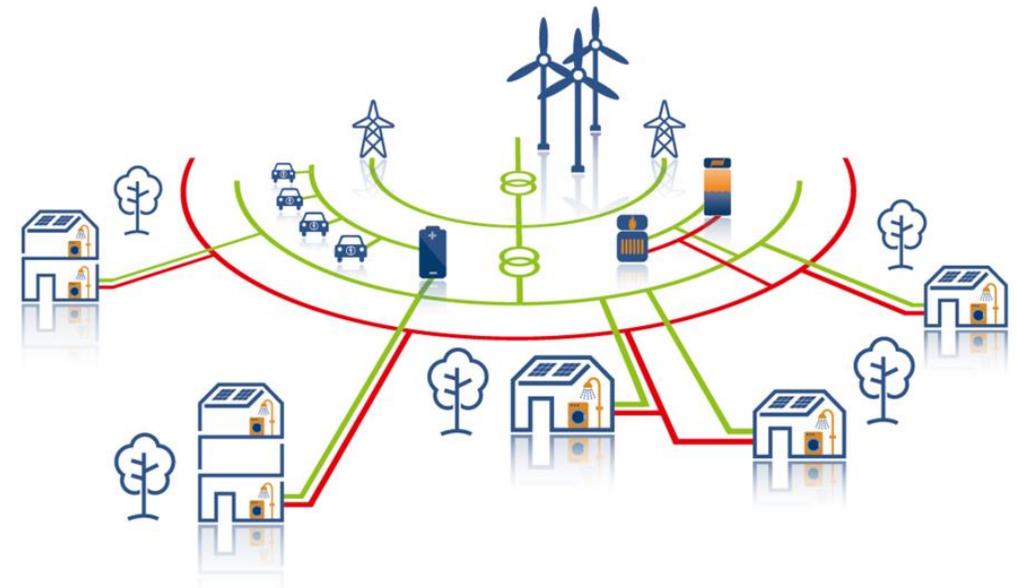
## ■ Mission:

- Forschung und Entwicklung von Technologien und Konzepten für die zukünftige Energieversorgung auf Basis erneuerbarer Energien
- Herausforderung, aus wetterabhängiger dezentraler Erzeugung stabile und effiziente Energiesysteme zu gestalten

## ■ Forschungsgebiete:

- Energiesystemanalyse
- Stadt- und Gebäudetechnologien
- Energiesystemtechnologie

## ■ Mitarbeiter: 170





Solarthermische Kraftwerke



Photovoltaik



Windkraft



Wasserkraft



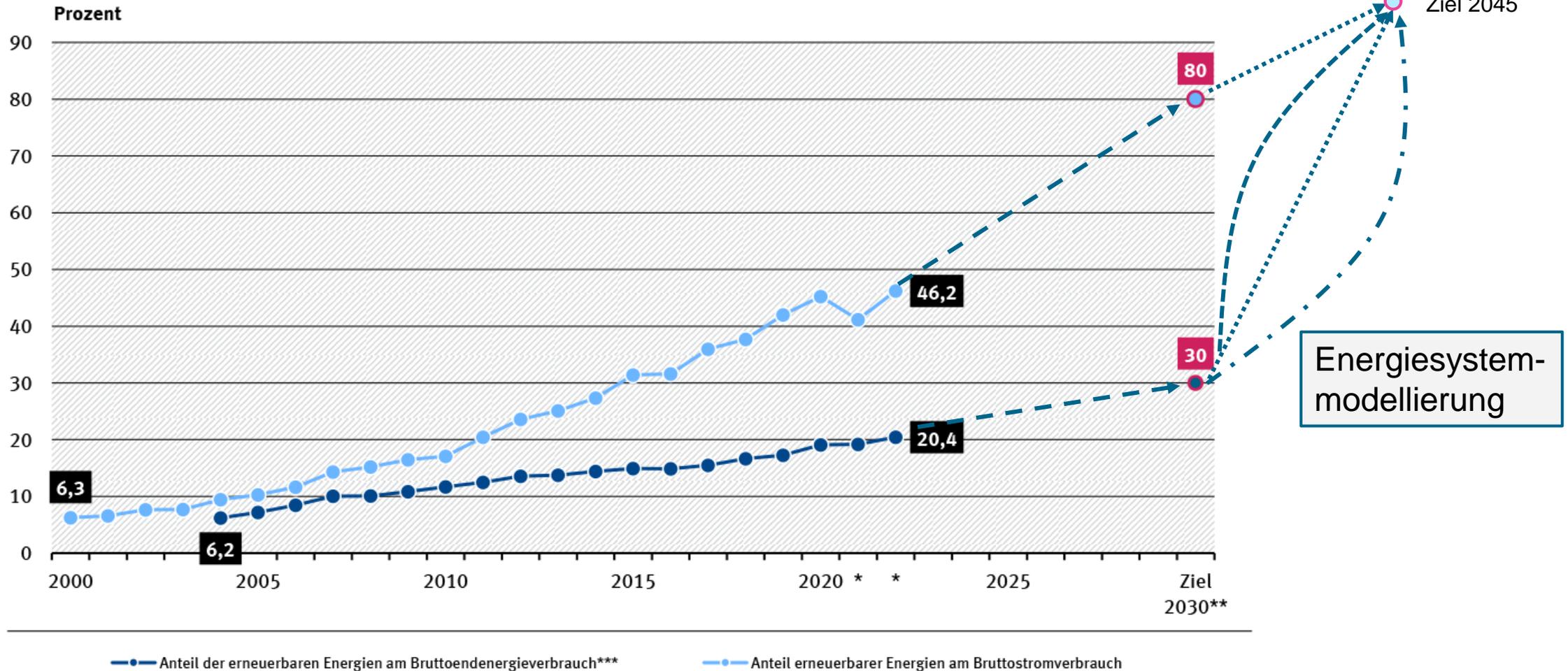
Biomasse



# ZUKÜNFTIGES ENERGIESYSTEM

Bildquelle: DLR

# Anteil erneuerbarer Energien am Bruttostromverbrauch und am Bruttoendenergieverbrauch



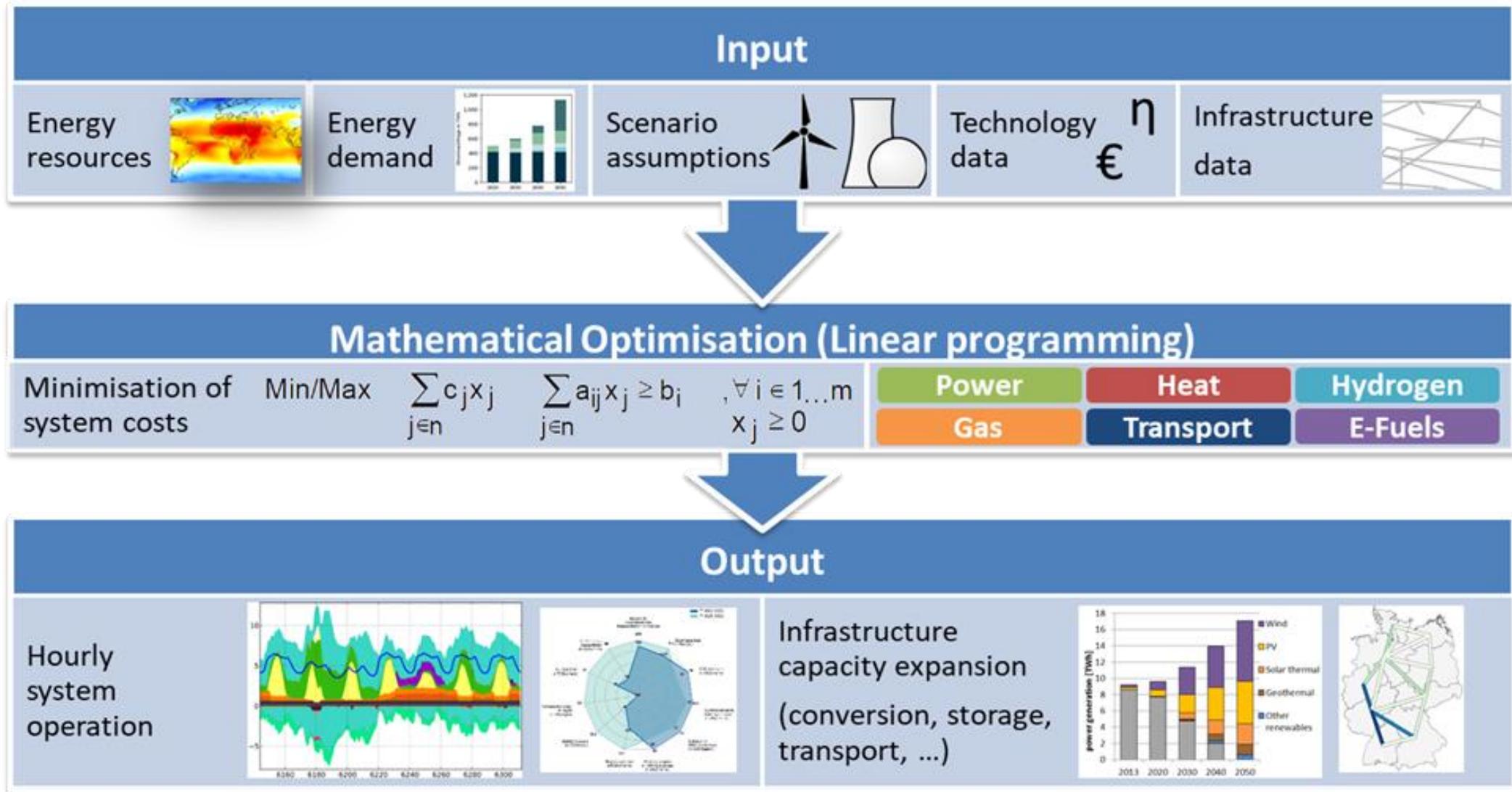
\* vorläufige Angaben

\*\* Quellen Zielwerte 2030: Anteil am Bruttoendenergieverbrauch: Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) 2023; Anteil am Bruttostromverbrauch 2030: Integrierter Nationaler Energie- und Klimaplan

