

# DEFOSSILISIERUNG DER PROZESSINDUSTRIE IN DEUTSCHLAND – WELCHE ENERGIEBEDARFE SIND ZU ERWARTEN?

Hendrik SCHARF

## Überblick

Klimaneutral erzeugter Wasserstoff gilt als vielversprechende Lösung für die Defossilisierung der Prozessindustrie [1]. Daneben ist für viele Anwendungsbereiche jedoch auch die direkte Elektrifizierung eine aussichtsreiche Alternative zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen [2,3]. Die Frage, ob eine Defossilisierung auf Basis von klimaneutral erzeugtem Wasserstoff oder Strom die vorteilhaftere Option zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen ist, kann insbesondere bei der Bereitstellung von Hochtemperaturwärme nicht pauschal beantwortet werden [4]. Der Vortrag auf dem 18. Energiesymposiums Energieinnovation stellt einen Bottom-up-Ansatz vor, mit welchem auf der Basis von techno-ökonomischen Parametern für eine Vielzahl von Szenarien, die durch variierende Wasserstoffpreise verschiedenste Wasserstoff-zu-Strompreis-Verhältnisse abbilden, künftige Bedarfe an Wasserstoff und Elektrizität der Prozessindustrie in Deutschland unter dem Aspekt der Kosteneffizienz ermittelt werden.

## Methodik

Zunächst wird mittels Abschneidekriterien eine Auswahl relevanter Industriezweige getroffen und deren zugrunde liegenden konventionellen sowie die technisch umsetzbaren emissionsarmen Referenzproduktionssysteme ermittelt und definiert. Anschließend werden, lineare Kostenfunktionen unterstellend, für jedes konventionelle Produktionssystem die Kosten zur Vermeidung des Ausstoßes von Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) für die auf das jeweilige Produktionssystem anwendbaren emissionsarmen Fertigungsverfahren bestimmt. Die Analyse umfasst 25 konventionelle und in Summe 68 emissionsarme Produktionssysteme. Nachdem für jedes konventionelle Produktionssystem die kostengünstigste CO<sub>2</sub>-Vermeidungsoption identifiziert worden ist, werden auf Basis der spezifischen Energiebedarfe und Annahmen zu künftigen Produktionsmengen künftige Wasserstoff- und Elektrizitätsbedarfe je Szenario bestimmt.

## Ergebnisse

Mit dem Ansatz ergeben sich für das Jahr 2045, d.h. bei Erreichen einer klimaneutralen Fertigung, je nach angenommenem Wasserstoffpreis bei ansonsten gleichbleibenden Kostenannahmen, Wasserstoffbedarfe zwischen 253 TWh für sehr hohe und 554 TWh für sehr niedrige Wasserstoffpreise. Bei sehr hohen Wasserstoffpreisen wird Wasserstoff, mangels direktelektrischer Alternativen, ausschließlich als Reaktions- oder Reduktionsmittel eingesetzt. Zusätzlich ergibt sich bei sehr hohen Wasserstoffpreisen aufgrund der Bevorzugung direktelektrischer Fertigungsverfahren ein Strombedarf von bis zu 371 TWh. Umgekehrt liegt der Strombedarf im Falle sehr niedriger Wasserstoffpreise bei 105 TWh, d.h. dass es, selbst wenn bei sehr niedrigen Wasserstoffpreisen nur die Produktionssysteme direkt elektrifiziert werden, für die keine wasserstoffbasierte CO<sub>2</sub>-emissionsarme Lösung verfügbar ist, noch zu einer deutlichen Steigerung des Bedarfs an Elektroenergie gegenüber dem hypothetischen Fall, dass auch im Jahr 2045 ausschließlich konventionelle Verfahren eingesetzt werden, kommt. Dieser Anstieg ist vor allem auf den vermehrten Einsatz von Elektrizität in Elektrolichtbogenöfen zur Stahlerzeugung sowie in Luftzerlegungsanlagen zur Bereitstellung von Kohlendioxid für die Synthese von Methanol als Ausgangsstoff für die Herstellung hochveredelter Chemikalien zurückzuführen. Die Break-Even-Wasserstoffpreise, d.h. die Preise, bei denen sich die Kostenfunktionen verschiedener CO<sub>2</sub>-emissionsarmer Alternativen für ein konventionelles Produktionssystem schneiden, liegen zwischen 18 €<sub>2020</sub> pro MWh und 139 €<sub>2020</sub> pro MWh und damit unter den Gestehungskosten von Wasserstoff, wenn dieser vor Ort via Elektrolyse mit Kosten für Elektrizität zum angenommenen Industriestrompreis hergestellt würde.

