

Power-to-X: Technologien für Übermorgen?!

Power-to-X-Technologien bezeichnen Verfahren zur Wandlung von elektrischer Energie in Wärme, chemische Energieträger oder Basischemikalien. [1, 2] Im vorliegenden Artikel wird eine engere Definition verwendet und nur die Wandlung von elektrischem Strom zu chemischen Sekundärenergieträgern bzw. Basischemikalien betrachtet. Weiterhin verstehen wir hier darunter nur solche Verfahren, welche auf dem (Vor-)Produkt Wasserstoff aufbauen. Die Prozesse unterscheiden sich in den Endprodukten, deren Aggregatzuständen, den chemischen Verbindungen und den Möglichkeiten zur Einbindung in bestehende Infrastrukturen wie das Gasnetz oder die Kraftstoffdistribution. Die chemischen Energieträger (Wasserstoff, Methan, Methanol, Oligomere wie OME etc.) können zudem gelagert, weiterverarbeitet und wieder zurückgewandelt werden – Eigenschaften, die für Wärme nur sehr eingeschränkt gelten.

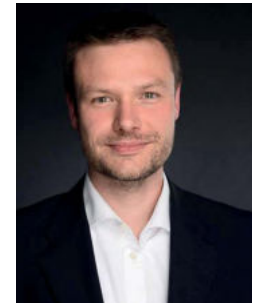
Bedarfsanalyse

In der Wissenschaft wird besonders eine Frage kontrovers diskutiert: Welcher Bedarf an chemischen Energieträgern aus Power-to-X-Verfahren besteht im transformierten Energiesystem? [2–5] Der folgende Beitrag kann darauf keine quantifizierte Antwort geben, sondern es sollen die Verlaufslinien des Diskurses aufgezeigt werden, um davon abgeleitet den Forschungs- und Entwicklungsbedarf einschätzen zu können.

Zunächst wird anhand einer ex-ante-Betrachtung der Bedarf an chemischen Energieträgern vom Ziel aus kommend betrachtet.

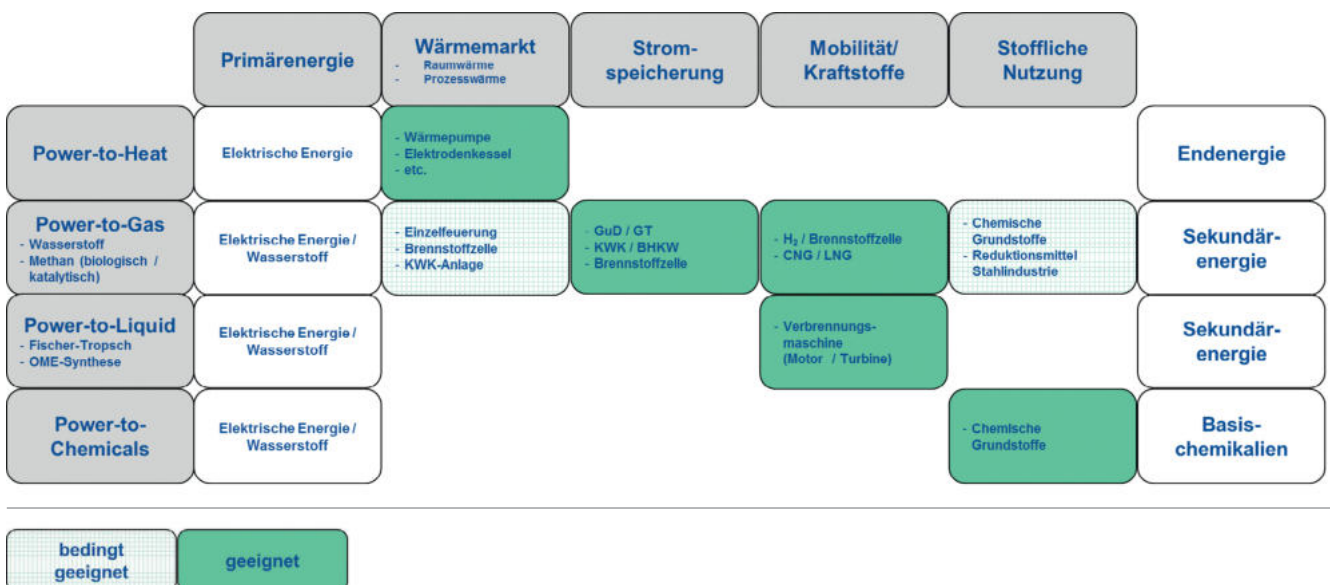
Die Ziele und internationalen Vereinbarungen der Bundesregierung sehen eine Minderung der Treibhausgasemissionen bis 2050 von 80 bis 95 % gegenüber dem Bezugsjahr 1990 vor (► *Abbildung 2*). Zur Einhaltung der 1,5 °C–2 °C -Grenze (Abkommen der UN-Klimakonferenz 2015 in Paris) ist die Erreichung der 95 %-Minderung erforderlich. Von diesem Ziel ausgehend verbleibt für Deutschland in 2050 noch ein jährliches Emissionsbudget von durchschnittlich 63 Mio. t CO_{2aq}. Doch allein der landwirtschaftliche Sektor trägt nach aktuellem Stand hierzu schon mit Emissionen zwischen 60 und 70 Mio. t CO_{2aq} pro Jahr bei. [6] Demnach ist zur Erreichung des Zielkorridors ein kompletter Verzicht auf fossile Energieträger in allen Energiesektoren erforderlich (Stromerzeugung, Wärmemarkt, Verkehr und Industrie), wenn an der Nahrungsmittelproduktion keine nennenswerten Änderungen vorgenommen werden können.

