

Jannes Katner, Hannes Bluhm

Umweltauswirkungen von Power-to-Gas- und Power- to-Liquid-Technologien

Lebenszyklusanalyse ausgewählter Prozesse für eine Produktion in
Deutschland und Nordafrika

Kurzfassung und Handlungsempfehlungen



i | ö | w

INSTITUT FÜR
ÖKOLOGISCHE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG

Impressum

Herausgeber:
Institut für ökologische
Wirtschaftsforschung GmbH, gemeinnützig
Potsdamer Straße 105
D-10785 Berlin
Tel. +49 – 30 – 884 594-0
Fax +49 – 30 – 882 54 39
E-Mail: mailbox@ioew.de
www.ioew.de

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das Diskussionspapier ist ein Ergebnis des Verbundvorhabens „PROPOWER: Systemanalyse Power2Products – Ökonomische und sozial-ökologische Auswirkungen einer sektorübergreifenden Nutzung von Strom“. Das Projekt wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) unter dem Förderkennzeichen 03ET4052B gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin und dem Autor.

Eine Langfassung dieser Studie ist als Diskussionspapier des IÖW 74/22 erschienen. Download: www.ioew.de

Partner in dem Projekt war das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT



Umweltauswirkungen von Power-to-Gas- und Power-to-Liquid-Technologien

Zusammenfassung und Handlungsempfehlungen

Power-to-Gas- und Power-to-Liquid-Technologien kommt bei der Transformation des Energiesystems als Sektorenkoppler eine zentrale Rolle zu. Gleichzeitig handelt es sich bei den Verfahren um energieintensive Prozesse, sodass sich die Frage stellt, ob sich mit ihnen die politisch intendierten Umweltentlastungen gemäß Nationaler Wasserstoffstrategie (BMWi 2020) realisieren lassen und unter welchen Umständen auch zusätzliche Belastungen entstehen können. Da Power-to-X-Prozesse (PtX) mittlerweile eine wichtige Säule in den energie- und klimapolitischen Strategien übernehmen, ist eine ganzheitliche Umweltanalyse geboten.

Das Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) (siehe Katner und Bluhm 2022) hat vier PtX-Technologien zur strombasierten Herstellung von gasförmigen und flüssigen Energieträgern mithilfe der Ökobilanzierung näher untersucht: die Protonen-Austausch-Membran-Elektrolyse zur Produktion von Wasserstoff und die chemische Methanisierung zur Herstellung von synthetischem Methan als Power-to-Gas (PtG) Verfahren sowie die Fischer-Tropsch-Synthese zur Produktion von synthetischen Kraftstoffen und das vergleichsweise junge Verfahren der direkten Ammoniaksynthese zur Herstellung von Ammoniak als Power-to-Liquid (PtL) Verfahren.

Ziel war es, die Umweltlasten der Verfahren und Produkte im Vergleich zu ihren marktüblichen Referenzen zu bestimmen und die Bedingungen für einen ökologisch vorteilhaften Betrieb für das Jahr 2030 zu ermitteln. Hierbei wurde der Produktionsprozess von der Stromerzeugung über den Anlagenbau- und betrieb bis zur Bereitstellung der Edukte Kohlenstoffdioxid und Stickstoff sowie die notwendigen Transporte berücksichtigt. Als Stromquellen wurden folgende Anlagentypen und Varianten analysiert: Onshore-Wind- und Offshore-Windanlagen, eine Kombination aus Onshore-Wind- und Photovoltaikanlagen (PV), der durchschnittliche Strommix 2030 für Deutschland sowie ein Pfad mit einer Kombination aus Onshore-Wind und PV für Nordafrika. Die Untersuchung umfasste ebenfalls verschiedene CO₂-Bereitsellungsverfahren: die Rauchgasabscheidung aus biogenen oder fossilen Quellen und die direkte Abscheidung aus der Luft (Direct-Air-Capture, DAC). Als Umweltwirkungen standen Treibhausgaspotenzial, Verbrauch mineralischer und fossiler Ressourcen, Landnutzung und Wasserverbrauch im Fokus.

