



POSITION // MÄRZ 2016

Integration von Power to Gas/Power to Liquid in den laufenden Transformationsprozess

Inhalt

| | | |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1 | Kernthesen | 4 |
| 2 | Einleitung | 6 |
| 3 | Kurzbeschreibung der PtG/PtL - Technik | 7 |
| 4 | Rolle und Perspektive für PtG/PtL im Energiesystem | 8 |
| | Strom | 8 |
| | Wärme | 9 |
| | Verkehr | 10 |
| | Industrie | 10 |
| 5 | Derzeitige ökonomische Rahmenbedingungen in Deutschland | 11 |
| 6 | Systemische Herausforderungen bei der Integration von Power to Gas/Power to Liquid im Transformationsprozess | 13 |
| | Substitutionswirkung von neuen Stromverbrauchern im Transformationsprozess | 13 |
| | Kohlenstoffquelle für PtG/PtL-Anlagen | 15 |
| 7 | Empfehlungen für die nächsten Jahre | 16 |
| | Schrittweise Integration in bestehende Strukturen | 17 |
| | Forschungsbedarf | 19 |
| 8 | Fazit | 20 |

1 Kernthesen

Ziel dieses Positionspapiers ist es, aus dem derzeitigen Kenntnisstand des Umweltbundesamts die Rolle und Perspektive von Power to Gas/Power to Liquid (PtG/PtL) in einem vollständig regenerativen Energiesystem einzuschätzen und insbesondere die Herausforderungen bei der Integration und Weiterentwicklung dieser Technik im laufenden Transformationsprozess in den nächsten Jahren zu benennen. Dabei wird auch der Vergleich zu anderen Power to X-Optionen und deren Treibhausgasminderungswirkung dargestellt. Der geografische Fokus der Betrachtungen liegt dabei auf Deutschland, wohlwissend, dass eine vollständige regenerative Energieversorgung Deutschlands insbesondere aus ökonomischen Gründen langfristig in eine internationale Energiepolitik eingebettet sein muss.

Unsere zentralen Botschaften sind:

- ▶ Um die bestehenden langfristigen deutschen Klimaschutzziele (Reduktion der Treibhausgase um 95 Prozent gegenüber 1990) sicher zu erreichen, ist eine regenerative treibhausgasneutrale Energieversorgung über alle Sektoren und Anwendungen in Industrie, Haushalten und Verkehr notwendig. Zur Bestimmung, wann und in welchem Maße PtG/PtL-Techniken notwendig und sinnvoll sind, ist eine ganzheitliche Betrachtung des Energiesystems und seiner Entwicklung notwendig.
- ▶ In einem Energiesystem, das ausschließlich regenerative Energieträger nutzt und in dem gleichzeitig Anbaubiomasse nicht energetisch genutzt wird, müssen zur Erreichung eines 95-prozentigen Klimaschutzzieles auch der Wärmebereich und der Verkehrssektor mit strombasierter Energie versorgt werden. Die klimafreundliche Integration der neuen Verbraucher in das Gesamtenergiesystem sollte oberste Prämisse sein.
- ▶ Nur durch die Nutzung von PtG/PtL besteht langfristig die Möglichkeit, eine vollständige regenerative Energieversorgung ohne die energetische Nutzung von Anbaubiomasse zu realisieren. Die langfristige Verfügbarkeit der PtG/PtL-Technik ist daher von zentraler Bedeutung und muss bei der Gestaltung des Transformationsprozesses bedacht werden. (siehe Abschnitt 4, S.8)
- ▶ Perspektivisch müssen die EE-Ausbauziele und die im Energiekonzept der Bundesregierung gesetzten Stromeinsparziele so an die Integration der neuen zusätzlichen Stromverbraucher angepasst werden, dass die Klimaschutzziele sicher erreicht werden. (siehe Abschnitt 6, S.13 ff)
- ▶ Für eine regenerative, strombasierte Energieversorgung im Bereich Wärme und für Teile des Verkehrsbereiches stehen bereits jetzt Techniken wie Power to Heat (PtH) und Elektromobilität zur Verfügung. Diese sind marktreif, erzielen höhere CO₂-Einsparungen pro kWh bereitgestellte Endenergie und sind zumindest kurz- und mittelfristig kostengünstiger als PtG/PtL. (siehe Abschnitt 6, S.13 ff)
- ▶ Die derzeitigen EE-Überschüsse reichen bei weitem nicht für den wirtschaftlichen Betrieb von PtG/PtL-Anlagen aus. Unter den derzeitigen Rahmenbedingungen würde der Betrieb großtechnischer PtG/PtL-Anlagen in Deutschland daher zu einer höheren Auslastung der konventionellen Stromerzeugung und zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit fossiler Kraftwerke führen. Dies würde faktisch einer Energiewandlung fossiler Energieträger zu Gas (Coal/Gas-to-Gas) oder flüssige Kraftstoffe (Coal/Gas to Liquid) gleichkommen. Die CO₂-Belastung der aus Strom erzeugten Brenn-, Roh- und Kraftstoffe würde ein Mehrfaches im Vergleich zur direkten Nutzung der fossilen Energieträger betragen. Dies würde die Erreichung der Klimaschutzziele im erheblichen Maße gefährden und muss vermieden werden. Daher empfehlen wir, dass PtG/PtL-Anlagen in den nächsten Jahren, insbesondere in Deutschland, nur dann großtechnisch zum Einsatz kommen wenn sie die Klimaschutzziele nicht gefährden. (siehe Abschnitt 6, S.13 ff)