Die Einhaltung des verfügbaren CO_{2aq}-Budgets einerseits und die Erwartung bezüglich der technischen und wirtschaftlichen Entwicklung andererseits, spannen dann den Bedarfsraum für synthetische Kraftstoffe auf, d.h. für solche aus Power-to-X-Technologien.



- ZSW
Simon Schwarz
simon.schwarz@zsw-bw.de
- Dr. Ulrich Zuberbühler
ulrich.zuberbuehler@zsw-bw.de
- Maike Schmidt
maike.schmidt@zsw-bw.de
- DBFZ
Dr. Jörg Kretzschmar
joerg.kretzschmar@dbfz.de
- DLR
Prof. Dr. Andreas Friedrich
andreas.friedrich@dlr.de
- Fraunhofer IEE
Dr. Ramona Schröer
ramona.schroerer@iee.fraunhofer.de

Abbildung 1
Definition des Technologiefeldes Power-to-X mit Beispieltechnologien und Endprodukten.
(Darstellung ZSW)



Fraunhofer ISE
 Dr. Christopher Hebling
 christopher.hebling@ise.fraunhofer.de

HZB
 Dr. Sonya Calnan
 sonya.calnan@helmholtz-berlin.de

FZ Jülich
 Prof. Dr. Ralf Peters
 ra.peters@fz-juelich.de

KIT
 Prof. Dr. Roland Dittmeyer
 roland.dittmeyer@kit.edu

UFZ
 PD Dr. Falk Harnisch
 falk.harnisch@ufz.de
 Dr. Thomas Nagel
 thomas.nagel@ufz.de

Erwartungslinien der technischen Entwicklung verlaufen entlang des Elektrifizierungspotenzials im Straßen(last)verkehr, der Bedarfsentwicklung im See- und Luftverkehr aber auch der Sanierungsrate von Wohngebäuden oder der Entwicklung von Flexibilitäts- und Speicheroptionen im Stromsystem.

Abhängig von den gewählten Annahmen lässt sich ein eher geringer Bedarf an Power-to-X ebenso begründen [7], wie auch ein sehr hoher Bedarf [8]. Je ambitionierter das angestrebte Ziel und umso weniger systemumwälzende Technologieinnovationen angenommen werden, desto größer wird der Leistungs- und Energiebedarf für Power-to-X. Der mögliche Rahmen umfasst also einen Bereich von wenigen GW Leistung und entsprechend nur einigen TWh Speicherbedarf bis hin zu einer Größenordnung unseres heutigen Stromsystems. Zum Vergleich: das deutsche Stromsystem hat einen Spitzenlastbedarf von rund 80 GW bei einer Energieabgabe von rund 490 TWh pro Jahr (Stand 12.2017, www.smard.de).

haben individuelle Stärken und Schwächen. Daher ist eine parallele Weiterentwicklung aller Optionen angezeigt. Vor allem, da heute noch nicht abschließend geklärt werden kann, welche Faktoren (bspw. Dynamik der Fahrweise, elektrische Effizienz, Investitionskosten, Einbindung in die bestehende Infrastruktur etc.) zukünftig an Bedeutung gewinnen oder verlieren werden [2–4, 9].