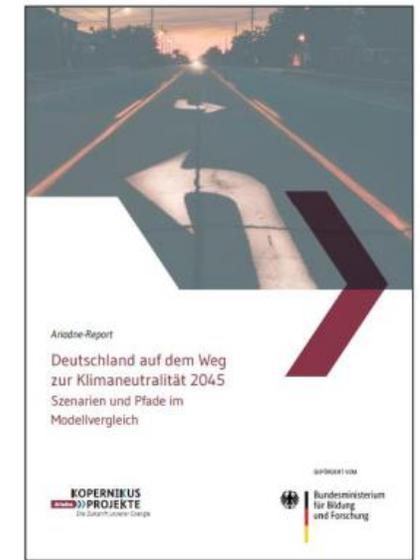
\*\*\* Anteil am Bruttoendenergieverbrauch berechnet nach Berechnungsregeln gemäß EU-Richtlinie 2009/28/EG

Quelle: Umweltbundesamt auf Basis Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat), Stand 03/2023

# Energiesystemmodellierung am Beispiel REMix



# Aktuelle Energiesystemszenarien Zieljahr 2045

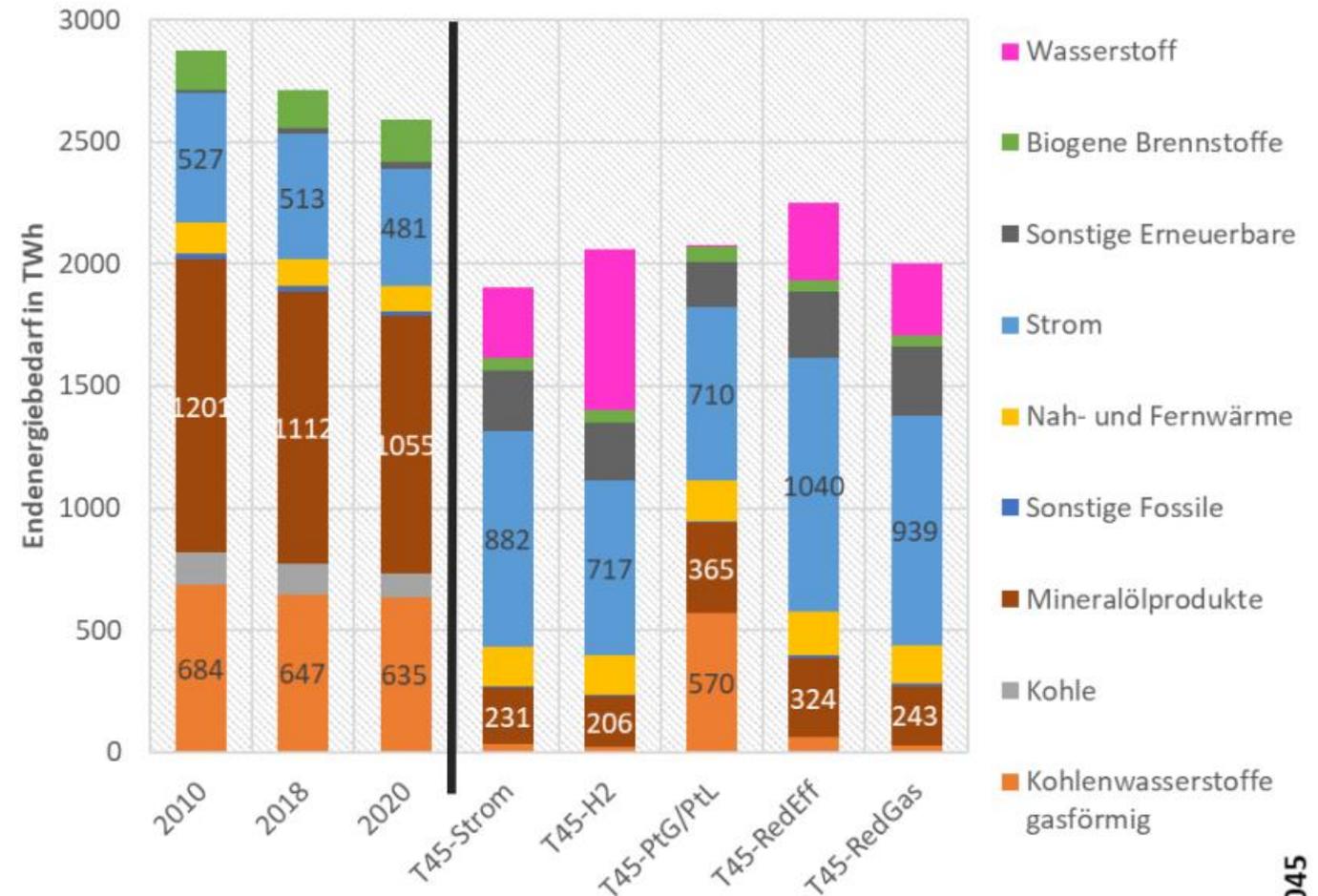


Big5-Szenarienvergleich:

[https://ariadneprojekt.de/media/2022/03/2022-03-16-Big5-Szenarienvergleich\\_final.pdf](https://ariadneprojekt.de/media/2022/03/2022-03-16-Big5-Szenarienvergleich_final.pdf)

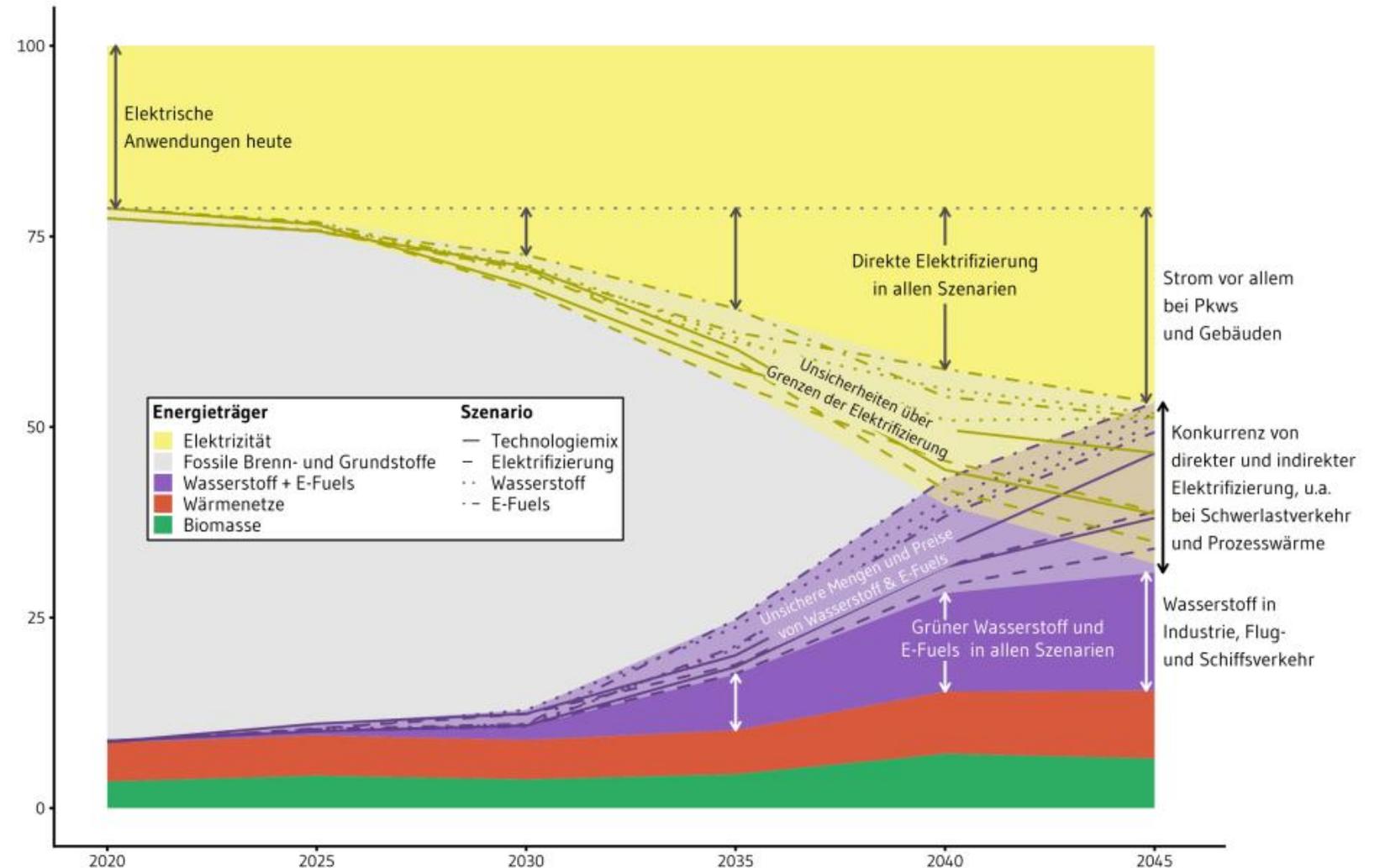
# Endenergieverbrauch nach Energieträgern

