## Integrierte Ausbauplanung durch Kopplung zweier Energiesystemoptimierungsmodelle

08.09.2021 | THERESA GROSS, JOCHEN LINSSEN, DETLEF STOLTEN

12. Internationale Energiewirtschaftstagung an der TU Wien Online-Präsentation

t.gross@fz-juelich.de

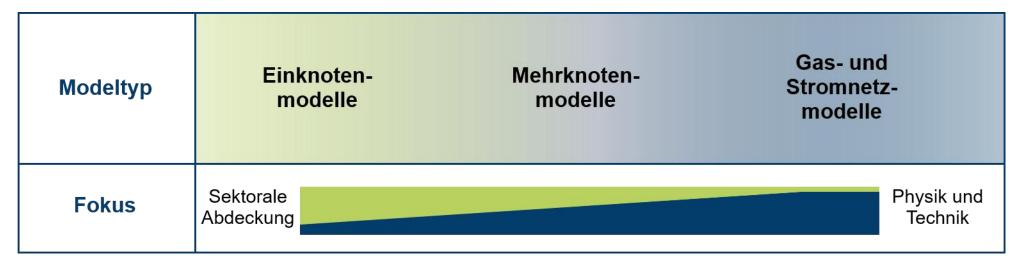


### **Agenda**

- Motivation der Modellkopplung
- Methodische Vorgehensweise
- > Anwendungsbeispiel der beschriebenen Modellkopplung
- > Zusammenfassung



### Motivation der Modellkopplung



Schematische Darstellung verschiedener Modelltypen zur Abbildung von Energiesystemen.

- Modelle haben unterschiedliche Schwerpunkte (je nach Modelltyp) und eignen sich unterschiedlich gut, um bestimmte Aspekte des realen Sachverhalts abbilden zu können.
- Modellkopplungen ermöglichen die Kombination verschiedener Modelltypen.
  - → Nutzen der Stärken der gekoppelten Modelle

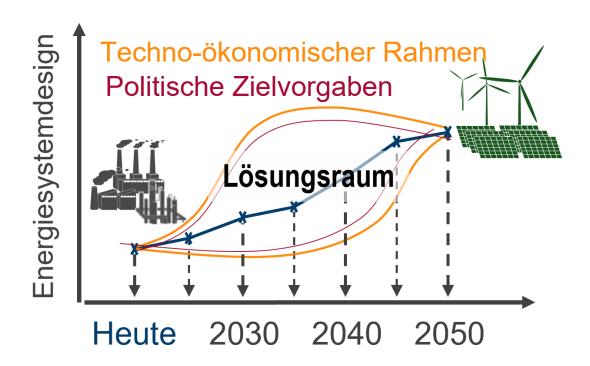


#### **Einknotenmodell: FINE-NESTOR**

Ziel: Kostenoptimaler
 Transformationspfad des gesamten
 Energiesystems Deutschland

#### Besonderheiten:

- Myopischer Ansatz mit Backcasting
- Berücksichtigung von über 1000 Technologiepfade
- Berücksichtigung von Kostenunsicherheiten [3]



Schema Energiesystemmodell FINE-NESTOR (angelehnt an [1,2])

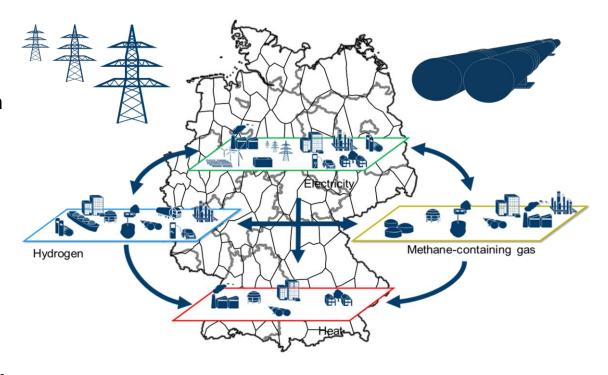
<sup>[1]</sup> Lopion, P., Modellgestützte Analyse kosteneffizienter CO2-Reduktionsstrategien, in Fakultät für Maschinenwesen. 2019, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen. p. 279.

<sup>[2]</sup> Cerniauskas, S., et al., Wissenschaftliche Begleitstudie der Wasserstoff Roadmap Nordrhein-Westfalen. Energie & Umwelt, ed. F.J. GmbH. Vol. 535. 2021.