---

<sup>1</sup> Technische Universität Dresden, Professur für Energiewirtschaft, 01062 Dresden, Deutschland  
Telefon: + 49 351 463 39008, Fax: + 49 351 463 39763, E-Mail: hendrik.scharf@tu-dresden.de  
ee2.biz

## Zusammenfassung und Fazit

Mittels einer Bottom-Up-Analyse wurden für veränderliche Wasserstoffpreise bei ansonsten gleichbleibenden Preisen für Elektrizität und sonstige Eingangs- und Nebenprodukte die jeweiligen kosteneffizienten CO<sub>2</sub>-Vermeidungsoptionen energieintensiver Industrien in Deutschland unter Annahme einer vollständigen Defossilisierung bestimmt und resultierende absolute Elektrizitäts- und Wasserstoffmengen abgeleitet. Die ermittelten Break-Even-Wasserstoffpreise sind sehr industriespezifisch und weisen eine hohe Bandbreite auf. Von der Größenordnung her liegen sie im Bereich indikativer Bereitstellungskosten für Wasserstoff, der durch Dampfreformierung von Erdgas in Kombination mit CO<sub>2</sub>-Abscheidung und -Speicherung hergestellt wird, sowie für elektrolytisch erzeugten Wasserstoff bei Nutzung von Offshore-Windenergie, jedoch unter den Gestehungskosten von mittels einer Elektrolyse am Standort mit Stromkosten zum Industriestrompreis produziertem Wasserstoff. Ein hoher Anteil des ermittelten Wasserstoffeinsatzes resultiert aus dessen Bedarf als Reaktions- oder Reduktionsmittel und ist somit bei exogen vorgegebenen Fertigungsmengen der jeweiligen Branchen unvermeidbar. Künftige Arbeiten könnten hier anknüpfen und die industriellen Fertigungsmengen auf Basis einer energiepreisabhängigen Elastizität endogen im Modell abbilden. Weitere Anknüpfungspunkte betreffen die Einbeziehung einer potentiellen Nutzbarmachung der zu erwartenden großen Mengen an Sauerstoff, welche bei einer Hochskalierung der Elektrolyse-Technologie als Nebenprodukt anfallen würden [5], und die Endogenisierung der für diesen Konferenzbeitrag statisch vorgegebenen Energiepreisannahmen.

## Referenzen

- [1] J. Kopp, M. Moritz, H. Scharf, and J. Schmidt, 'Strukturwandel in der Gaswirtschaft – Was bedeutet die Entwicklung der Gas- und Wasserstoffnachfrage für die zukünftige Infrastruktur?: Eine Metaanalyse bestehender Energiesystemstudien', *Z Energiewirtschaft*, Dec. 2022, doi: 10.1007/s12398-022-00335-2.
- [2] H. Scharf, F. Arnold, and D. Lencz, 'Future natural gas consumption in the context of decarbonization - A meta-analysis of scenarios modeling the German energy system', *Energy Strategy Reviews*, vol. 33, p. 100591, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.esr.2020.100591.
- [3] P. Sorknæs, R. M. Johannsen, A. D. Korberg, T. B. Nielsen, U. R. Petersen, and B. V. Mathiesen, 'Electrification of the industrial sector in 100% renewable energy scenarios', *Energy*, vol. 254, p. 124339, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.energy.2022.124339.
- [4] F. Ueckerdt, C. Bauer, A. Dimaichner, J. Everall, R. Sacchi, and G. Luderer, 'Potential and risks of hydrogen-based e-fuels in climate change mitigation', *Nat. Clim. Chang.*, vol. 11, no. 5, pp. 384–393, May 2021, doi: 10.1038/s41558-021-01032-7.
- [5] H. Scharf, O. Sauerbrey, and D. Möst, 'Defossilisation of the industrial sector - A techno-economic bottom-up approach to determining CO<sub>2</sub> abatement costs', in *2022 18th International Conference on the European Energy Market (EEM)*, Ljubljana, Slovenia: IEEE, Sep. 2022, pp. 1–12. doi: 10.1109/EEM54602.2022.9921043.