- Endenergieverbrauch sinkt  
Energieeffizienz & direkte Elektrifizierung
- Strom ist 2045 der dominante Energieträger in allen Szenarien
- Szenarienunterschiede
  - Anteil der direkten Elektrifizierung
  - Energieeffizienzmaßnahmen
  - inländische Herstellung von Energieträgern vs. Import



# Entwicklung der Energieträger im zukünftigen Energiesystem

- Szenarien beinhalten verschiedene Ausprägung von direkter und indirekter Elektrifizierung
- Unsicherheit über Verfügbarkeit und Potentialen von Technologien und Energieträgern



Quelle: ARIADNE Projekt, 2021

# Welche Rolle spielt Wasserstoff im zukünftigen Energiesystem?

## Alternativlos

Konkurrenz zu

keine

Biomasse

Elektrifizierung

Andere



\*Sehr wahrscheinlich in Form von Ammoniak oder E-Fuels, nicht als gasförmiger oder flüssiger Wasserstoff

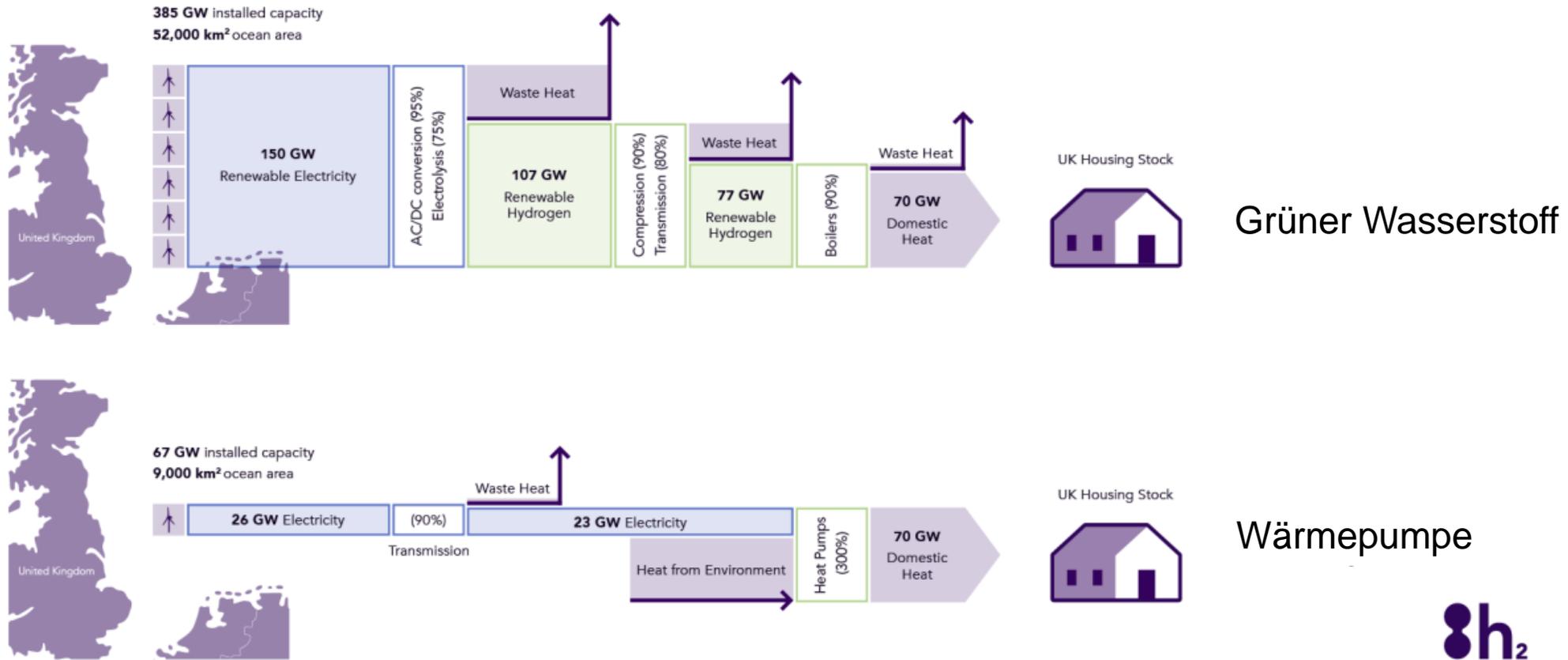
Quelle: Michael Liebreich/Liebreich Associates, [Clean Hydrogen Ladder, Version 4.1, 2021](#).

Concept credit: Adrian Hiel, Energy Cities. [CC-BY 3.0](#)

Übersetzung: Wolf-Peter Schill @WPSchill und Martin Kittel @mkittel, 9 September 2021

- Wasserstoff kann sehr vielseitig eingesetzt werden
- Verwendung steht in Konkurrenz zu anderen Lösungen

# Welche Rolle spielt Wasserstoff im zukünftigen Energiesystem? – Beispiel Wärmesektor



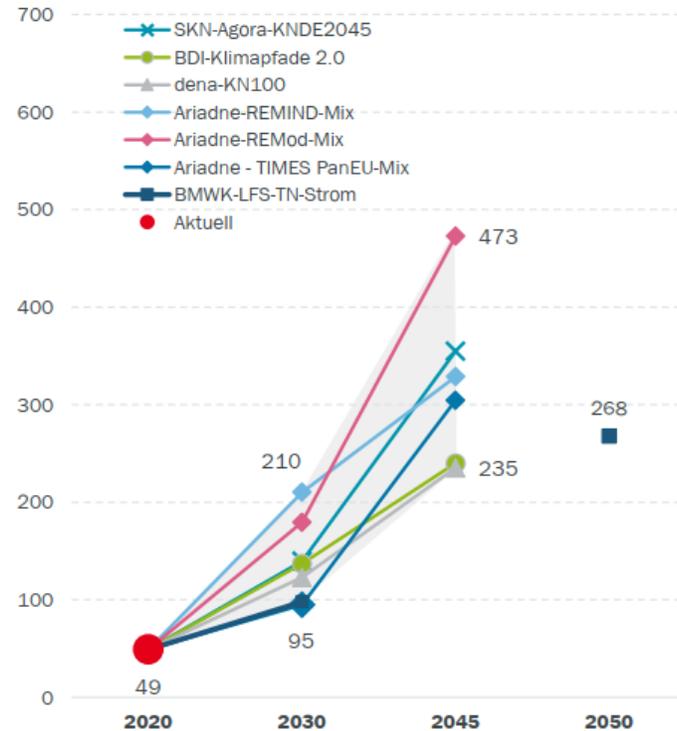
Source: [Hydrogen Science Coalition](#)

- Mit Wasserstoff können Effizienzziele im Wärmesektor nicht erreicht werden
- brennstofffreie Alternativen (Solarthermie, Geothermie, Umweltwärme) mit großen Potential

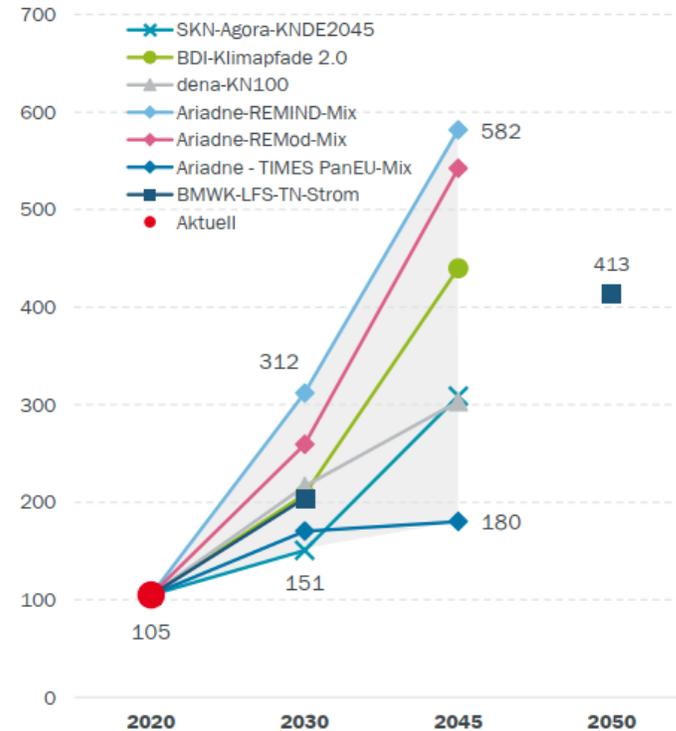
# Fluktuierende Stromerzeugung aus PV und Wind

[TWh]