<sup>[3]</sup> Lopion, P., et al., Cost Uncertainties in Energy System Optimization Models: A Quadratic Programming Approach for Avoiding Penny Switching Effects. Energies, 2019. 12(20). 10.3390/en12204006

#### Mehrknotenmodell: FINE.Infrastructure

- Ziel: Kostenoptimales
  Energiesystemdesign Deutschland
- Räumliche Auflösung orientiert sich am Stromnetz basierend auf den bestätigten Maßnahmen des Netzentwicklungsplans 2030 (Version 2019) [1]
- Zeitliche Auflösung auf Stundenbasis für ein Jahr
- Nutzung von Aggregationsmethoden auf zeitlicher und räumlicher Ebene zur Reduktion der Modellkomplexität und Rechenzeit

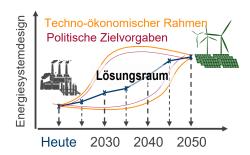


Schema Energiesystemmodell FINE.Infrastructure



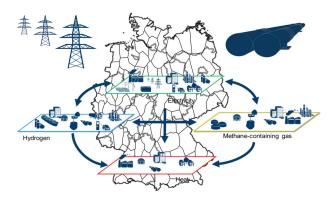
### Motivation der Modellkopplung II

#### Einknotenmodell: FINE-NESTOR



- Hohe sektorale Auflösung
  - z.B. Abbildung von Prozessschritten, ...
- Hohe zeitliche Auflösung
- Analyse eines langen Zeithorizonts
  - Transformationspfade

#### Mehrknotenmodell: FINE.Infrastructure

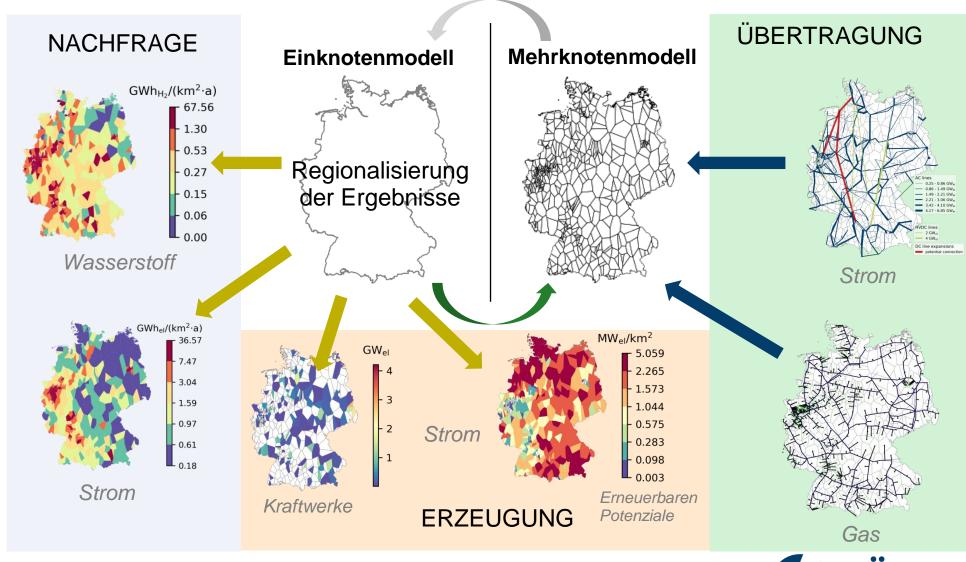


- Hohe räumliche Auflösung
- Abbildung von Infrastrukturen zum Austausch über Regionsgrenzen

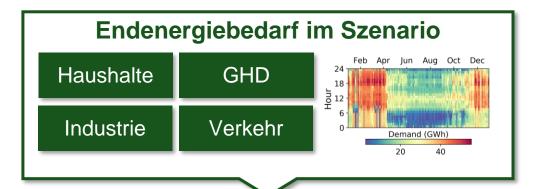
→ Nutzung der Vorteile beider Modelle durch Modellkopplung

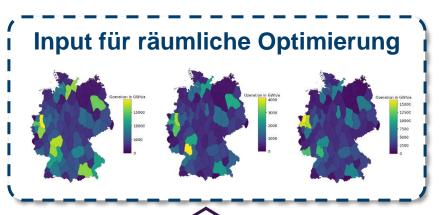


### Methodische Vorgehensweise: Modellkopplung



### Methodik Workflow I: Regionalisierung der Endenergienachfragen





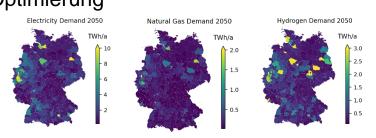
#### Regionalisierung nach

- Bevölkerung
- Einkommen
- Wohnfläche
- Beschäftigte nach Branchen
- Branchenspezifische Nachfragen
- Fahrzeugbestände
- Logistikfläche
- etc.

