

AUSWIRKUNGEN UNTERSCHIEDLICHER ENTWICKLUNGEN DER WASSERSTOFF-ERZEUGUNG AUF DAS ENERGIESYSTEM

Christine KRÜGER¹

Hintergrund und Fragestellung

Der Aufbau der Wasserstoffwirtschaft steht in den Startlöchern. Das Ziel ist eine nachhaltige Versorgung mit grünem Wasserstoff; aktuell jedoch ist noch unklar, wann und wo in welche Art der Erzeugung von Wasserstoff investiert wird. Bestehende und neue Dampfreformierungsanlagen, Anlagen mit und ohne CO₂-Abscheidung und die Elektrolyse stehen in Konkurrenz zueinander und zu Wasserstoff-Importen aus dem europäischen und außer-europäischen Ausland. In Energiesystemmodellen wird üblicherweise ein kostenoptimaler Pfad für die Entwicklung der Wasserstofferzeugung bestimmt, der von perfekter Vorausschau und perfekten Märkten ausgeht. Doch in der Realität folgt die Entwicklung nicht unbedingt diesem kostenoptimalen Pfad; je nach Ausgestaltung der Rahmenbedingungen und Anreize werden andere Kapazitäten, zu anderen Zeiten, an anderen Orten und in andere Technologien investiert.

In dieser Arbeit wird untersucht, wie sich solche unterschiedlichen Pfade der Wasserstoff-Erzeugung auf das umgebende Energiesystem auswirken. Welche Veränderungen gibt es dadurch in der Stromerzeugung? Wie verändern sich die Importe von Strom und von Wasserstoff? Welche weiteren Verschiebungen ergeben sich? Und nicht zuletzt, welche Mehrkosten gegenüber einer kostenoptimalen Entwicklung gehen mit diesen Entwicklungspfaden einher? Diese Fragen werden im Kontext des Projekts NoRaLock-H₂ untersucht [1].

Methodischer Ansatz

Für die Untersuchung wird das kostenoptimierende Energiesystemmodell WESOM (früher als WISEE-ESM-I bezeichnet) verwendet [2]. Mit diesem Modell wird zunächst ein Referenzszenario berechnet. Dafür wird das europäische Energiesystem im Modell abgebildet; Europa ist dabei in zwanzig Regionen differenziert. Für diese Regionen wird jeweils die Nachfrage nach Wasserstoff, Strom und Fernwärme vorgegeben. Das Modell optimiert die Investitionen und den Einsatz von Anlagen zur Erzeugung, Konversion, Speicherung und Transport dieser Energieträger bis zum Jahr 2050 in 5-jährigen Zeitschritten. Abbildung 1 illustriert die Regionenaufteilung und zeigt die dem Modell vorgegebene Nachfrage nach Wasserstoff im Jahr 2045 in den Modellregionen.

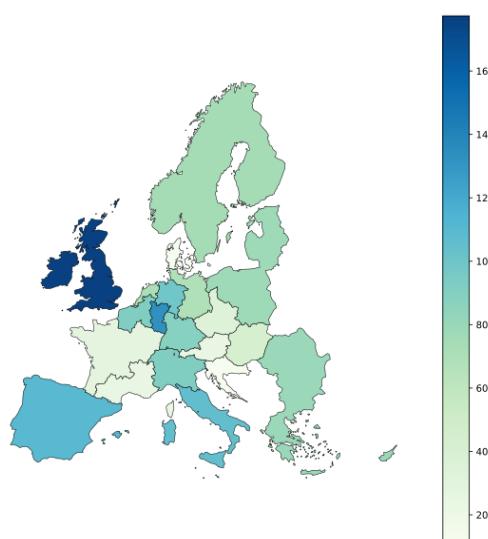


Abbildung 1: Wasserstoffnachfrage im Jahr 2045 in den Modellregionen in TWh/a

¹ Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH, Döppersberg 19, 42103 Wuppertal, Tel +49-202-2492-150, christine.krueger@wupperinst.org, www.wupperinst.org