Hemmnisse

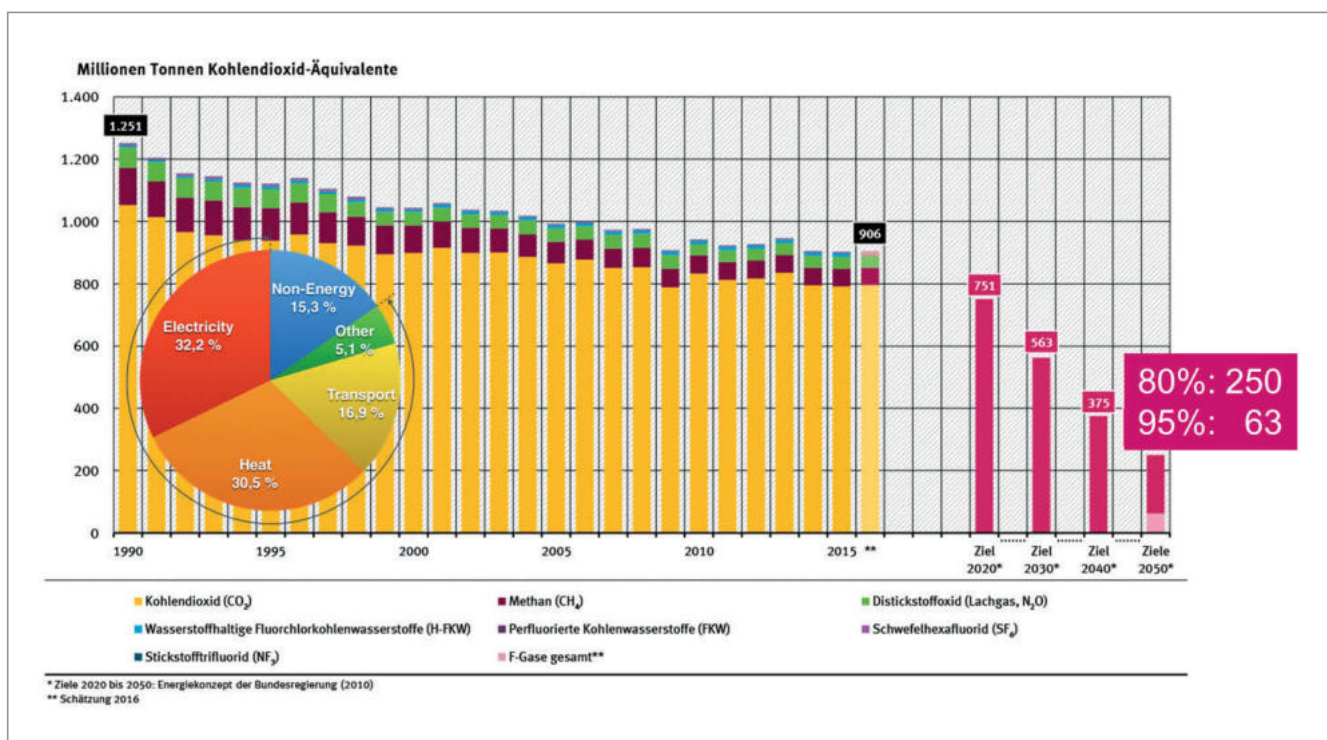
Power-to-X findet heute noch keinen großtechnischen Einsatz, da konventionelle und alternative Technologien betriebswirtschaftlich günstiger sind. ► **Abbildung 4** zeigt die Herausforderung von Power-to-X an einem vereinfachten Schaubild: Bei niedrigen Volllaststunden dominieren die Investitionskosten (blaue Kurvenschar) die Erzeugungskosten. Je länger die jährliche Laufzeit einzelner Anlagen, desto stärker werden die Erzeugungskosten durch die Stromkosten vorgegeben. Daraus lassen sich drei Stellschrauben zur Stärkung der Wirtschaftlichkeit von Power-to-X ausmachen:

- a) Durch Verfahrensentwicklung (Upscaling und Numbering-up) und Technologieentwicklung (Prozessintensivierung durch Prozessintegration und neue Reaktortechnologien, Fertigungstechnik) sinken die Investitionskosten. Die blaue Kurvenschar verschiebt sich nach links unten.

Stand der Technik

Power-to-X ist ein Sammelbegriff für eine Vielzahl unterschiedlicher Technologien, ein allumfassender Stand der Technik kann also nicht dargelegt werden. ► **Abbildung 3** zeigt die Bandbreiten der Technology-Readiness-Level (TRL) in den vier Prozessschritten Wasserstoffherstellung, Power-to-Gas, Power-to-Liquid und Power-to-Chemicals. Alle Verfahren

Abbildung 2
Treibhausgasemissionen seit 1990, Ziele für 2050 und Aufteilung der Emissionen auf Sektoren (Basis 2015)
 Quelle: [6] Umweltbundesamt. Nationale Treibhausgas-Inventare 1990 bis 2015 (Stand 02/2017) und Schätzung für 2016 (Stand 3/2017)



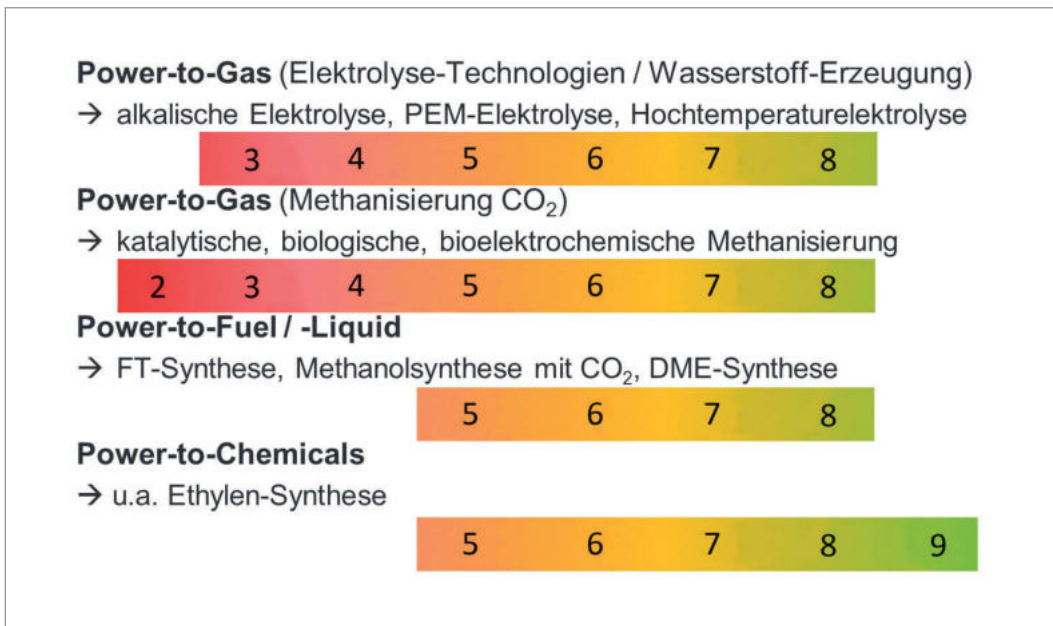


Abbildung 3

Power-to-X-Technologien

(Auflistung nicht abschließend):

Übersicht des Stands der Technik.

