

Realisierbarkeit einer Wasserstoffautarkie in Europa unter erhöhten Wasserstoffbedarfen im Jahr 2050

(2) Energieerzeugung/-infrastruktur und Netze

Philipp DUNKEL¹⁽¹⁾, Theresa GROSS⁽¹⁾, Jochen LINSSEN⁽¹⁾, Detlef STOLTEN^(1,2)

⁽¹⁾ Institute of Energy and Climate Research, Techno-Economic Systems Analysis (IEK-3),
Forschungszentrum Jülich GmbH, Wilhelm-Johnen-Str., 52428 Jülich, Germany,

⁽²⁾ Chair of Fuel Cells, RWTH Aachen University, c/o Institute of Energy and Climate Research, Techno-Economic Systems Analysis (IEK-3) Forschungszentrum Jülich GmbH, Wilhelm-Johnen-Str., 52428 Jülich, Germany

Motivation und zentrale Fragestellung

Der 2022 von Russland begonnene Angriffskrieg auf die Ukraine und die daraus resultierenden Folgen für die europäische Energieversorgung haben deutlich gemacht, wie stark die Abhängigkeit von einzelnen Akteuren die Sicherheit der Energieversorgung Europas gefährden kann. Eine Möglichkeit für Europa seine Versorgungssicherheit zu erhöhen, ist der Aufbau einer autarken Energieversorgung. Daher beschäftigt sich dieser Beitrag mit der Fragestellung, ob eine autarke Energieversorgung für Europa im Jahre 2050 möglich ist, wenn neben der Stromerzeugung auch große Teile der Industrie und des Transportsektors mit Hilfe von innereuropäisch-erzeugtem Wasserstoff dekarbonisiert werden.

Methodische Vorgangsweise

In Anlehnung an bereits existierende Studien zur Realisierbarkeit einer Autarkie im Europäischen Stromsystem, wird in diesem Beitrag die Machbarkeit einer Wasserstoffautarkie auf europäischer, nationaler und regionaler (NUTS1) Ebene geprüft [1]–[4]. Hierzu wird das Open-Source Optimierungs-Framework FINE [5] der Modell-Suite ETHOS genutzt, welche am Institut für techno-ökonomische Systemanalyse (IEK-3) entwickelt wird. Auf dessen Basis wird ein zeitlich (stündlich) und räumlich (163 Knoten) aufgelöstes 100% erneuerbares europäisches Energiesystemmodell erstellt. Das Modell findet anschließend mittels Optimierung die Konfiguration mit den minimalen jährlichen Gesamtkosten. Neben Potentialen für erneuerbare Energien basierend auf [6], [7] werden Umwandlungs-, Speicher- und Transporttechnologien für Strom und Wasserstoff berücksichtigt. Strom- und Wasserstoffbedarfe werden dem Modell exogen vorgegeben. Zukünftige Wasserstoffbedarfsszenarien für die Industrie und den Verkehrssektor für das Jahr 2050 wurden dafür im Vorfeld bestimmt [8]. Für die Industrie wurde eine vollständige Dekarbonisierung der betrachteten Industriezweige über Wasserstoffpfade und für den Verkehrssektor eine vollständige Dekarbonisierung durch Wasserstoff, PtL und batterieelektrische Antriebe angenommen.

In verschiedenen Szenarien wird anschließend mit dem Modell ermittelt, auf welchen regionalen Skalen und unter welchen Bedingungen eine Wasserstoffautarkie möglich wäre und jeweilige Engstellen identifiziert. Im Szenario mit unterstellter nationaler Autarkie wird kein Energietransport über Landesgrenzen hinweg erlaubt. Neben der Realisierbarkeit werden die Anforderungen an Kapazitäten für Speicher, erneuerbare Energien und Transportinfrastruktur analysiert.

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, dass in Europa selbst bei, verglichen mit der Literatur, hohen Wasserstoffbedarfen ausreichend Potentiale an erneuerbaren Energien vorhanden sind, um eine Wasserstoffautarkie zu erreichen. Eine vollständige Autarkie kann allerdings nur auf europäischer Ebene erreicht werden. Die Ergebnisse der Analyse sind in Abbildung 1 dargestellt.

Auf europäischer Ebene werden, ähnlich zu vorangegangenen Analysen [9], [10], primär Windenergiepotentiale in windreichen Regionen in Nord- und Mitteleuropa und PV Potentiale in sonnenreichen Regionen in Südeuropa realisiert, mittels Elektrolyse in Wasserstoff umgewandelt und über Pipeline in Wasserstoffbedarfsregionen transportiert. Zur Deckung des Gesamtbedarfs sind etwa 2100 GW Wind- und 2200 GW PV-Kapazität in Europa notwendig.

Während in der Literatur autarke europäische Stromsysteme auch auf regionaler Ebene als möglich befunden werden, zeigt diese Analyse, dass im Falle von zusätzlichen Wasserstoffbedarfen eine Autarkie schon auf nationaler Ebene nicht für alle Regionen erreichbar ist [1], [3], [4]. Für einige Länder ist auf nationaler Ebene eine Autarkie nur bei Erschließung von Offshore-Windpotentialen und

¹ Jungautor, Wilhelm-Johnen-Str., 52428 Jülich, Tel.: +491707467413, Mail: p.dunkel@fz-juelich.de, Web: <http://www.fz-juelich.de/iek/iek-3>

dem Aufbau einer inländischen Wasserstoffinfrastruktur oder dem Ausbau des Stromnetzes realisierbar. Dies gilt insbesondere für Regionen mit hohem Wasserstoffbedarf und niedrigen erneuerbaren Potentialen (z.B. Deutschland, Belgien, Niederlande). Auf regionaler Ebene (NUTS1) ist noch für 72 Prozent aller betrachteten Regionen eine Wasserstoffautarkie möglich.