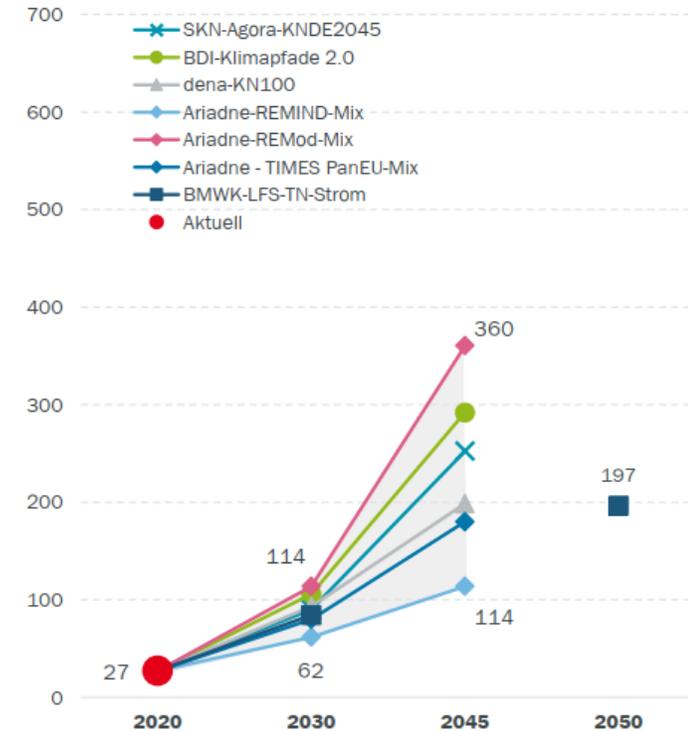
PV



Wind onshore



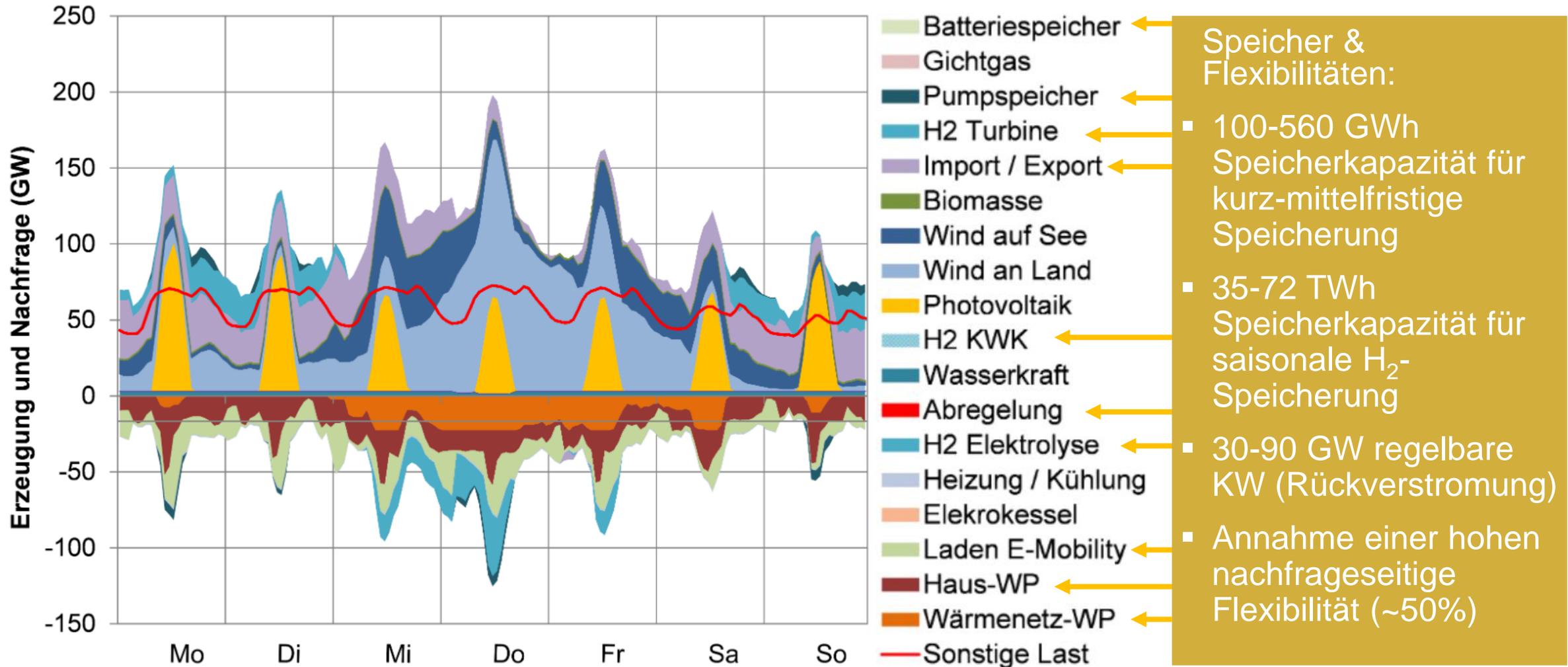
Wind offshore



Quelle: ARIADNE Projekt, 2021

- Anteil Wind und PV an Nettostromerzeugung min. 60 % in 2030 und min. 86% in 2045
- Deutschland wird zum Nettoimporteuer
- EE-Ausbauziele aus KoaV 2021 PV 200GW, Wind onshore 110GW, Wind offshore 30GW

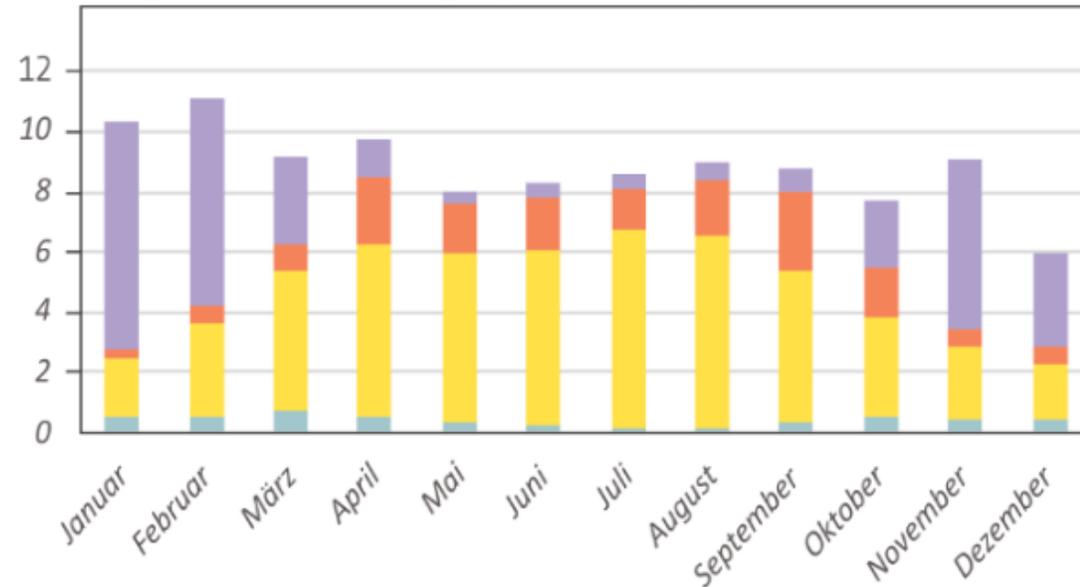
# Welche Rolle spielen Speicher und Flexibilitäten im zukünftigen Energiesystem?



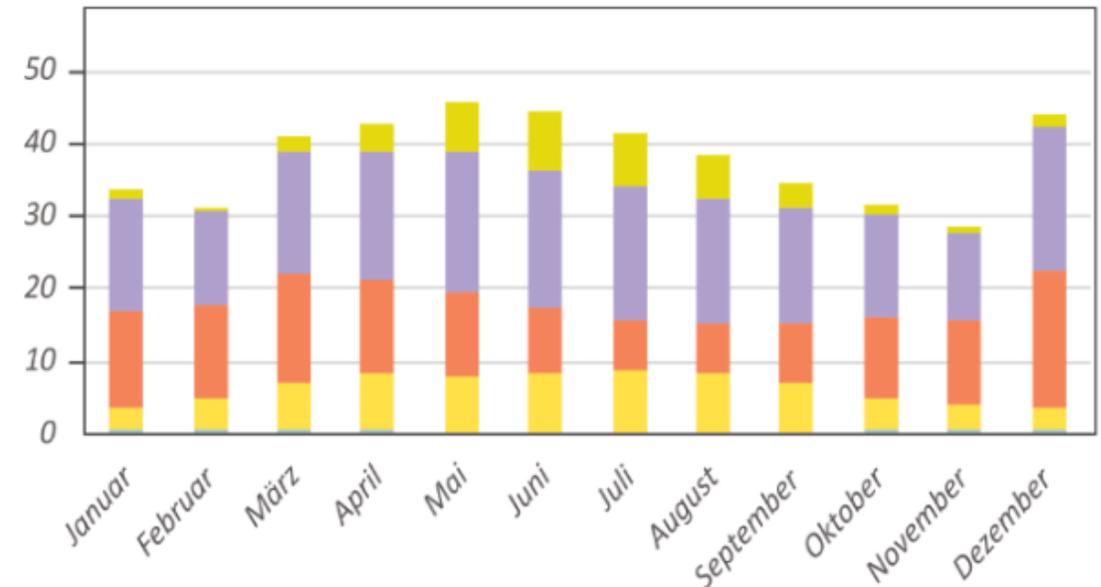
Quelle: Langfristszenarien 2022 – TN H2 2045

# Welche Rolle spielen Speicher und Flexibilitäten im zukünftigen Energiesystem?

Stromabgabe bei Strommangel [TWh/Monat]



Stromabnahme bei Stromüberschuss [TWh/Monat]

