

Transformationspfade deutscher Bundesländer unter Berücksichtigung von Infrastrukturmaßnahmen

Energiesystemanalyse
Julian BRANDES¹⁽¹⁾ Markus KAISER²⁽¹⁾
Patrick JÜRGENS³⁽¹⁾

⁽¹⁾ Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme

Motivation und zentrale Fragestellung

Mit den „Big 5“ gibt es fünf aktuelle umfangreiche Studien, welche die Transformation des deutschen Energiesystems hin zu Klimaneutralität 2045 beleuchten [1,2,3,4,5]. Welche Rolle die einzelnen Bundesländer Deutschlands hierbei unter Wechselwirkung mit Infrastrukturmaßnahmen einnehmen, steht dort nicht zentral im Fokus. Um dies abbilden zu können, wird das Energiesystemmodell REMod, welches integriert alle Sektoren des Energiesystems abbildet, um eine regionale Aufteilung erweitert, so dass regional ein Technologieausbau optimiert wird, und Infrastrukturmaßnahmen werden in die Optimierung integriert. Somit wird ein Werkzeug entwickelt, um die Fragestellung zu beantworten, wie Transformationspfade von Energiesystemen unter Kopplung aller Sektoren mit einer hohen zeitlichen und räumlichen Auflösung optimiert werden können.

Methodische Vorgangsweise

Das Energiesystemmodell REMod optimiert mittels eines evolutionären Optimierungsalgorithmus (CMA-ES) [6] jahresscharfe Transformationspfade der Sektoren Energiewirtschaft, Gebäudewärme, Industrie und Verkehr. Um regionale Wechselwirkungen, sowie Wechselwirkungen der Transformationspfade einzelner Sektoren mit Infrastrukturmaßnahmen zu untersuchen, wurde das Modell von einem Ein-Knoten-Modell auf ein Mehr-Knoten-Modell mit einer Optimierung von Infrastrukturmaßnahmen erweitert. Hierbei wird ein Ansatz mit 10 Knoten für Deutschland umgesetzt, bei dem im Modell die Energiebilanz für Deutschland auf Bundeslandebene mittels objektorientierter Programmierung berechnet wird. Zwischen den Regionen wird mittels einer Metaheuristik, wie in Abbildung 1 schematisch dargestellt, Energie in Abhängigkeit von verfügbaren, jährlich optimierten Netzkapazitäten ausgetauscht. Hierbei wird nach der Berechnung der residualen Last in den einzelnen Regionen Energie zwischen diesen ausgetauscht, bevor weitere Technologien zum Ausgleich der residualen Last innerhalb der Regionen angewendet werden.

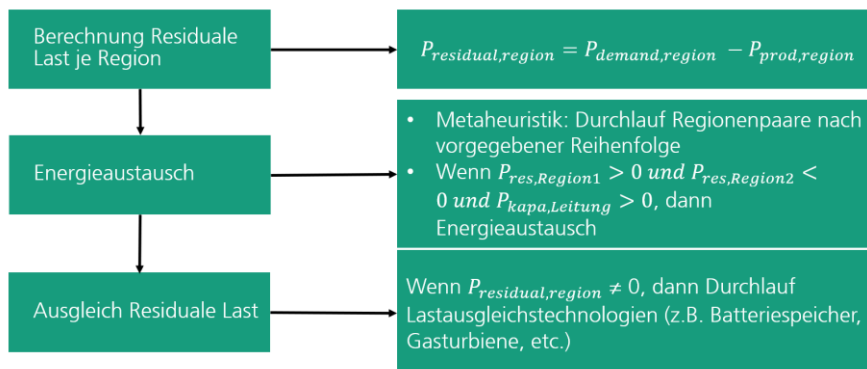


Abbildung 1: Integration von Infrastrukturberechnungen in die Metaheuristik von REMod

Da eine detaillierte Abbildung von Infrastrukturen in einem integrierten Energiesystemmodell auf Grund der Komplexität und des Umfangs des Modells nur schwer umsetzbar ist, werden die regionalen Ergebnisse von REMod mit Infrastrukturmodellen überprüft. Für die Validierung der Ergebnisse für die Höchstspannungsnetze aus REMod wird hierfür das Modell PyPsa verwendet. Ebenso wird ein am DBI entwickeltes Gastransportnetzmodell zur Validierung der Gas- und Wasserstoffströme an REMod gekoppelt. Zusätzlich findet eine regional hoch aufgelöste Berechnung

¹ 79110 Heidenhofstr.2 Freiburg, +49 761 4588-2279, julian.brandes@ise.fraunhofer.de

² 79110 Heidenhofstr.2 Freiburg, +49 761 4588-2279, julian.brandes@ise.fraunhofer.de

³ 79110 Heidenhofstr.2 Freiburg, +49 761 4588-2279, julian.brandes@ise.fraunhofer.de

von Ladeinfrastrukturen statt und es wird ein Tool für ein Life-Cycle-Assessment der Ergebnisse aus REMod entwickelt.