TRL = Technology Readiness Level
 (Darstellung ZSW basierend auf [2-4, 9-11])

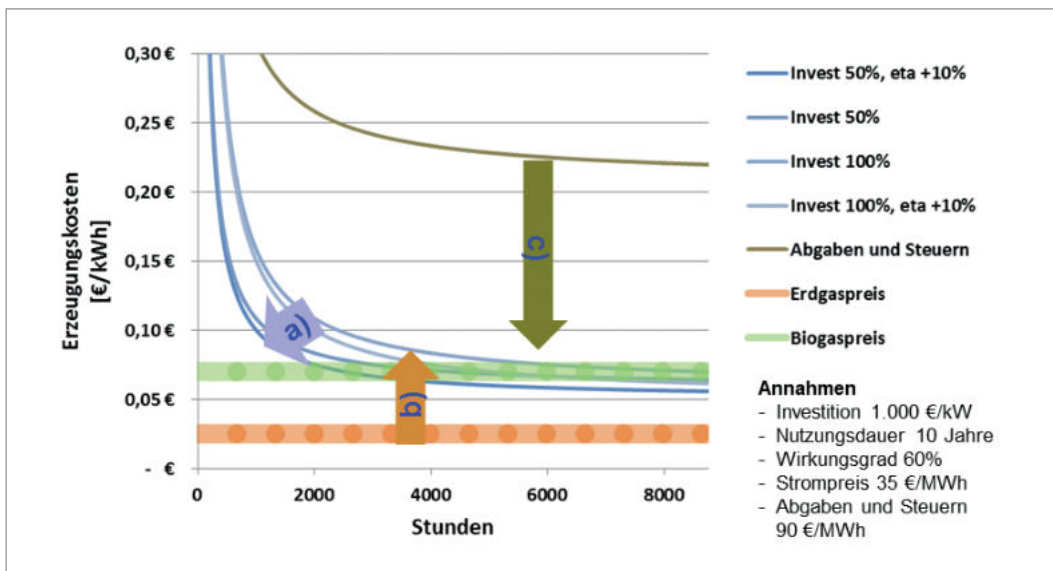


Abbildung 4

Erzeugungskosten und Investitionskosten

in Abhängigkeit der Betriebsstunden

am Beispiel Power-to-Gas
 (Darstellung ZSW)

- b) Durch eine Internalisierung externer Kosten des Klimawandels werden die Kosten für fossile Energieträger dem realen Preis angepasst. Das bewirkt eine Annäherung der Erzeugungskosten und Preise für regenerative und fossile Energien. Der braune Balken (Erdgaspreis) verschiebt sich in Richtung des grünen Balkens (Biogaspreis).
- c) Durch Anpassung des ordnungsrechtlichen Rahmens kann ein Level-Playing-Field entstehen, in welchem eine Systemkopplung vollzogen werden kann. Aktuell werden die systemdienlichen Eigenschaften von Power-to-X nicht honoriert, weswegen die volle Umlagen- und Abgabenlast auf den PtX-Geschäftsmodellen lastet. Eine Anpassung würde ein Verschieben der olivgrünen Kurve in Richtung der blauen Kurven bewirken.

Fazit

Power-to-X ist vielseitig und bietet einen Lösungsvektor für ungelöste Fragestellungen der Energiewende: saisonale Speicherung, Sektorkopplung, Herstellung von Kraftstoffen sowie Grundchemikalien. Die Erzeugung von Wasserstoff oder Synthesegas bildet für die chemischen Verfahren den Ausgangspunkt. Dazu können vorhandene Speicher- und Verteilinfrastrukturen, sowie die bestehenden Anwendungen in Haushalten, Verkehr und Industrie ohne Einschränkungen weiter genutzt werden. Dennoch ist die technologische Entwicklung von Power-to-X als sehr heterogen zu bewerten, weswegen weitere F&E-Aktivität zur Technologieentwicklung sowie Erhöhung der Technologiereife

erforderlich sind. Insbesondere für die Erreichung der Zielkosten durch Verfahrensentwicklung und Prozessoptimierung (inkl. Fertigungstechnik) sind weitere Entwicklungsanstrengungen nötig.

Ein wichtiger Hebel zur Ausschöpfung der Potenziale, zur Stärkung der Sektorenkopplung und generell zur Etablierung der Technologie ist die Internalisierung externer Kosten des Klimawandels z.B. durch eine CO₂-Abgabe. Dadurch würde ein Level-Playing-Field geschaffen werden, sodass die erforderliche Systemkopplung vollzogen werden kann.