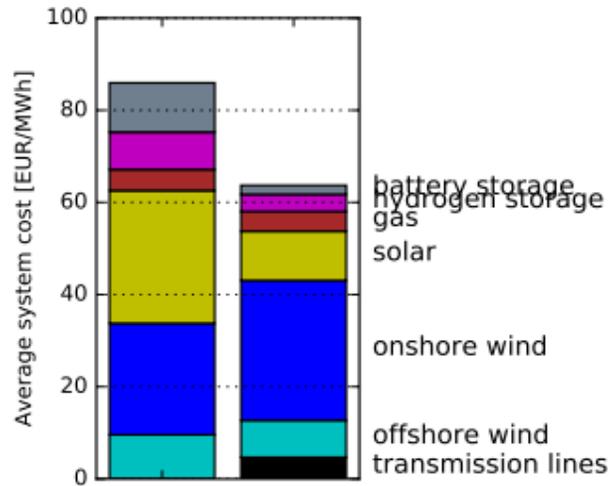
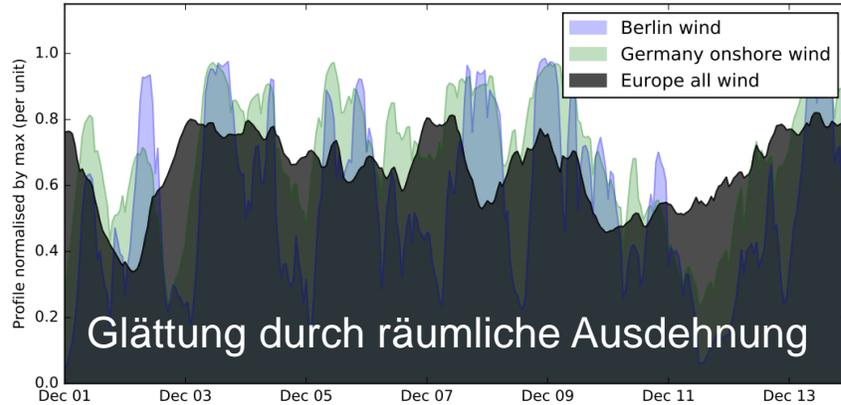


■ DSM-konv. Stromverbrauch ■ Stromspeicher ■ Wärme ■ Synthetische Energieträger ■ Abregelung

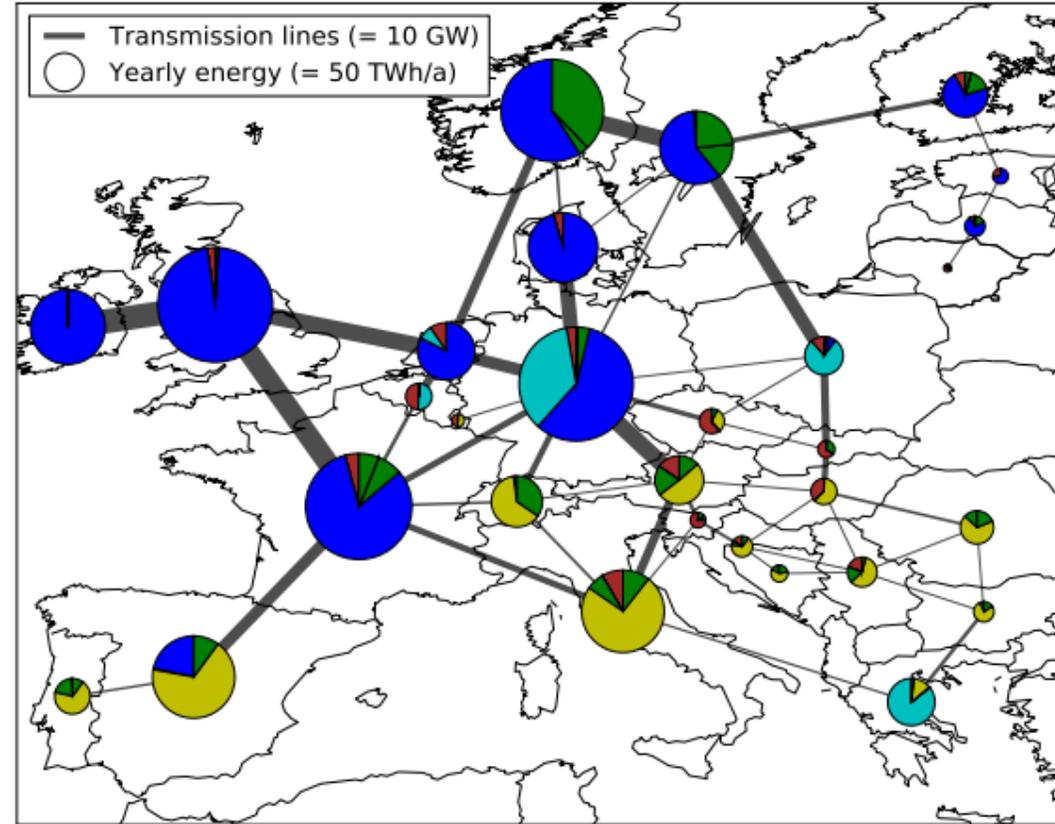
Quelle: ARIADNE Projekt, 2021

- Unterschiedlicher Einsatz der verschiedenen Flexibilitätsoptionen im Jahresverlauf
- Gas-, GuD- oder andere regelbare Kraftwerke <1.500 Stunden im Jahr (1-5)
- Elektrolyseure zwischen 2000 und 4500 Stunden im Jahr (1-5)

# Welche Rolle spielt der Stromnetzausbau im zukünftigen Energiesystem?



kein optimaler Netzausbau

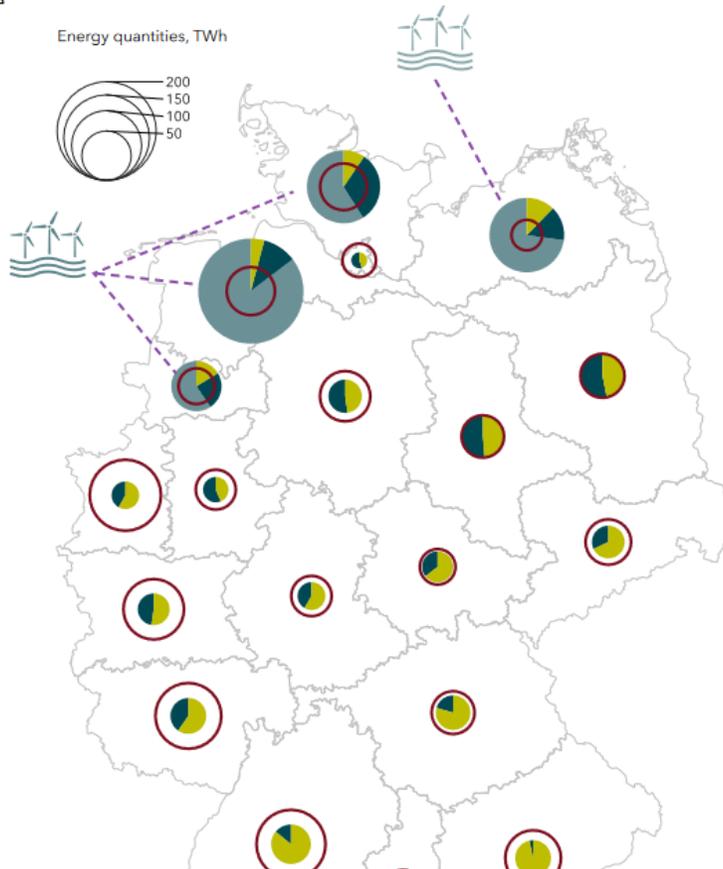


Quelle: Tom Brown Energy Systems Course 2023

Kostenoptimum für hohe installierte Leistung Wind onshore und hohen Ausbau des Übertragungsnetzes sowie grenzüberschreitender Kapazitäten

# Welche Rolle spielt der Stromnetzausbau im zukünftigen Energiesystem?

- Wind energy offshore
- Wind energy onshore
- Photovoltaics
- Electricity demand in