Zentrale Ergebnisse

Die gegenüberstellende Abbildung zeigt die Treibhausgasemissionen pro Verfahren mit Onshore-Windanlagen als Stromquelle sowie für den anvisierten, durchschnittlichen deutschen Strommix gemäß Netzentwicklungsplan 2030. Für den Vergleich ist außerdem das Treibhauspotenzial der marktüblichen Produktreferenz dargestellt. Das benötigte Kohlenstoffdioxid für die Methanisierung und die Fischer-Tropsch-Synthese wird in den dargestellten Pfaden über die Abscheidung aus der Luft mittels DAC-Verfahren bereitgestellt. Die Freisetzung des Kohlenstoffdioxid bei der Nutzung ist gleichermaßen für die PtX-Prozesse und die Referenz berücksichtigt.

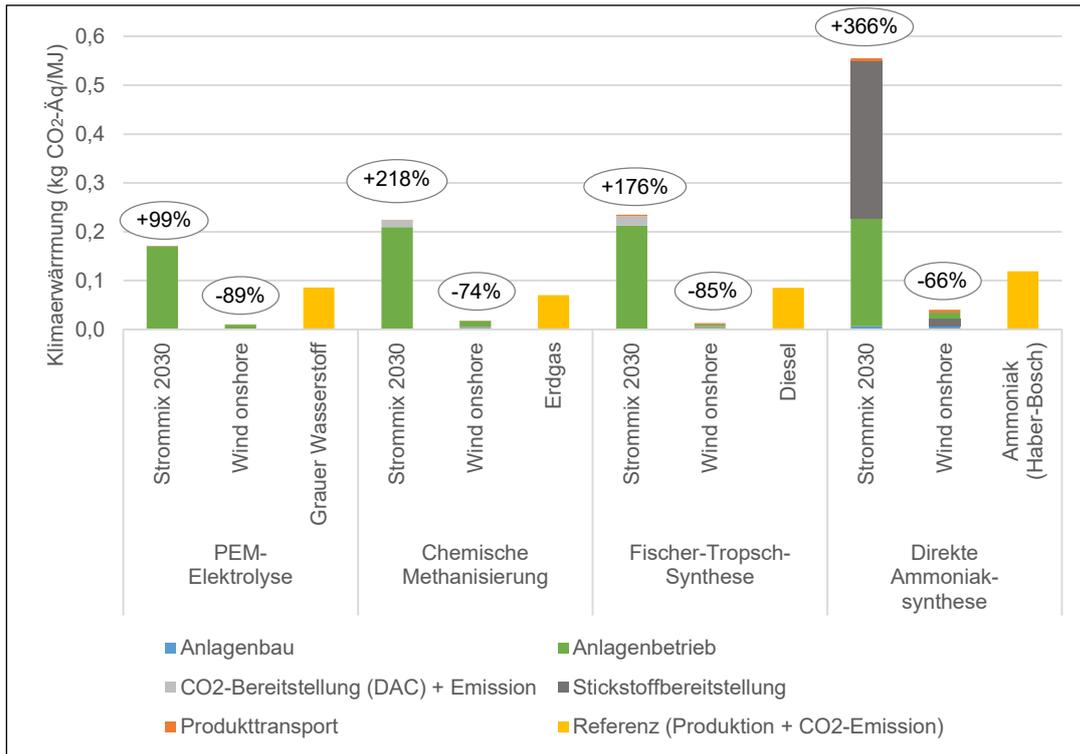


Abbildung 1: Treibhausgaspotenzial der vier betrachteten Power-to-X-Verfahren im Vergleich zur Referenz bei Produktion in Deutschland in 2030

Quelle: eigene Darstellung

Die ökologische Bewertung macht deutlich, dass mit den vier PtX-Verfahren und Windkraft als Stromquelle Umweltvorteile gegenüber der betrachteten Referenz von 66 bis zu 89 Prozent erzielt werden können. Mit dem durchschnittlichen Strommix hingegen ergeben sich Netto-Belastungen von 99 bis zu 366 Prozent. Alternative Strombereitstellungsszenarien mit Offshore-Windanlagen zeigen, dass die Emissionsreduktion im Verhältnis zur Referenz weiter erhöht werden kann (77 bis 94 Prozent Reduktion bei DAC). Mit dem nordafrikanischen Mix aus Wind- und PV-Strom sind Entlastungen von 39 bis 82 Prozent zu erwarten.