Verteilschlüssel

#### Verteilung der Endenergienachfrage

- Regionalisierung variiert für jeden Sektor und Endenergieträger
- Nachfrage des Umwandlungsbereichs nicht berücksichtigt sondern räumliche Optimierung



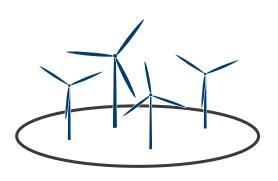


### Methodik Workflow II: Regionalisierung des Technologieportfolios

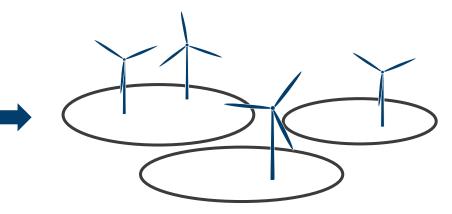
- Einführung von Randbedingungen, die den Ausbau der einzelnen Technologien beschränken
  - Anpassung der Ergebnisse beider Modelle

$$total Expansion Max_{comp} \geq \sum_{locations} cap Var_{comp}$$
 
$$total Expansion Min_{comp} \leq \sum_{locations} cap Var_{comp}$$

#### Einknotenmodell



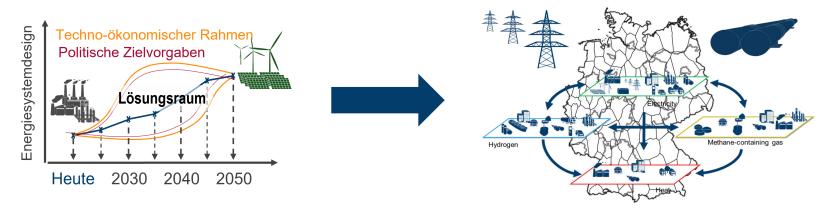
#### Mehrknotenmodell



→ Räumliche Verteilung und Betrieb der Technologien sind Teil des Optimierungsergebnisses



### Anwendungsbeispiel



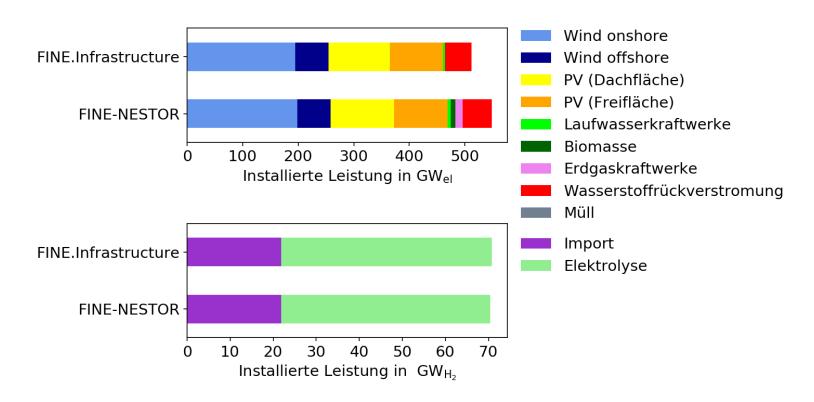
 Basierend auf dem Referenzszenario der wissenschaftlichen Begleitstudie der Wasserstoff Roadmap Nordrhein-Westfalen [1].

#### Modellfakten:

- Abgebildetes Jahr: 2050
- Reduktion der CO<sub>2</sub> Emissionen um 95%
- Fokus auf Strom, Erdgas und Wasserstoff
- Räumliche Auflösung: 80 Regionen

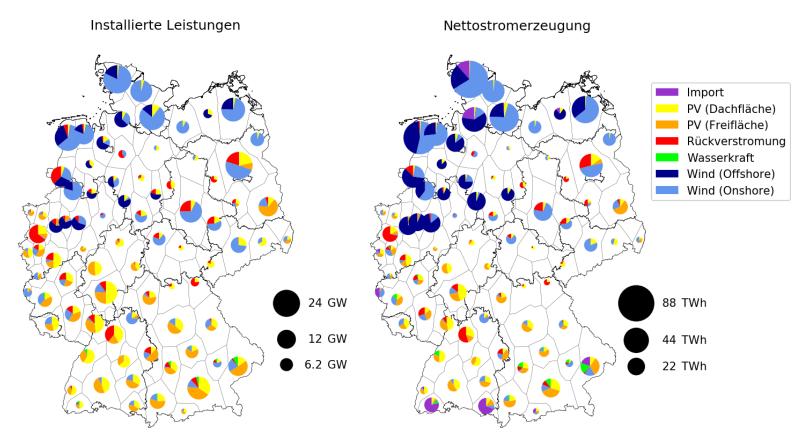


### Abgleich der Ergebnisse für das Jahr 2050



- Die resultierenden Energiesysteme beider Modelle sind vergleichbar
  - ➤ Die Ergebnisse des Einknotenmodells sind auch unter Berücksichtigung von räumlichen Gegebenheiten und Netzinfrastrukturen plausibel.