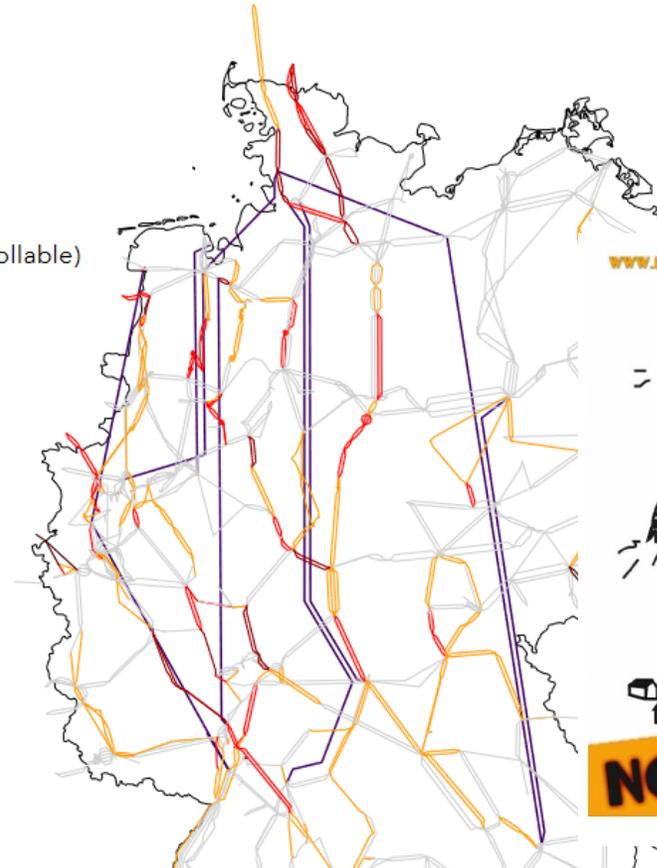
Utilisation in (n-1) case in %

- >260
- 180-260
- 140-180
- 105-140
- 0-105

- HVDC (controllable)
- State border

DE north-south power flow

51 GW



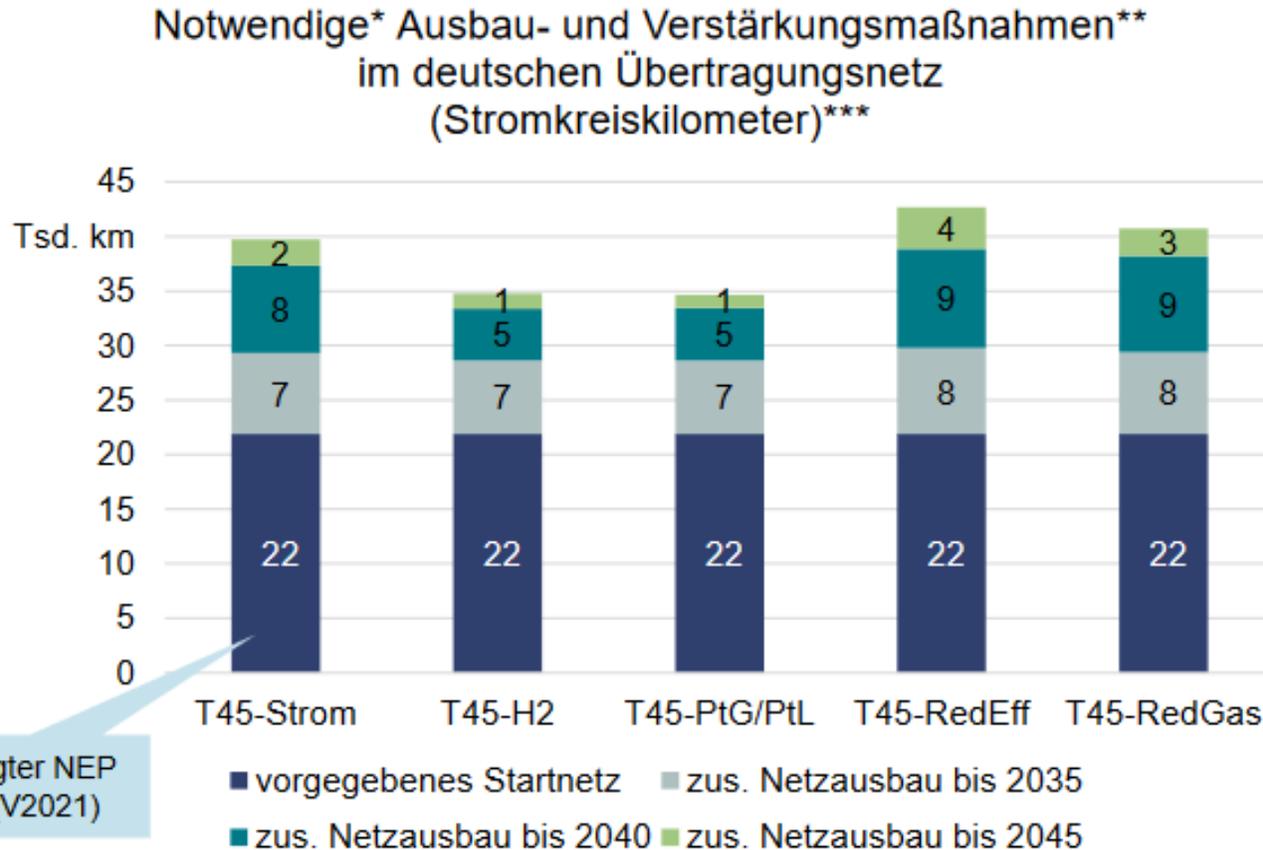
[www.berngau-gegen-monstertrasse.de](http://www.berngau-gegen-monstertrasse.de)



Verzögerung des Netzausbaus und Spitzenkappung

→ Frühere Nutzung von Flexibilitäten und Speichern möglich

# Welche Rolle spielt der Stromnetzausbau im zukünftigen Energiesystem?



Quelle: Langfristszenarien 2022

- Weiterer Ausbau zusätzlich zum NEP 2035
- Ausbaurkosten stark abhängig
  - Verzinsung
  - Anteil Kabel (Mehrkostenfaktor 5)
- Ausbaubedarf im Verteilnetz ca. 110% (6)
- Austauschkapazitäten mit europäischen Nachbarländern steigen 2-2,5-fach

■ Größter Anteil des Stromnetzausbaus ist bis 2035 notwendig

# FORSCHUNGSPROJEKTE ENERGIESYSTEMTECHNOLOGIE

# enera: Optimierung des Netzbetriebs zur Reduktion von Netzengpässen

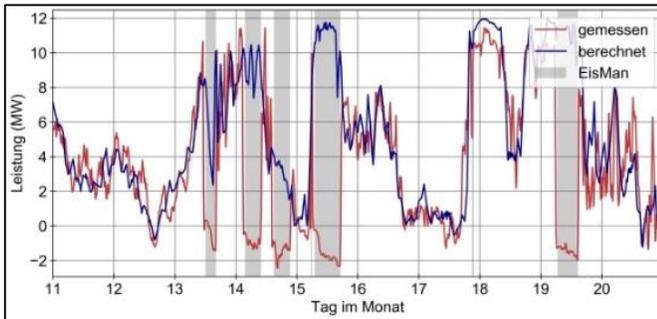
Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## 1. Prognosen

- **UW-Bezirk spezifische** Abbildung der ein-/ausgehenden Leistung
- **Ausfallarbeit** ermöglicht Analysen zu Flexibilitätsoptionen und Effizienzsteigerung

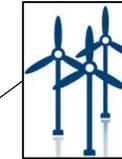


## 2. Einsatz von Flexibilitäten

- Technologiespezifische Netzdienlichkeit

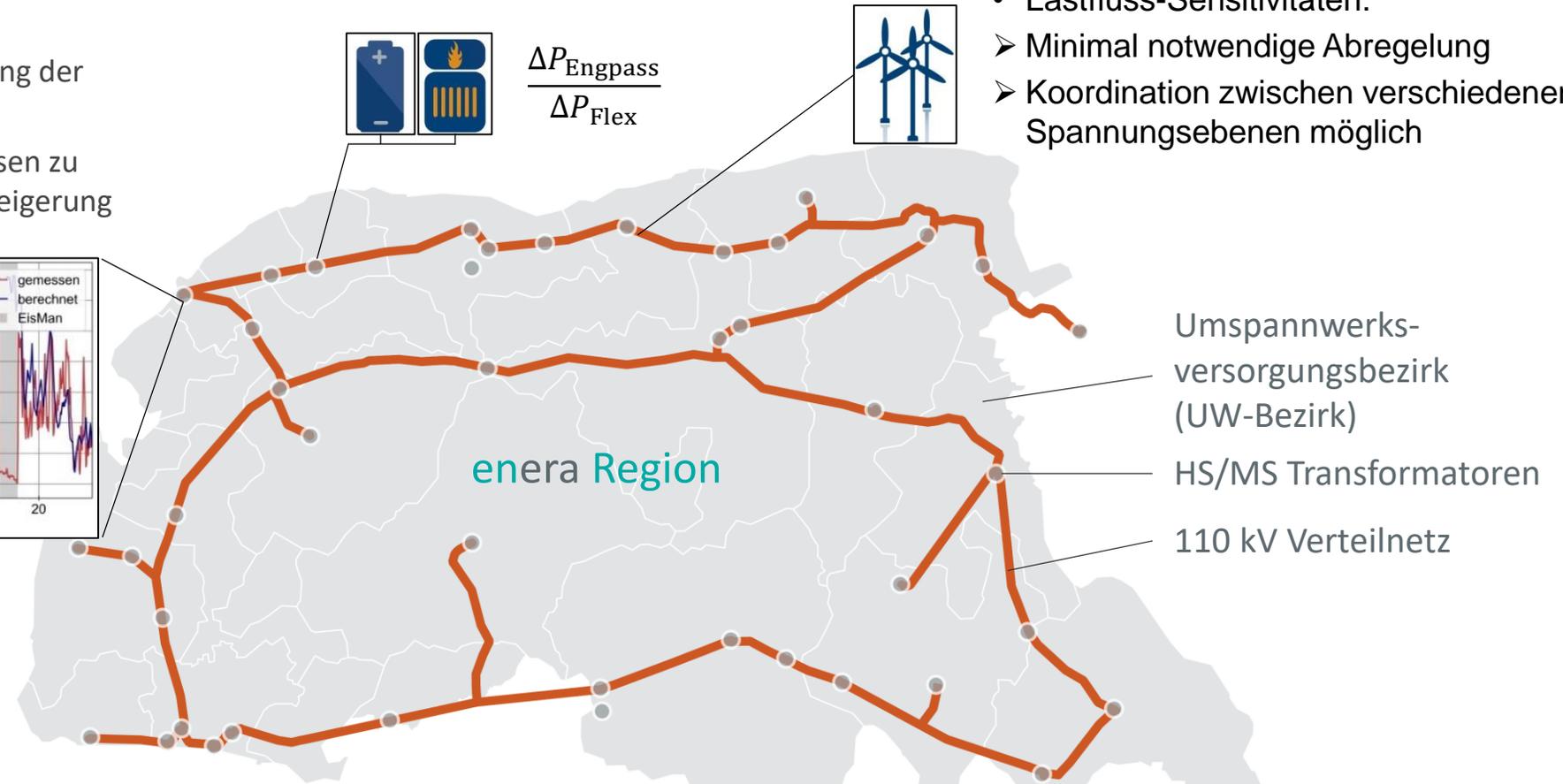


$$\frac{\Delta P_{\text{Engpass}}}{\Delta P_{\text{Flex}}}$$



## 3. Optimierter Netzbetrieb

- Lastfluss-Sensitivitäten:
  - Minimal notwendige Abregelung
  - Koordination zwischen verschiedenen Spannungsebenen möglich