Aufbauend auf dem Referenzszenario werden in Sensitivitäten Entwicklungspfade berechnet, um unterschiedliche Entwicklungen der Wasserstoff-Erzeugung abzubilden. Dafür werden Kapazitätsentwicklungen für die Elektrolyse und Dampfreformierung mit und ohne CO₂-Abscheidung und-Speicherung exogen vorgegeben, ohne dabei weitere Modellparameter anzupassen. Die Ergebnisse dieser Sensitivitäten werden mit denen des Referenz-Szenarios verglichen, um die Veränderungen im umgebenden Energiesystem, die durch die Änderungen der Wasserstoff-Erzeugungsstruktur resultieren, zu analysieren. Dabei wird untersucht, wie sich die Struktur der Wasserstoff-Erzeugung in Deutschland und in Europa ändert und welche Auswirkungen diese Änderungen auf andere Elemente des Energiesystems haben, wie beispielsweise auf die Stromerzeugung, auf die Flexibilitäten im Stromsystem oder auf die Energieimporte nach Deutschland und Europa. Da die exogene Vorgabe von Kapazitäten zu suboptimalen Lösungen der Kostenminimierung gegenüber dem Referenzszenario führt, lassen sich außerdem Mehrkosten für diese Entwicklungen ausweisen und analysieren.

Es werden zwei unterschiedliche Arten von Entwicklungspfaden betrachtet: Zunächst werden verschiedene, manuell konfigurierte Extrem-Entwicklungen (wie beispielsweise Erzeugung ausschließlich aus bestimmten Technologien oder in bestimmten Regionen) untersucht. Anschließend werden Entwicklungspfade, die aus der agentenbasierten Modellierung in AMIRIS resultieren (siehe eingereichter Beitrag „*Wasserstoffhochlauf in Deutschland: Eine einzelwirtschaftliche Analyse*“ von J. Kochems et al.), auf ihre Auswirkungen im europäischen Energiesystem in analysiert.

Ergebnisse

Die Sensitivitätenrechnungen sind aktuell noch nicht abgeschlossen. Erste Ergebnisse zeigen, dass Unterschiede in der Wasserstofferzeugung mit sichtbaren Verschiebungen im umgebenden Energiesystem einhergehen, beispielsweise in der Höhe der regenerativen Stromerzeugung oder in der Nutzung von Strom zu Wärmezwecken.

Ein erzwungener Zubau von Dampfreformierungsanlagen mit CO₂-Abscheidung und Speicherung führt nur temporär zu Veränderungen in der Wasserstoffproduktion; sobald im Jahr 2045 keine CO₂-Emissionen mehr zugelassen sind, wird die Investition in Elektrolyse nachgeholt. Weitere Sensitivitäten und Analysen sind derzeit in Erstellung.

Mit der Veränderung der Technologien und Kapazitäten zur Wasserstoff-Erzeugung ändern sich auch die Kosten der Wasserstofferzeugung. Gleichzeitig bleiben die systemweiten Mehrkosten in den bisherigen Sensitivitäten tendenziell gering im Verhältnis zu den Gesamt-Systemkosten. Die bisher angestellten Analysen deuten darauf hin, dass die Kostenoptima „flach“ sind, dass es also zahlreiche Optimierungslösungen gibt, die, im europäischen Gesamtsystem betrachtet, ähnlich günstig sind wie die optimale Lösung in der Referenzentwicklung. Praktisch ließe sich das so interpretieren, dass die Unterschiede in der Charakteristik der Stromerzeugung und in der Infrastruktur, die die Standort-Vor- und Nachteile für Wasserstofferzeugung darstellen, tendenziell gering sind und zu großen Teilen durch Anpassungen im umgebenden Energiesystem kompensiert werden können.

Referenzen

- [1] Verbundvorhaben: NoRaLock-H₂ - Notwendige Rahmenbedingungen zur Vermeidung von Lock-In-Effekten und zur Gewährleistung einer nachhaltigen grünen Wasserstoffversorgung, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, FKZ 03EI1054A, [EnArgus](#)
- [2] M. Saurat, L. Doré, T. Janßen, S. Kiefer, C. Krüger, and A. Nebel, ‘Beschreibung des Energieversorgungsmodells WISEE-ESM-I. MENA-Fuels: Teilbericht 4 des Wuppertal Instituts an das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)’, Wuppertal, Stuttgart, Köln, Saarbrücken, Nov. 2022