

# DER MARKTHOCHLAUF VON POWER-TO-X IN EINEM TREIBHAUSGASNEUTRALEN DEUTSCHEN ENERGIESYSTEM

Gian MÜLLER<sup>1</sup> (\*), Felix KULLMANN<sup>1</sup>, Jochen LINSSEN<sup>1</sup>, Detlef STOLTEN<sup>1,2</sup>

## Motivation und zentrale Fragestellung

Power-to-X-Prozesse sind unerlässlich zur Erreichung der Treibhausgasneutralitätsziele durch ihre Rolle als Überbrückungsmöglichkeit bei Extremwetterbedingungen und als emissionsarme Plattformchemikalien und Treibstoffe im Industrie- und Transportsektor [1]. Daher kommt ihnen eine besondere Bedeutung in Energiesystemen zu und muss auch in der Energiesystemmodellierung entsprechend abgebildet werden. Dabei stehen Modellierer vor der Herausforderung, dass das Potenzial von Power-to-X-Technologien zwar sehr hoch ist, die Technologien jedoch meist einen geringen technologischen Reifegrad aufweisen [2]. Dementsprechend ist die Datenlage für technoökonomische Parameter für diese Technologien zur Integration in die Energiesystemmodellierung beschränkt. Dies erschwert eine geeignete Abbildung und Analyse der Bedeutung von Power-to-X-Technologien in treibhausgasneutralen Energiesystemen. Mithilfe einer geeigneten Datengrundlage sollen Power-to-X-Prozesse detailliert in die Energiesystemmodellierung eingebaut werden und der Markthochlauf dieser Technologien analysiert werden.

## Methodischer Ansatz

### *Strukturierte Literaturrecherche*

Um eine geeignete technoökonomische Datengrundlage für Power-to-X-Technologien zu erarbeiten, wurde eine strukturierte Literaturrecherche für Methan und Syngas (Power-to-Gas), Methanol und Synfuels (Power-to-Liquid) und Ethylen und Ameisensäure (Power-to-Chemicals) durchgeführt. Anhand von über 300 Publikationen wurden die technoökonomischen Daten verglichen. Darauf basierend wurden Werte für die Stützjahre 2020, 2030, 2040 und 2050 bestimmt, welche von Energiesystemmodellierern für diese Prozessgruppe verwendet werden können.

### *Modellierung des Markthochlaufes*

Zur Modellierung des Markthochlaufes wurden die technoökonomischen Parameter aus der strukturierten Literaturrecherche in das nationale Energiesystem-Optimierungsmodell ETHOS.NESTOR für Deutschland implementiert [3]. Mithilfe einer Monte-Carlo-Simulation der technoökonomischen Parameter wurde die Wahrscheinlichkeitsdichte des Kapazitätsausbaus der Power-to-X-Technologien über den Transformationspfad von 2020 bis 2045 berechnet. Dazu wurde ein vereinfachtes Referenzenergiesystem mit detailliertem Power-to-X-Sektor verwendet, um die Berechnungslaufzeiten des Energiesystemmodells zu reduzieren.

## Ergebnisse und Schlussfolgerungen

### *Technoökonomische Parameter für Power-to-X-Technologien*

Die Analyse der technoökonomischen Parameter hat über sämtliche Technologien gezeigt, dass in den kommenden Jahren bis 2050 erhebliche Kostenreduktion, sowie Effizienzsteigerungen der Prozesse zu erwarten sind. Eine sichtbare Korrelation zwischen dem technologischen Reifegrad und der zu erwartenden Minderung der Investitionskosten konnte beobachtet werden. Für die Investitionskosten pro Kilowatt sind zwischen 2020 und 2050 je nach Technologie Rückgänge zwischen 25-80% zu erwarten.

---

<sup>1</sup> Institut für Energie- und Klimaforschung: Techno-ökonomische Systemanalyse (IEK-3), Forschungszentrum Jülich GmbH

<sup>2</sup> Lehrstuhl für Brennstoffzellen, RWTH Aachen University

Ebenfalls leitet sich die relative Datenverfügbarkeit auch von dem technologischen Reifegrad ab. Daher können technoökonomische Daten für Technologien mit geringem Reifegrad stark eingeschränkt sein und somit keine Rückschlüsse zu erwarteten technoökonomischen Parametern zulassen.

### **Markthochlauf der Power-to-X-Technologien**

Vorläufige Ergebnisse der Analyse des Markthochlaufs deuten darauf hin, dass Power-to-X-Technologien ab dem Jahr 2030 eine zunehmend wichtige Rolle im deutschen Energiesystem einnehmen werden. Dies kann primär auf die Kombination aus strengeren Emissionslimitierungen und bedeutender Kostendegressionen für Power-to-X-Technologien zurückgeführt werden. Zudem zeigt sich, dass Wasserstoff-Elektrolyseure den Hauptanteil der installierten Kapazitäten darstellen. Dies kann einerseits durch die direkte Verwendung von Wasserstoff in diversen Sektoren begründet werden und andererseits durch die Kopplung des Ausbaus vieler Power-to-X-Technologien an die Wasserstoff-Elektrolyse, da Wasserstoff innerhalb der Prozesskette gebraucht wird.

### **Referenzen**

- [1] Berger, H. Bluhm, U. Ehrenstein, K. Heinbach, E. Dunkelberg, und B. Hirschl, „Systematik im Power-to-X-Ansatz – Identifikation, Charakterisierung und Clusterung der Power-to-X-Technologien“, *Z Energiewirtschaft*, Bd. 44, Nr. 3, S. 177–193, Sep. 2020, doi: [10.1007/s12398-020-00281-x](https://doi.org/10.1007/s12398-020-00281-x).
- [2] S. M. Jarvis und S. Samsatli, „Technologies and infrastructures underpinning future CO2 value chains: A comprehensive review and comparative analysis“, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Bd. 85, S. 46–68, Apr. 2018, doi: [10.1016/j.rser.2018.01.007](https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.01.007).
- [3] F. Kullmann, P. Markewitz, L. Kotzur, und D. Stolten, „The value of recycling for low-carbon energy systems – A case study of Germany’s energy transition“, *Energy*, Bd. 256, S. 134660, Okt. 2022, doi: [10.1016/j.energy.2022.124660](https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124660).