## ■ Ansätze für einen robusten Netzbetrieb bei maximaler EE-Integration

# enera: Wovon hängt das netzdienliche Flexibilitätspotential ab?

Technologie	Einflussparameter
EE-Anlagen	Erzeugungspotential
Batteriespeicher	Marktpreise, Betriebsführung
Power-to-Heat	Außentemperatur/Wärmebedarf, Speicherauslegung

## Ableitung typischer Flexibilitätsbedarfsprofile aus EE-Profilen:

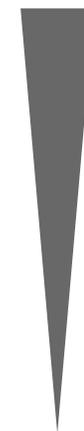
- Kurz (täglich 4 Stunden):



- Mittel (täglich 12 Stunden):

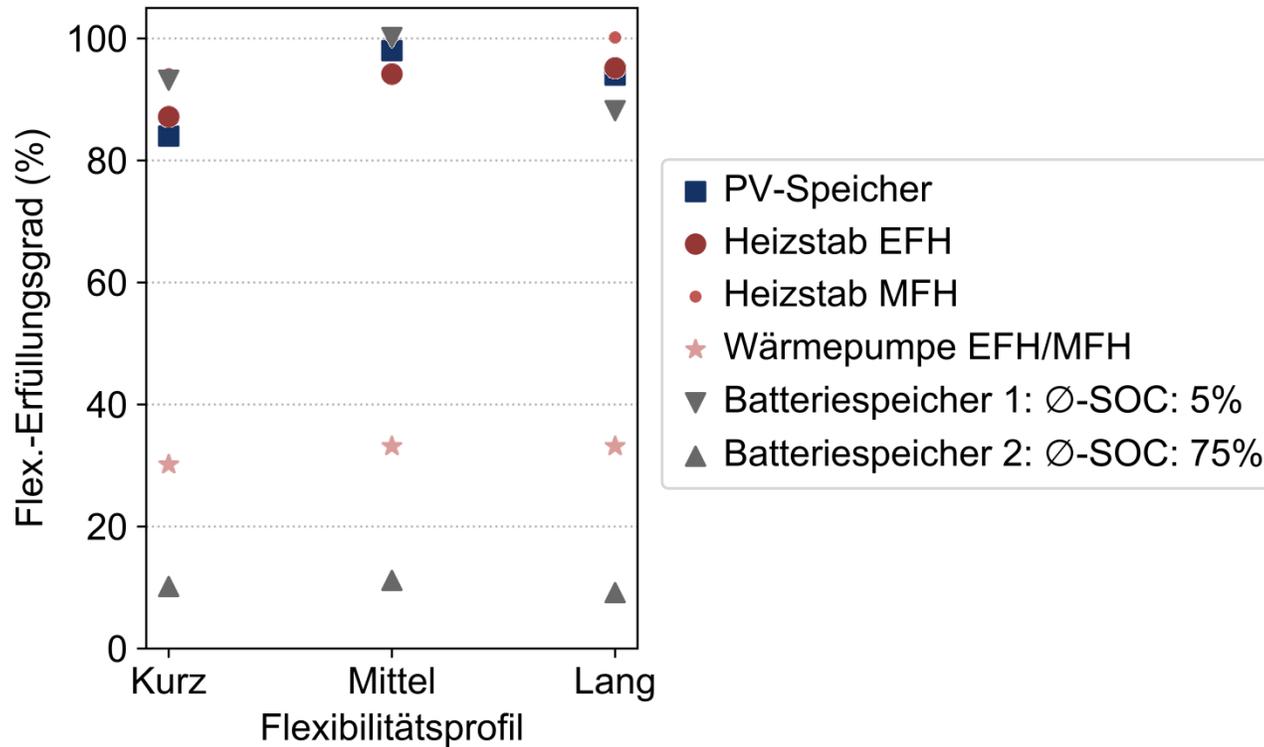


- Lang (3 Tage im Monat):



Höhe des Leistungsabrufs

# enera: Lokale Flexibilitätspotentiale und ihre Nutzung



- PV-Hausspeicher
  - Häufig freie Speicherkapazitäten, daher hohes Potential zur zusätzlichen Leistungsaufnahme
- P2H-Technologien
  - Heizstäbe besser als verbrauchsseitige Flexibilität nutzbar als Wärmepumpen, da ineffizienter
- Großspeicher z.B. Li-Ion
  - Flexibilitätssnutzung abhängig vom SOC
  - SOC abhängig von Speicher-Betriebsführung

Flexibilitätserfüllungsgrad hängt von technologie-spezifischer Betriebsweise und Auslegung ab!

# H2-ReNoWe: Wasserstoffregion Nord-West



- Die **Forschung** erfolgt direkt an der **Sektorenkopplung** zwischen Gas- und Stromnetzen
- **Saisonale Speichermöglichkeiten** durch Kavernenspeicher vor Ort
- **Überschuss** an erneuerbar erzeugter Energie in den **Stromnetzen der Region**
- Das Druckluftspeicherwerk Huntorf hat bereits jetzt Zugriff auf die **Schlüsselemente einer zukünftigen Wasserstoffwirtschaft**



© Tennet

Überschuss an erneuerbarer Energie in der Netzregion



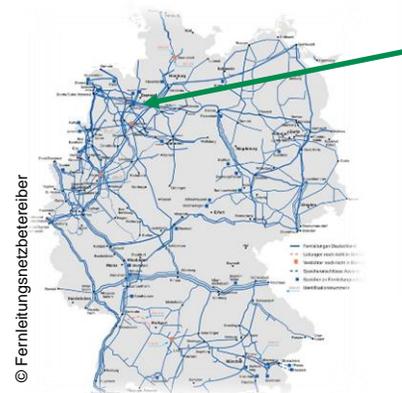
© Jade-Weser-Port

Hafenanlagen zum Import von Wasserstoff in der Nähe



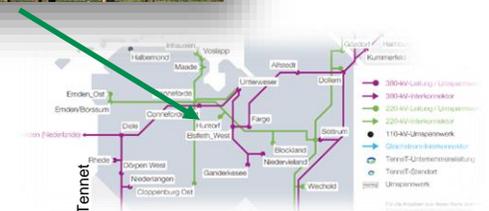
© EWE Gasspeicher

Speicherkapazitäten für Wasserstoff am Ort



© Fernleitungsnetzbetreiber

Anschluss an das Gas-Fernleitungsnetz



© Tennet

Anbindung an das Strom-Übertragungsnetz

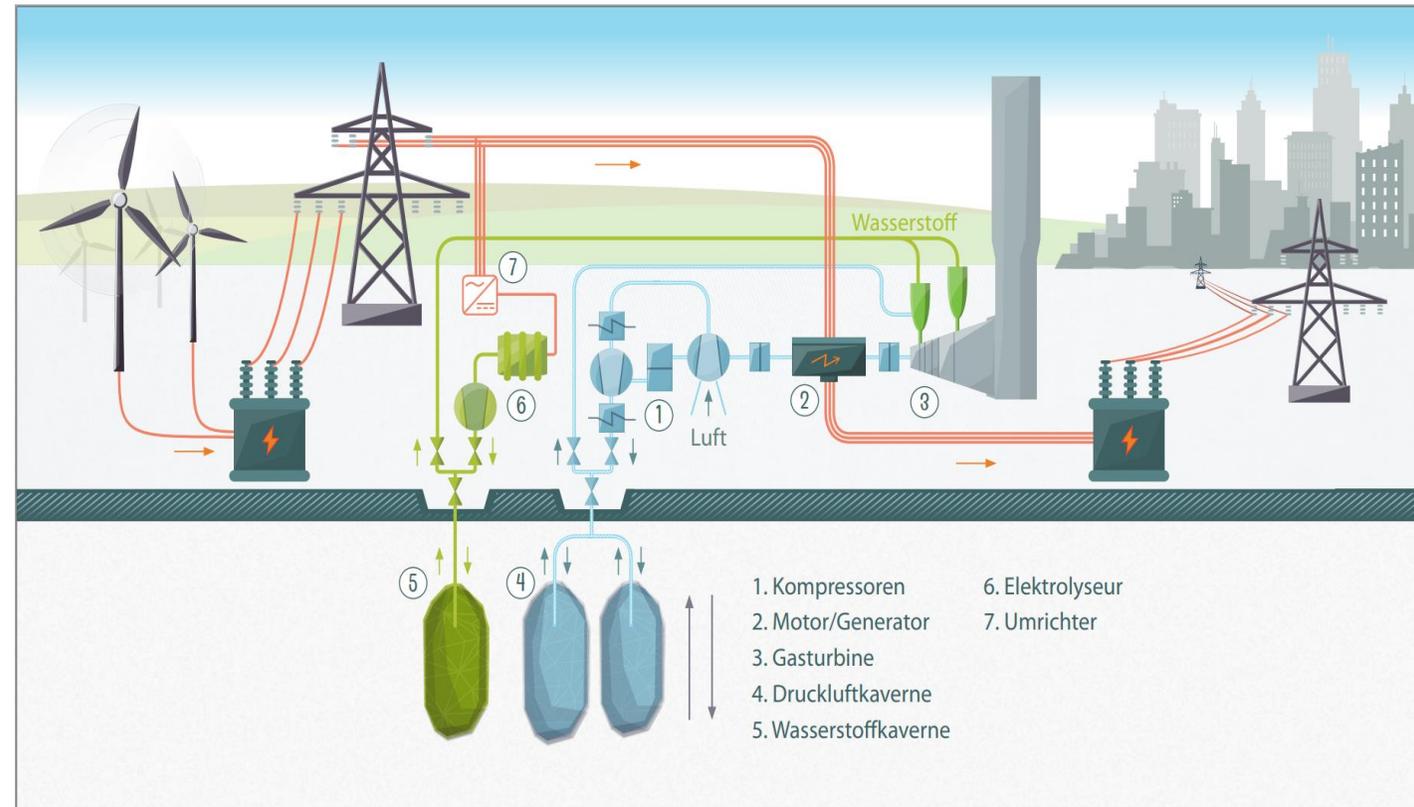
# H2-ReNoWe: Das Speicherkraftwerk Huntorf als Blaupause für eine neue emissionsfreie Kraftwerksgeneration in der Energiewende