Der **Anlagenbetrieb** verursacht in den meisten Szenarien mit 90 Prozent oder mehr den größten Anteil an den Treibhausgasemissionen und den übrigen Umweltwirkungen. Die Stromerzeugung ist hierbei der maßgebliche Verursacher. Die Umweltwirkungen lassen sich mit einer hohen Auslastung von erneuerbaren Energieanlagen (EE) weiter reduzieren. Mit einem Mix aus Wind- und PV-Strom kann eine höhere PtX-Anlagenauslastung erreicht werden, was vor allem betriebswirtschaftliche Vorteile bietet. Denn gleichzeitig zieht ein solcher Mix tendenziell höhere Umweltwirkungen nach sich, als reine Windstrom-Szenarien. Signifikante Umweltvorteile im Vergleich zu den fossilen Referenzprodukten sind mit erneuerbaren Stromquellen und mit einer CO₂-Bereitstellung aus der Luft aber in jedem Fall gegeben.

Alternative Szenarien für die **CO₂-Bereitstellung** zu den Verfahren der chemischen Methanisierung und der Fischer-Tropsch-Synthese machen deutlich, dass sich die Kohlenstoffquelle entscheidend auf die Treibhausgasbilanz auswirkt. In der Regel können nur biogene Quellen und die Abscheidung von Kohlenstoffdioxid aus der Luft Netto-Emissionsreduktionen generieren. Bei der Verwendung von fossilen Quellen entstehen in der Regel keine oder nur geringe Umweltvorteile (maximal 16 Prozent) und mitunter zusätzliche Belastungen.

Der **Bau der Anlagen** hat einen geringen Einfluss auf die Ökobilanz der PtG- und PtL-Produkte. Lediglich beim mineralischen Ressourcenverbrauch ist eine signifikante Auswirkung zu erkennen, die in den Fällen der PEM-Elektrolyse und der direkten Ammoniaksynthese sogar die des Betriebs übertrifft. Für eine ganzheitlichere Stärkung der Nachhaltigkeitspotenziale empfiehlt es sich, den Bau mit in den Blick der Weiterentwicklung zu nehmen und z. B. Baumaterialien mit einer möglichst hohen Recyclingquote zu verwenden und auch bei deren Produktion auf erneuerbare Energiequellen zu setzen.

Bei einer PtX-Produktion in Deutschland verursachen die **Produkttransporte** nur geringe Treibhausgasemissionen. Bei einer Produktion in Nordafrika wird der Vorteil der höheren EE-Anlagenauslastung, die dort erzielbar ist, in Teilen durch die Umweltwirkungen der transeuropäischen Transporte kompensiert. Um den ökologischen Rucksack von potenziellen Importen zu verringern, sollte der Einsatz von erneuerbaren Energieträgern in der gesamten Prozesskette inklusive der Transporte gestärkt bzw. zur Voraussetzung gemacht werden.

Mit der Skalierung der einzelnen Verfahren auf größere Anlagen kann – analog zu einer betriebswirtschaftlichen Betrachtung – auch eine Verbesserung der Ökobilanz pro Produkteinheit erwartet werden. Allerdings sind die sich daraus ergebenden Spannungsfelder in den Blick zu nehmen: größere Anlagen sowie eine hohe Anzahl an Anlagen und die dafür notwendigen Vorketten (Strom-, Wasser-, CO₂-, Stickstoffbereitstellung, Anlagenbau und Transporte) vervielfachen auch deren Umweltwirkungen und können lokal zu starken Belastungen führen (z. B. Wasserverfügbarkeit und Landnutzung). Es ist daher ein aktives Management für diese Nebenprozesse erforderlich, das in Bezug zu den Belangen der Energiewende gesetzt werden muss. Weitere ökologische Optimierungspotenziale können durch integrierte Konzepte erzielt werden, bei denen der Anlagenbetrieb mit anderen Versorgungsaufgaben (z. B. Wärmeversorgung, Abfallbehandlung, Wasserversorgung, Sauerstoffnutzung) kombiniert wird und somit Umweltlasten auf ein größeres Produktportfolio verteilt werden.