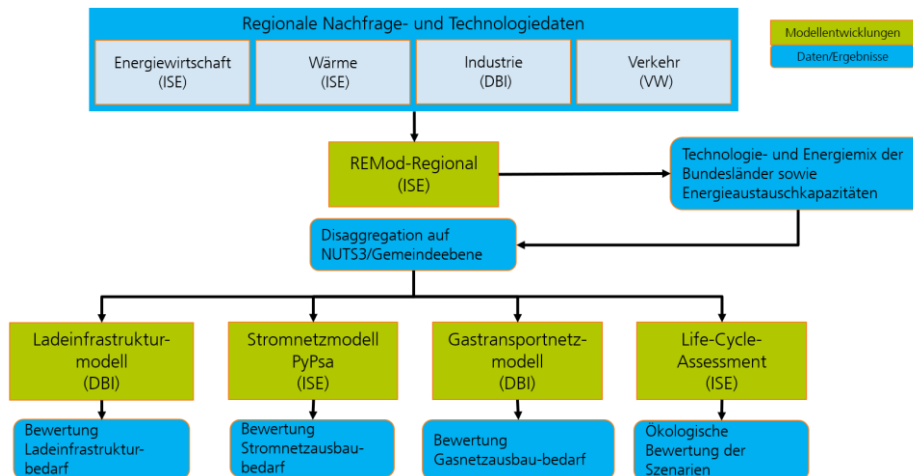


Abbildung 2: Modellkopplungen des Energiesystemmodells REMod mit Infrastrukturmodellen

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen große Unterschiede in den einzelnen Bundesländern in Bezug auf Erzeugung und Energieverbrauch, was den großen Bedarf an Infrastrukturmaßnahmen umso mehr verdeutlicht. So werden insbesondere in nördlichen Regionen große Mengen Erneuerbarer Energien installiert, während der Endenergiebedarf in diesen Regionen verglichen mit südlich gelegenen Regionen deutlich geringer ist.

Abbildung 3 zeigt beispielhaft für fünf verschiedene Regionen, dass die installierte Leistung einzelner Technologien zur Erzeugung von Erneuerbarer Energien innerhalb der Regionen sehr unterschiedlich verteilt ist. So werden insbesondere in den Regionen Niedersachsen-Bremen mit ca. 60 GW, sowie Schleswig-Holstein-Hamburg-Mecklenburg-Vorpommern und ca. 25 GW große Leistungen On- und Offshore Windenergie installiert, während beispielsweise in Nordrhein-Westfalen mit etwa 80 GW große Mengen Photovoltaik, dafür jedoch mit ca. 10 GW geringe Mengen Windenergie installiert werden.

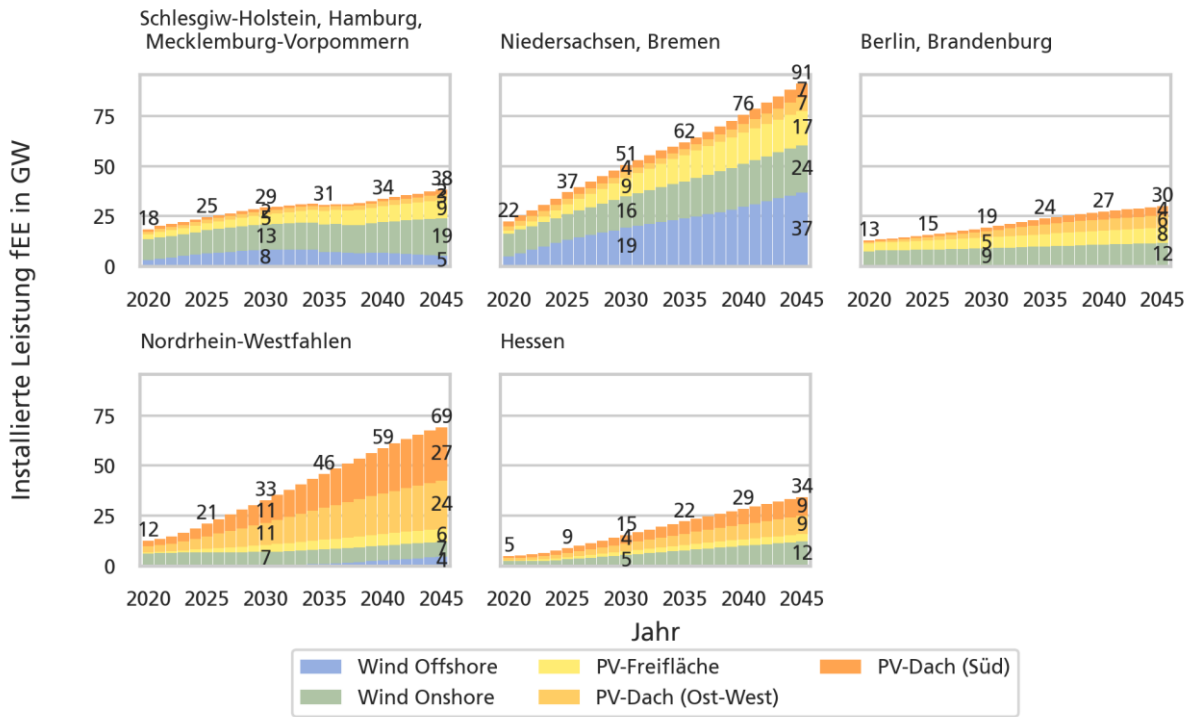


Abbildung 3: Installierte Leistung Erneuerbarer Energien für fünf der zehn berechneten Regionen