## ▪ Teilziele

- Weiterentwicklung des KW Huntorf zum H<sub>2</sub>-Druckluft-Speicherkraftwerk
- Bewertung der Einflussmöglichkeiten des Kraftwerks im Stromnetz
- Charakterisierung und Modellierung der Systemkomponenten
- Prüfung verschiedener Betriebsstrategien in der Gesamtmodellierung

## ▪ Angestrebte Ergebnisse

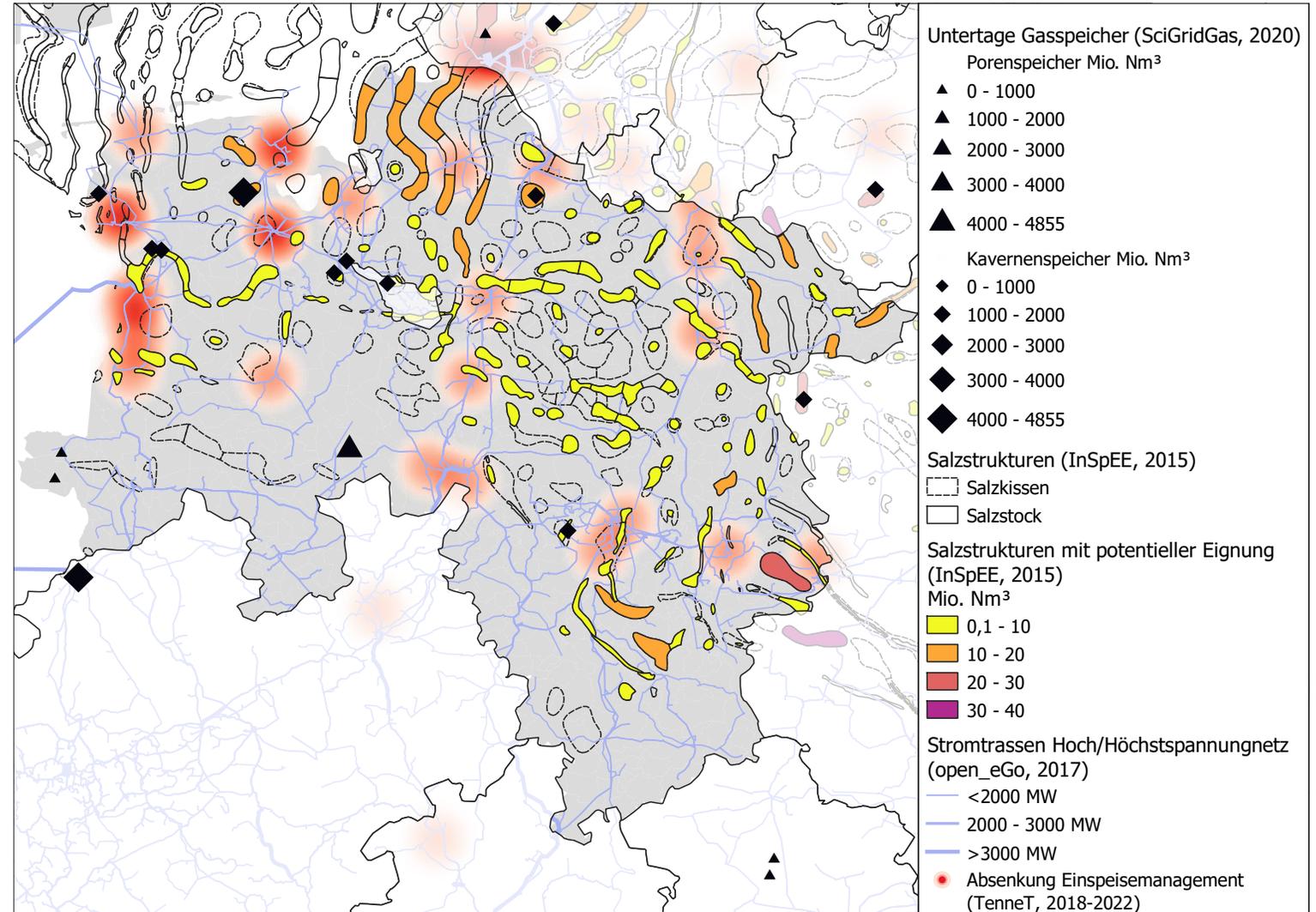
- Konzept für den emissionsfreien Betrieb durch Wasserstoffnutzung
- Strategie zur Einbindung des Kraftwerks in das wirtschaftliche Umfeld der Region



Quellen: Projekt H2-ReNoWe, Uniper

# H2-ReNoWe: Umsetzungspotentiale in Niedersachsen

<b>Gas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lokale H<sub>2</sub>-Nachfrage</li> <li>• Verfügbarkeit und Einspeisepotential Gasnetz</li> <li>• Speicherpotentiale</li> </ul>
<b>Strom</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kurzfristige Optimierungspotentiale Redispatch/ EISMAN</li> <li>• Leistungsbilanz EE-Erzeugung</li> <li>• Bedarf regelbare KW, Systemdienstleistungen</li> </ul>
<b>Sonstiges</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wasserverfügbarkeit</li> <li>• Nutzungsmöglichkeiten Sauerstoff/ Wärme</li> <li>• Genehmigungsfähigkeit</li> </ul>



Quellen: InSpEE-Salzstrukturen, (c) BGR, Hannover, 2015; open\_eGo, 2017; SciGridGas, 2020; TenneT, 2023

# Zukünftiges Energiesystem 2045



- Stromverbrauch verdoppelt sich
- Nutzung von Wasserstoff und E-Fuels für viele Anwendungen noch unklar
- Energienachfrage folgt fluktuierender Einspeisung → hoher Flexibilisierungsbedarf
- Hoher Netzausbaubedarf → kosteneffizient ist ein möglichst schneller Ausbau (2035)

- (1) 50Hertz Transmission GmbH, Amprion GmbH, TenneT TSO GmbH, TransnetBW GmbH, „**Szenariorahmen zum NEP Strom 2037 mit Ausblick 2045**“, 2022.
- (2) M. Fette et al., „**Multi-Sektor-Kopplung**“, Fraunhofer IFAM, DLR TT, Brennstoff- und Gerätetechnik, Gas- und Wärme-Institut Essen, Bremen, 2020.
- (3) FZ Jülich, „**Neue Ziele auf alten Wegen? Strategien für eine treibhausgasneutrale Energieversorgung bis zum Jahr 2045**“, Jülich, 2021.
- (4) S. Cerniauskas et al., „**Wissenschaftliche Begleitstudie der Wasserstoff Roadmap Nordrhein-Westfalen**“, Forschungszentrum Jülich, Jülich, 2021.
- (5) Fraunhofer ISI, consentec, ifeu Institut Heidelberg, TU Berlin, „**Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland**“, 2022.
- (6) Bundesnetzagentur, „**Bericht zum Zustand und Ausbau der Verteilernetze**“, Bonn, 2021
- (7) Tom Brown Energy Systems Course, TU Berlin, 2023 <https://nworbmot.org/teaching.html>
- (8) TransnetBW Energy System 2050 <https://www.energysystem2050.net/>

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR)  
Institut für Vernetzte Energiesysteme | Energiesystemtechnologie |  
Carl-von-Ossietzky-Str. 15 | 26129 Oldenburg

**Dorothee Peters** | Wissenschaftliche Mitarbeiterin  
Telefon 0441 99906-411 | [dorothee.peters@dlr.de](mailto:dorothee.peters@dlr.de)

**Frank Schuldt** | Gruppenleiter  
Telefon 0441 99906-422 | [frank.schuldt@dlr.de](mailto:frank.schuldt@dlr.de)

[DLR.de/ve](https://www.dlr.de/ve)

# KONTAKT