

WASSERSTOFFHOCHLAUF IN DEUTSCHLAND: EINE EINZELWIRTSCHAFTLICHE ANALYSE

Johannes KOCHEMS¹, Leonard WILLEKE¹(*),
Kristina NIENHAUS¹, Christoph SCHIMECZEK¹

Motivation

Dem Energieträger Wasserstoff wird eine Schlüsselrolle bei der Defossilisierung des deutschen Energiesystems zugesprochen. Allerdings bleibt der Wasserstoffhochlauf derzeit hinter den gesteckten Zielen zurück [1, S. 111–136]. Auf der Nachfrageseite gab es zuletzt einige Ankündigungen, geplante Projekte zur Umrüstung industrieller Prozesse auf Wasserstoff *nicht* anzugehen [2]. Auf der Angebotsseite wiederum stockt der Hochlauf von Elektrolyseuren. Viele Projekte befinden sich in einem frühen Planungsstadium vor der finalen Investitionsentscheidung [3] und die Realisierung ist mit Unwägbarkeiten verbunden. Um die Investitionsunsicherheiten der Nachfrageseite zu reduzieren, gibt es von einigen Akteuren die Forderung, neben grünem Wasserstoff auch blauen Wasserstoff aus der Dampfreformation von Erdgas mit anschließender CO₂-Abscheidung einzubinden [4]. In diesem Kontext stellen sich mehrere Fragen: In welchem Umfang wird in Wasserstofferzeugungsanlagen investiert und wie teilt sich dies auf grünen bzw. blauen Wasserstoff auf? Welchen Einfluss darauf haben regulatorische Rahmenbedingungen wie die Legaldefinition grünen Wasserstoffs oder Förderinstrumente für Wasserstoff? Wie wirken sich Charakteristika verschiedener Akteure auf deren Investitionen aus? Diese Fragen wurden im Forschungsprojekt NoRaLock-H₂ [5] untersucht und werden im vorliegenden Beitrag adressiert.

Methode

Für die Beantwortung der Fragen kommt das agentenbasierte Simulationsmodell AMIRIS zum Einsatz. Dieses wurde im Projekt um Investitionen in Wasserstofferzeugungsanlagen erweitert.

Investitionsentscheidung: Die Investoren können im Modell zwischen Investitionen in grünen oder blauen Wasserstoff wählen. Für die Investition haben sie ein definiertes Investitionsbudget zur Verfügung. Die Investoren bilden eine Erwartungshaltung hinsichtlich unsicherer Zukunftsgrößen wie dem Wasserstoff- oder Strompreis. Die eigentliche Investitionsentscheidung erfolgt anhand von Kapitalwerten, die aus den Prognosegrößen ermittelt werden. Der Umfang der Investition kann ferner durch vorgegebene Maximalanteile einer Technologie im Portfolio des Investors beschränkt werden. Alle Investoren treffen ihre Entscheidungen gleichzeitig in jährlichen Investitionsrunden. Die Gesamtkapazitäten werden gebündelt und an eine jährliche Dispatch-Simulation mit stündlicher Auflösung übergeben. Aus der Dispatch-Simulation werden realisierte Erlöse und Kosten zurückgegeben. Diese werden für eine Evaluation und eventuelle Stilllegung von früheren Investitionen durch die Investoren verwendet.

Regulatorische Rahmenbedingungen: Für grünen Wasserstoff werden die regulatorischen Vorgaben der 37. BImSchV [6] vorgegeben. Abgebildet werden drei Betriebsphasen: monatliche bzw. stündliche Äquivalenz sowie Netzstrombezug. Die Äquivalenzanforderung besteht darin, dass der Strombezug des Elektrolyseurs die Stromproduktion von erneuerbaren Erzeugungsanlagen, mit denen ein Power Purchase Agreement (PPA) geschlossen wurde, in einem Monat bzw. einer Stunde nicht überschreitet. Beim Netzstrombezug kann der Elektrolyseur Strom frei aus dem Netz beziehen. Ergänzend zum rechtlichen Status quo werden die Effekte für Variationen betrachtet: nur monatliche bzw. nur stündliche Äquivalenz sowie eine Variation des Schwellenwerts für den minimalen Erneuerbaren-Energien-Anteil beim Netzstrombezug. Ergänzend wird der Effekt von Förderungen auf Investitionen untersucht. Betrachtet werden Investitionszuschüsse, ähnlich wie bei den IPCEI-Vorhaben, sowie fixe Prämien, ähnlich wie bei der Europäischen Wasserstoffbank [7].

Akteure und Parametrierung: Für die Typisierung und Bedatung der Investoren werden eine vom Projektpartner ECOLOG durchgeführte Befragung, Interviews und ergänzende Recherchen herangezogen.

¹ Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Vernetzte Energiesysteme, Curiestr. 4, 70563 Stuttgart, +49 711 6862-8521, johannes.kochems@dlr.de

Ferner werden Energiesystemrahmendaten des Projektpartners Wuppertal-Institut sowie Wasserstoffimportpreise des Projektpartners IZES verwendet.

