

# ENERGIEBEREITSTELLUNG FÜR DIE GRUNDSTOFF-INDUSTRIE: EINE GESAMTSYSTEMISCHE PERSPEKTIVE

Markus KAISER<sup>1\*</sup>, Ahmad ITANI<sup>1</sup>, Charlotte SENKPIEL<sup>1</sup>, Patrick JÜRGENS<sup>1</sup>,  
Christoph KOST<sup>1</sup>

## Inhalt

Das deutsche Klimaschutzgesetz sieht vor, die THG-Emissionen bis 2030 um 65% und bis 2045 um 100% zu reduzieren. Dabei ist die Industrie in Deutschland mit einem Anteil von 29% am Endenergieverbrauch [1] ein zentraler Sektor für die Dekarbonisierung des Energiesystems. Energiesystemmodelle schaffen Mengengerüste für mögliche Transformationspfade, die mit Zielen zur Emissionsminderung kompatibel sind. Viele Studien für die Transformation des Industriesektors haben eine sektorale Perspektive, die Wechselwirkungen mit dem übrigen Energiesystem unzureichend abbildet. Diese Arbeit behandelt die methodische Frage:

- 1) Wie können einzelne Industriebranchen in einem sektorgekoppelten Gesamtsystemmodell abgebildet werden?

Darüber hinaus ist insbesondere im Industriesektor unklar, welche Anteile direkt und welche indirekt elektrifiziert werden. [2] Gleichzeitig ist der Bedarf an Strom oder Wasserstoff und Derivaten in der Industrie wichtiger Einflussfaktor für die Transformation des Energiesektors. Diese Arbeit widmet sich der inhaltlichen Frage:

- 2) Wie gestaltet sich die Transformation der Branchen Stahl, Chemie und Zement abhängig von der Verfügbarkeit von importiertem grünem Wasserstoff und welche Bedeutung haben diese Branchen für den Ausbau von Erneuerbaren Energien und Elektrolyse in Deutschland?

Das Gesamtsystemmodell REMod [2] wird hier genutzt, um die Transformation des Industriesektors unter Berücksichtigung der intersektoralen Abhängigkeiten zu untersuchen. Dafür zeigen wir zunächst eine Modellerweiterung, mit der die Produktion der energieintensiven industriellen Grundstoffe Stahl, Methanol, Ammoniak, High-Value Chemicals und Zement explizit modelliert wird. Mit der Erweiterung analysieren wir die Transformation der drei Branchen Stahl, Chemie und Zement unter Variation der Verfügbarkeit von importiertem grünem Wasserstoff. Darüber hinaus wird die Bedeutung der drei Branchen hinsichtlich des Ausbaus von Erneuerbaren Energien und Elektrolyseuren quantifiziert.

## Methodik

In dieser Arbeit wird das Energiesystemmodell REMod genutzt, um sektorübergreifende Transformationspfade des deutschen Energiesystems bis zum Erreichen von Treibhausgas-Neutralität zu berechnen. REMod minimiert die Transformationskosten des Energiesystems unter den zwei Randbedingungen, dass 1) die gesetzten Ziele zur Emissionsminderung erreicht werden und 2) der Energiebedarf zu jeder Stunde gedeckt wird. REMod optimiert dabei gleichzeitig den Austausch der Technologien in den Verbrauchssektoren Gebäude, Verkehr und Industrie und den Umbau des Energiesektors mit verschiedenen Kraftwerken, Erneuerbaren, Energiewandlern und -speichern. Im Gegensatz zu anderen Energiesystemmodellen berücksichtigt REMod mit diesem Ansatz implizit intersektorale Wechselwirkungen und weist gleichzeitig einen hohen technologischen Detailgrad auf. [3] In einer Erweiterung des Modells, die wir hier präsentieren, wird der Industriesektor zweigeteilt abgebildet:

- 1) Für die fünf industriellen Grundstoffe Stahl, Methanol, Ammoniak, High-Value Chemicals und Zement sind verschiedene Produktionsrouten über die spezifischen

---

<sup>1</sup> Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Heidenhofstraße 2 79110 Freiburg, +49 761 4588 2330, markus.kaiser@ise.fraunhofer.de, [www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)

Energieverbräuche, Kosten, Lebensdauern und Branchen-spezifische synthetische Lastprofile abgebildet.

- 2) Der Rest des industriellen Energiebedarfs wird über einen Prozesswärmebedarf auf zwei Temperaturniveaus unter und über 480°C und einen Raumwärmebedarf für Industriegebäude abgebildet, der jeweils von verschiedenen Heiztechnologien gedeckt werden kann.