### Ergebnisse: Räumliche Verteilung der Stromerzeugung 2050

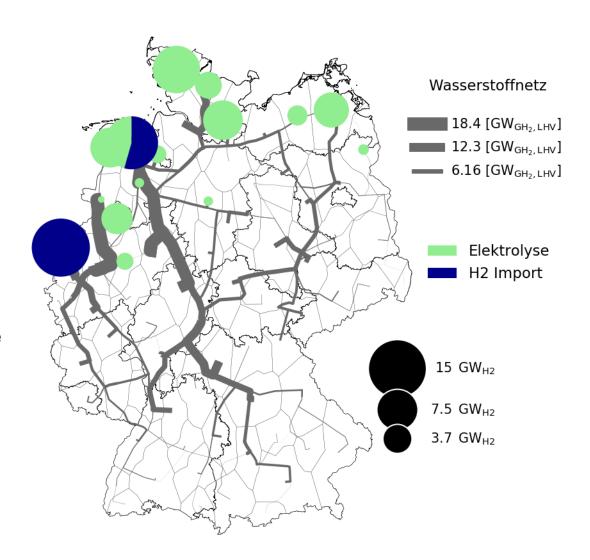


- Windkraftanlagen werden maßgeblich im Norden des Landes installiert (höhere Volllaststunden)
- In Süddeutschland werden mehr Photovoltaikanlagen installiert.
- Rückverstromungsanlagen sorgen für Flexibilität in den Bedarfszentren (z.B. Berlin) und ersetzen konventionelle Kraftwerkparks (z.B. in NRW)



#### Aufbau der Wasserstoffinfrastruktur 2050

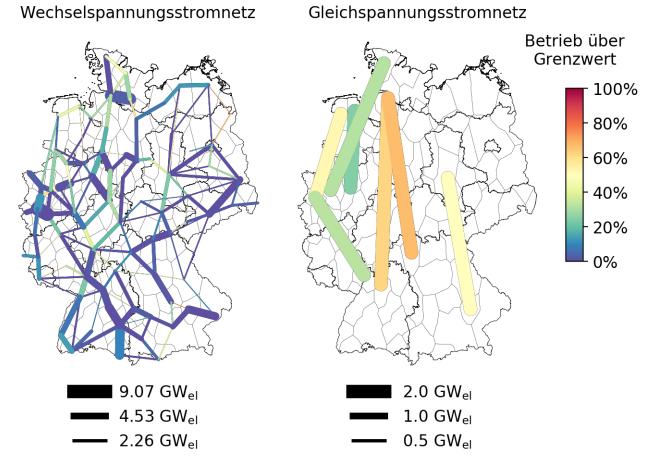
- Elektrolyse im Norden
  - Hohe Windenergiepotenziale und dadurch Produktion von Überschussstrom
  - Salzkavernenstandorte zur kostengünstigen Speicheroption für den bereitgestellten Wasserstoff
- Wasserstoffpipelines transportieren den bereitgestellten Wasserstoff in die Bedarfszentren im Süden





### Auslastung der Netzinfrastrukturen

- Auswertung der Auslastung und damit verbundenen Engpässen in den leitungsgebundenen Infrastrukturen möglich
- Kein weiterer Ausbau des Stromnetzes berücksichtigt
- Hohe Auslastung der Nord-Süd-Trassen



Zeitliche Auslastung des Höchstspannungsstromnetzes über den Grenzwert von 80 % der jeweiligen Übertragungsleistung\*.



<sup>\*</sup> Die Übertragungsleistung des Wechselstromnetzes werden nur mit 70 % der nominalen Übertragungsleistung modelliert, um das (n-1)-Kriterium zu approximieren.

#### Zusammenfassung

- Die Modellkopplung zweier Energiesystemoptimierungsmodelle erlaubt die Prüfung der Plausibilität der Ergebnisse.
- Zusätzliche Aussagen möglich:
  - Zur kostenoptimalen räumlichen Platzierung der berücksichtigten Technologien,
  - Zum jeweiligen Betrieb (räumlich aufgelöst) der gezogenen Technologien sowie
  - Zum Transport der Energieträger zwischen den Regionen

Durch die Modellkopplung können die kostenoptimalen Transformationspfade des Energiesystems Deutschland zusätzlich auf einer räumlich aufgelösten Ebene analysiert werden.



# VIELEN DANK FÜR DIE AUFMERKSAMKEIT