Fazit und Handlungsempfehlungen

Der übergreifende Blick auf die Verfahren macht drei **Bedingungen für einen ökologisch vorteilhaften Betrieb** der PtX-Anlagen deutlich:

- **Stromquelle:** der Einsatz erneuerbaren Stroms ist die wichtigste Voraussetzung damit Emissionsreduktionen im Vergleich zum fossilen Vergleichsprodukt umgesetzt werden können. Für einen Rollout der Technologien bedeutet das, dass ein weiterer massiver Ausbau der EE-Kapazitäten in Deutschland notwendig ist. Hierfür müssen die politisch-rechtlichen Rahmenbedingungen geschaffen werden und gleichzeitig sichergestellt werden, dass der Ausbau sozialverträglich erfolgt.
- **CO₂-Quelle:** Da die Verwendung von nicht klimaneutralen Abgasen aus Industrieprozessen als Kohlenstoffquelle für PtX-Verfahren vielfach Netto-Belastungen verursacht, ist für den Einsatz dieser CO₂-Quellen eine Klärung hinsichtlich Konformität mit den Klimazielen und Austauschbarkeit des Industrieprozesses erforderlich: Wird bei großflächiger Nutzung der CO₂-Quelle das verbleibende Emissionsbudget unverhältnismäßig belastet oder ist das Erreichen der Sektorziele gemäß Klimaschutzgesetz gefährdet? Wird durch die Nutzung der CO₂-Quelle der Einsatz alternativer, klimaneutraler Verfahren in der industriellen Prozessroute behindert?

- **Technologiefokus:** Die Technologien weisen im Vergleich zu bereits etablierten PtX-Verfahren (z. B. Wärmepumpen, Elektromobilität) geringe Gesamtwirkungsgrade auf, was bei gleicher Anwendung einen höheren Bedarf an erneuerbaren Kapazitäten bedeutet. Bei der Fischer-Tropsch-Synthese und der chemischen Methanisierung als Folgeverfahren zur Elektrolyse ist die Situation verschärft. Daher erscheint der Einsatz von PtG- und PtL-Anlagen nur dann sinnvoll, wenn für die anvisierte Anwendung keine ökologisch vorteilhaftere Technologiealternative vorhanden ist.

Die Einführung von PtG- und PtL-Verfahren sind wegweisende Entscheidungen für die zukünftige Entwicklung der Energieinfrastrukturen. Die dargestellten Ergebnisse und Schlussfolgerungen sollen daher Orientierung für Akteure v. a. in Politik und Wirtschaft geben, um gemäß dem Zieldreieck der Energiepolitik auch die ökologische Dimension qualifiziert in der Entscheidungsfindung zu berücksichtigen.

Quellenverzeichnis

- BMWi [Bundesministerium für Wirtschaft und Energie] (2020): Die Nationale Wasserstoffstrategie. Berlin: BMWi.
<https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.html> (Zugriff: 26. Januar 2022).
- Katner, Jannes und Hannes Bluhm (2022): Umweltauswirkungen von Power-to-Gas und Power-to-Liquid-Technologien – Lebenszyklusanalyse ausgewählter Prozesse für eine Produktion in Deutschland und Nordafrika. Diskussionspapier des IÖW 74/22. Berlin.

GESCHÄFTSSTELLE BERLIN

MAIN OFFICE

Potsdamer Straße 105

10785 Berlin

Telefon: + 49 – 30 – 884 594-0

Fax: + 49 – 30 – 882 54 39

BÜRO HEIDELBERG

HEIDELBERG OFFICE

Bergstraße 7

69120 Heidelberg

Telefon: + 49 – 6221 – 649 16-0

mailbox@ioew.de

www.ioew.de