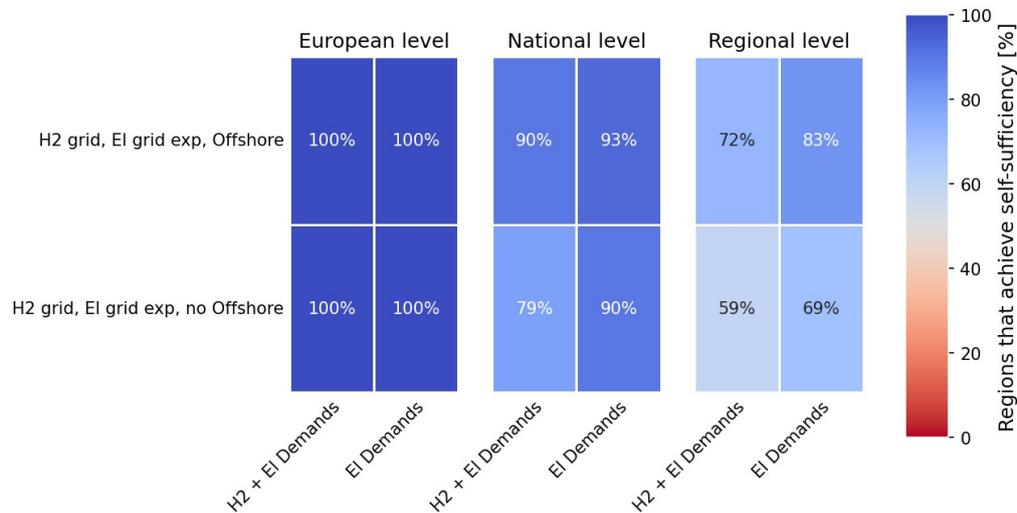


Abbildung 1: Prozentsatz an Regionen bei denen eine Wasserstoffautarkie erreicht werden kann. H2 grid: Berücksichtigung eines Wasserstoffpipelinennetzes. El grid exp: Berücksichtigung eines Stromnetzausbaus. Offshore: Berücksichtigung von Offshore Potentialen. H2 Demands: Berücksichtigung von Wasserstoffbedarfen. El Demands: Berücksichtigung von Strombedarfen

Literatur

- [1] F. Neumann, "Costs of regional equity and autarky in a renewable European power system," *Energy Strategy Rev.*, vol. 35, p. 100652, May 2021, doi: 10.1016/j.esr.2021.100652.
- [2] J. M. Weinand, S. Ried, M. Kleinebrahm, R. McKenna, and W. Fichtner, "Identification of Potential Off-Grid Municipalities with 100% Renewable Energy Supply for Future Design of Power Grids," *IEEE Trans. Power Syst.*, pp. 1–1, 2020, doi: 10.1109/TPWRS.2020.3033747.
- [3] T. Tröndle, S. Pfenninger, and J. Lilliestam, "Home-made or imported: On the possibility for renewable electricity autarky on all scales in Europe," *Energy Strategy Rev.*, vol. 26, p. 100388, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.esr.2019.100388.
- [4] T. Tröndle, J. Lilliestam, S. Marelli, and S. Pfenninger, "Trade-Offs between Geographic Scale, Cost, and Infrastructure Requirements for Fully Renewable Electricity in Europe," *Joule*, vol. 4, no. 9, pp. 1929–1948, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.joule.2020.07.018.
- [5] L. Welder, D. S. Ryberg, L. Kotzur, T. Grube, M. Robinius, and D. Stolten, "Spatio-temporal optimization of a future energy system for power-to-hydrogen applications in Germany," *Energy*, vol. 158, pp. 1130–1149, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.05.059.
- [6] D. G. Caglayan, D. S. Ryberg, H. Heinrichs, J. Linßen, D. Stolten, and M. Robinius, "The techno-economic potential of offshore wind energy with optimized future turbine designs in Europe," *Appl. Energy*, vol. 255, p. 113794, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.113794.
- [7] D. S. Ryberg, D. G. Caglayan, S. Schmitt, J. Linßen, D. Stolten, and M. Robinius, "The future of European onshore wind energy potential: Detailed distribution and simulation of advanced turbine designs," *Energy*, vol. 182, pp. 1222–1238, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.06.052.
- [8] T. Groß, P. Dunkel, D. Franzmann, H. Heinrichs, J. Linßen, and D. Stolten, "Report on H2 supply from Renewable Energy Sources, H2 demand centers and H2 transport infrastructure." H2020 HyUSPRE project report, 2022.
- [9] F. Neumann, E. Zeyen, M. Victoria, and T. Brown, "Benefits of a Hydrogen Network in Europe." arXiv, Jul. 12, 2022. doi: 10.48550/arXiv.2207.05816.
- [10] D. G. Caglayan, H. U. Heinrichs, M. Robinius, and D. Stolten, "Robust design of a future 100% renewable european energy supply system with hydrogen infrastructure," *Int. J. Hydrog. Energy*, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.ijhydene.2020.12.197.