Ergebnisse

Erste Ergebnisse zeigen, dass Förderungen einen erheblichen Einfluss auf die getätigten Investitionsentscheidungen haben. In Abbildung 1 ist die Entwicklung der installierten Elektrolysekapazität für eine Situation mit und ohne eine Kapazitätsprämie dargestellt, die 40 % der initialen Investitionsausgaben beträgt. Im Fall ohne Förderungen sind Investitionen wegen einer angenommenen Kostendegression der Elektrolyse jedoch ab 2028 zu beobachten. Bei gleicher Parametrierung können sowohl produktionsabhängige Zahlungen als auch eine Kapazitätsprämie zu vergleichbaren Ergebnissen führen.

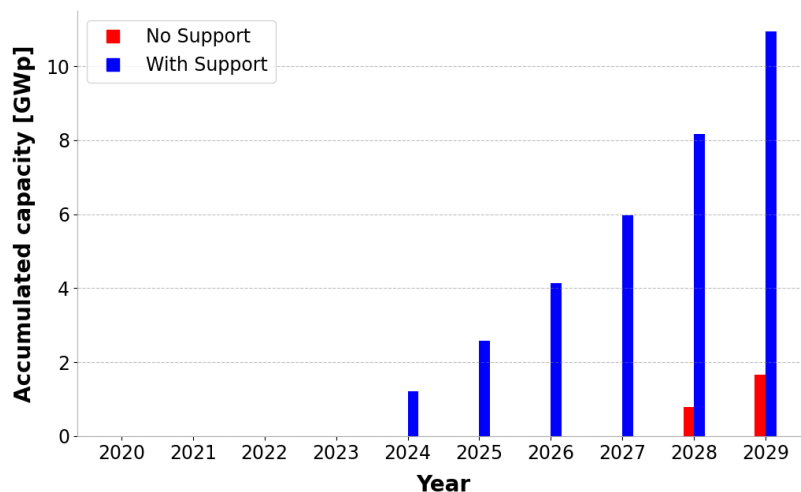


Abbildung 1: Entwicklung der Elektrolysekapazität mit und ohne Kapazitätsprämie

Auch die Legaldefinition von grünem Wasserstoff kann bei weniger restriktiver Ausgestaltung Investitionsentscheidungen lenken. Hier sind insbesondere die restriktive Anforderung stündlicher Äquivalenz sowie die Absenkung des Erneuerbaren-Energien-Anteils beim Netzstrombezug zu nennen. Darüber hinaus werden im Beitrag weitere Ergebnisse zur Entwicklung des Investorenspektrums dargestellt.

Das Modell reagiert sehr sensitiv auf unsichere Parameter wie z. B. das Investitionsbudget. In Folgeanalysen sollten weitere Szenarien analysiert werden, um die Robustheit der Ergebnisse zu überprüfen. Hier stellt insbesondere das Wasserstoffnachfrageniveau einen näher zu analysierenden Faktor dar. Anknüpfungspunkte ergeben sich auch in der Analyse weiterer Förderinstrumente, wie Differenzkontrakte, sowie der Verbindung mit einer agentenbasierten Simulation des Wasserstoffhandels.

Referenzen

- [1] EWI und BET, „Energie.Effizient.Machen. Monitoringbericht zu Start der 21. Legislaturperiode. Im Auftrag von: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE)“, 2025.
- [2] Tagesschau, „ArcelorMittal stoppt Pläne für ‚grüne‘ Stahlproduktion“, 7. Oktober 2024. Zugriffen: 20. November 2025.
- [3] W. P. Schill und F. Schmidt, „Open Energy Tracker. Deutschland. Wasserstoff, created by A. Roth & W.P. Schill (DIW)“, Zugriffen: 8. Oktober 2025. [Online]. Verfügbar unter: <https://openenergytracker.org/docs/germany/hydrogen/>.
- [4] „Klimaneutral werden - wettbewerbsfähig bleiben“. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 25. September 2025.
- [5] DLR, „Forschungsprojekt NoRaLock-H2“. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.dlr.de/de/ve/forschung-und-transfer/projekte/2023/projekt-noralock-h2>.
- [6] Verordnung zur Neufassung der Siebenunddreißigsten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung zur Anrechnung von strombasierten Kraftstoffen und mitverarbeiteten biogenen Ölen auf die Treibhausgasquote) (37. BImSchV).
- [7] Albuscheit, M. et al. Im Dickicht der Wasserstoffförderung: wie komplexe Instrumente den Markthochlauf prägen, in: Perspektiven der Wirtschaftspolitik, Vol. 26, Issue 3, pp. 344-367, 2025. <https://doi.org/10.1515/pwp-2025-0017>.

Danksagung

Dieser Beitrag ist im Rahmen des Projekts NoRaLock-H₂ gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (FKZ 03EI1054C) entstanden.