In Abbildung 4 zeigt sich hingegen, dass der Endenergiebedarf in den fünf dargestellten Regionen sehr unterschiedlich ist. So erreichen Regionen wie Schleswig-Holstein-Hamburg-Mecklenburg-Vorpommern oder Niedersachsen-Bremen im Jahr 2045 einen Endenergiebedarf von insgesamt nur etwa 350 TWh, wohingegen alleine Nordrhein-Westfalen auf 550 TWh kommt.

Um diese ungleiche räumliche Verteilung von Last und Erzeugung ausgleichen zu können, zeigen die Modellergebnisse, dass insbesondere zwischen den Regionen mit großem Windpotenzial und südlichen Bundesländern mit großem Endenergiebedarf große Strommengen ausgetauscht und aktuelle Stromleitungen stark verstärkt werden müssen.

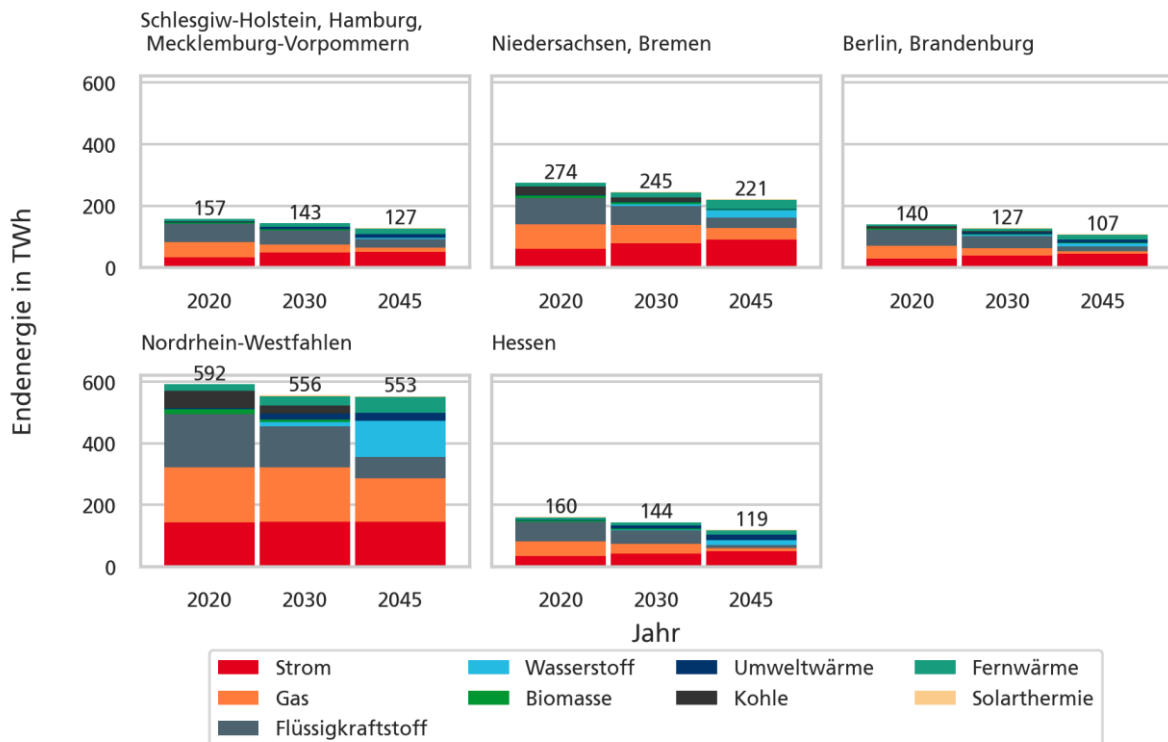


Abbildung 4: Endenergiebedarf für fünf der zehn berechneten Regionen, aufgeteilt nach Energieträger

Literatur

- [1] dena/ Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln 2021 dena/Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln: dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. Klimaneutralität 2045 - Transformation der Verbrauchssektoren und des Energiesystems., 2021.
- [2] Prognos, Öko-Institut, Wuppertal-Institut; „Klimaneutrales Deutschland 2045“; 2022
- [3] Boston Consulting Group; „Klimapfade 2.0 –Ein Wirtschaftsprogramm für Klima und Zukunft“; 2022
- [4] Consentec, Fraunhofer ISI, TU Berlin, ifeu; „Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland 3“
- [5] Ariadne-Kopernikus; „Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045“; 2022
- [6] Nikolaus Hansen. The CMA Evolution Strategy: A Tutorial. <https://arxiv.org/abs/1604.00772>. 2016.