Letztlich wird erwartet, dass der Leistungsbedarf allein schon national, sicher jedoch im internationalen Umfeld im GW-Maßstab realisiert wird. Damit bietet sich für Deutschland eine Technologieoption zur Bewältigung der inländischen Herausforderungen der Energiewende, wie auch eine Exportchance für den Anlagenbau. Darüber hinaus können Power-to-X-Technologien den internationalen Handel mit erneuerbaren Energien erheblich beschleunigen, da gasförmige und flüssige synthetische Energieträger vergleichsweise einfach in die bestehenden Handelswege eingebracht werden können.

Der Bedarf an Power-to-X wird voraussichtlich nicht linear wachsen, sondern sprunghaft zunehmen. Daher ist es ratsam Power-to-X bereits heute zu einem marktfähigen Produkt zu entwickeln. Eine Markteinführung wird diese Entwicklung unterstützen und ist gerechtfertigt, weil das Technologiefeld mittelfristig für das Energiesystem notwendig und die Wirtschaft interessant sein wird.

Quellenverzeichnis

1. SEITZ, Antje, ZUNFT, Stefan und HOYER-KLICK, Carsten. Technologiebericht 3.3b Energiespeicher (thermisch, thermo-chemisch und mechanisch) innerhalb des Forschungsprojekts TF_Energiewende. Wuppertal, Karlsruhe, Saarbrücken, 2017.
2. BRINNER, Andreas, SCHMIDT, Maïke, SCHWARZ, Simon, WAGENER, Leon und ZUBERBÜHLER, Ulrich. Technologiebericht 4.1 Power-to-Gas (Wasserstoff) innerhalb des Forschungsprojektes TF_Energiewende. Wuppertal, Karlsruhe, Saarbrücken, 2017.
3. SCHMIDT, Maïke, SCHWARZ, Simon, STÜRMER, Bernd, WAGENER, Leon und ZUBERBÜHLER, Ulrich. Technologiebericht 4.2a Power-to-Gas (Methanisierung chemisch-katalytisch) innerhalb des Forschungsprojektes TF_Energiewende. Wuppertal, Karlsruhe, Saarbrücken, 2017.
4. KRETZSCHMAR, Jörg. Technologiebericht TF 4.2b Power-to-gas (Methanisierung biologisch) innerhalb des Forschungsprojekts TF_Energiewende. Wuppertal, Karlsruhe, Saarbrücken, 2017.
5. SCHEMME, Steffen, SAMSUN, Remzi Can, PETERS, Ralf und STOLTEN, Detlef. Power-to-fuel as a key to sustainable transport systems – An analysis of diesel fuels produced from CO₂ and renewable electricity. *Fuel*. Oktober 2017. Jg. 205, S. 198–221. DOI 10.1016/j.fuel.2017.05.061.
6. ÖRTL, Elke. Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2017. Umweltbundesamt, 2017.
7. ÖKO-INSTITUT und FRAUNHOFER ISI. Klimaschutzszenario 2050 2. Endbericht. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 2015.
8. NITSCH, Joachim. Die Energiewende nach COP 21 – Aktuelle Szenarien der deutschen Energieversorgung – Kurzstudie für den Bundesverband Erneuerbare Energien e.V.. 2016.
9. ARNOLD, Karin, KOBIELA, Georg und PASTOWSKI, Andreas. Technologiebericht 4.3 Power-to-liquids/-chemicals innerhalb des Forschungsprojekts TF_Energiewende. Wuppertal, Karlsruhe, Saarbrücken, 2017.
10. HARNISCH, Falk und URBAN, Carolin. Electrobio-refineries: Unlocking the synergy of electrochemical and microbial conversions. *Angewandte Chemie International Edition* [online]. 13. Dezember 2017. DOI 10.1002/anie.201711727.
11. HAAS, Thomas, KRAUSE, Ralf, WEBER, Rainer, DEMLER, Martin und SCHMID, Guenter. Technical photosynthesis involving CO₂ electrolysis and fermentation. *Nature Catalysis*. Januar 2018. Jg. 1, Nr. 1, S. 32–39. DOI 10.1038/s41929-017-0005-1.