Um die Transformation einzelner Industriebranchen zu untersuchen, berechnen wir mehrere Referenz-Szenarien mit unterschiedlicher Verfügbarkeit von importiertem grünem Wasserstoff. Die Bedeutung einzelner Branchen für die Transformation des Energiesektors ergibt sich aus einem Vergleich der Referenz-Szenarien mit zusätzlichen Rechnungen, die ohne einzelne Branchen parametrisiert werden. Dabei passen wir die Ziele zur Emissionsminderung gemäß den Emissionen der ausgeschlossenen Branche im Referenzszenario an, um eine vergleichbare Transformation des restlichen Energiesystems zu erreichen. Aus dem Vergleich der Referenz-Szenarien mit und den Rechnungen ohne eine Branche kann die Rolle dieser Branche in der Transformation des Energiesektors quantifiziert werden.

## Ergebnisse

Abbildung 1 zeigt vorläufig die Endenergiezusammensetzung im Industriesektor für ein Szenario „Referenz“ mit 300 TWh Wasserstoffimport in 2045 und ein Szenario „Beschränkter Import“ mit 100 TWh Wasserstoffimport.

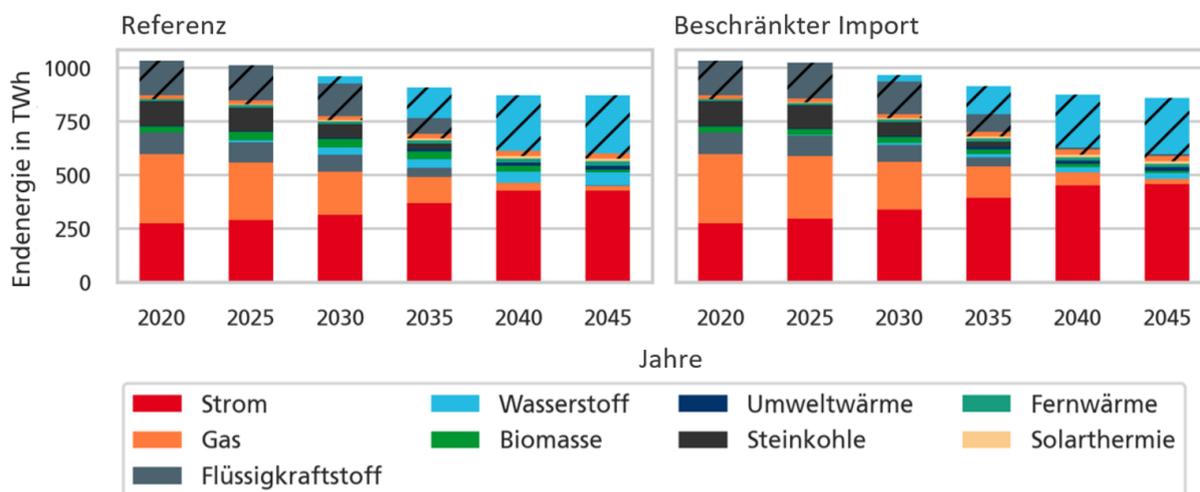


Abbildung 1: Endenergieverbrauch des Industriesektors in Deutschland in TWh im Szenario "Referenz" (links) und "Beschränkter Import" (rechts). Stoffliche Nutzung ist schraffiert dargestellt.

In Abbildung 1 ist zu sehen, dass der Strombedarf des Industriesektors um einen Faktor von 1.7 ansteigt. Die direkte Elektrifizierung der Prozesswärme spielt in beiden Temperaturniveaus eine wichtige Rolle. In der Produktion von Primärstahl und als Feedstock für die chemische Industrie gibt es keine Alternativen für Wasserstoff. Der Einsatz von Wasserstoff für Hochtemperaturprozesswärme dagegen hängt von der Verfügbarkeit von grünem Wasserstoff ab und variiert zwischen 26 und 60 TWh im Jahr 2045.

## Referenzen

- [1] Umwelt Bundesamt (2023), "Energieverbrauch nach Energieträgern und Sektoren", <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-nach-energietraegern-sektoren#entwicklung-des-endenergieverbrauchs-nach-sektoren-und-energietragern> (Aufgerufen 01. Dezember, 2023).
- [2] Falko Ueckerdt, Benjamin Pfluger, Adrian Odenweller, Claudia Günther, Michèle Knodt, Jörg Kemmerzell, Matthias Rehfeldt, Christian Bauer, Philipp Verpoort, Hans Christian Gils, Gunnar Luderer (2021), „Kurzdossier: Durchstarten trotz Unsicherheiten – Eckpunkte einer anpassungsfähigen Wasserstoffstrategie“, Ariadne.
- [3] Andreas Palzer (2016), „Sektorübergreifende Modellierung und Optimierung eines zukünftigen deutschen Energiesystems unter Berücksichtigung von Energieeffizienzmaßnahmen im Gebäudesektor“, Fraunhofer Verlag.