- ▶ Um eine höhere fossile Stromerzeugung zu vermeiden und die Erreichung der Klimaschutzziele zu gewährleisten, sollten PtG/PtL-Anlagen zur Bereitstellung von Brenn-, Roh- und Kraftstoffen nur Strom aus zusätzlichen erneuerbaren Energieanlagen beziehen. (siehe Abschnitt 6, S.13 ff)
- ▶ Der rechtliche Rahmen für Steuern und Umlagen sollte so gesetzt werden, dass er Marktverzerrungen zwischen Techniken zur Stromspeicherung und solchen zur Bereitstellung von Kraft-, Brenn- und Rohstoffen verhindert, unter anderem indem er unterschiedliche Bedingungen für Anlagen als Speicherlösung und solche als Stromverbraucher zur Bereitstellung von Brenn-, Roh- und Kraftstoffen setzt. (siehe Abschnitt 7, S. 16 ff)
- ▶ Wir empfehlen, in den nächsten Jahren die PtG/PtL-Technik mithilfe von Pilot- und Demonstrationsanlagen im energiewirtschaftlichen Maßstab über alle Anwendungsbereiche hinweg weiterzuentwickeln. Es ist sinnvoll, hierfür Kriterien zu deren Förderwürdigkeit zu entwickeln. Wir schlagen außerdem vor, bei der Integration von PtG mit der Substitution der fossilen Wasserstoffwirtschaft zu beginnen. (siehe Abschnitt 7, S. 16 ff)
- ▶ Insbesondere im Flugverkehr, wo die International Civil Aviation Organisation (ICAO) sich das Ziel gesetzt hat, den Zuwachs des Flugverkehrs ab 2020 treibhausgasneutral zu gestalten, besteht dringender Handlungsbedarf. Neben einer globalen marktbasierteren Maßnahme verfolgt die ICAO derzeit als zentrale Strategie zur Erreichung des treibhausgasneutralen Wachstums den Einsatz von Biokraftstoffen aus Anbaubiomasse. Dies lehnen wir aus klima- und umweltpolitischen Gründen ab und sprechen uns im Flugverkehr zur Erreichung der langfristigen Klimaschutzziele für PtL als Kraftstoff aus. Unseres Erachtens kann die PtL-Technik als prinzipielle Alternative hierzu für den Zeithorizont 2020 jedoch nur einen kleinen Beitrag leisten. Um zu verhindern, dass Anbaubiomasse mittelfristig im Flugverkehr genutzt wird, ist es dringend notwendig Pilot- und Demonstrationsvorhaben zu fördern, eine Markteinführung zu ermöglichen und die langfristige Verfügbarkeit der Technik zu gewährleisten. (siehe Abschnitt 7, S.16 ff)
- ▶ Wir empfehlen, bei der Integration von PtG schrittweise mit der Substitution der fossilen Wasserstoffwirtschaft, ggf. mit einer zeitnahen Fokussierung auf die Petrochemie, zu beginnen. Die regenerativen PtG/PtL-Produkte können durch die Beimischung zu fossilen Brenn- und Kraftstoffen einen ersten Schritt hin zu einem treibhausgasneutralen Verkehr darstellen. (siehe Abschnitt 7, S.16 ff)
- ▶ Wir empfehlen, eine Substitution fossilen Erdgases durch PtG-Methan zur Wärmeversorgung in den nächsten Jahren nicht zu unterstützen, da dieser Pfad energetisch und im Hinblick auf die Substitutionswirkung ineffizient ist. (siehe Abschnitt 4, S.9)
- ▶ Generell sollten die übergreifenden nationalen, europäischen und internationalen Rahmenbedingungen vor allem im Klimaschutz weiterentwickelt werden, um der langfristigen hohen Bedeutung der PtG/PtL-Technik in einer globalen regenerativen Energiewirtschaft gerecht zu werden. (siehe Abschnitte 2, S. 5 und Abschnitt 7, S. 16 ff)

2 Einleitung

Für die Erreichung der Klimaschutzziele ist die Umstrukturierung der Energieversorgung hin zu einem nachhaltigen, umweltschonenden und treibhausgasneutralen Gesamtenergiesystem von zentraler Bedeutung.

Mit diesem Transformationsprozess sind gewichtige Herausforderungen verbunden, wie z. B. technische Entwicklungen, Anpassung der rechtlichen Rahmenbedingungen oder Strategieentwicklungen auf europäischer und internationaler Ebene.

In der Studie „Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050“ hat das Umweltbundesamt gezeigt, dass eine vollständige regenerative Energieversorgung aller Anwendungsbereiche technisch möglich ist.¹ Es wird dargestellt, dass die einzelnen Sektoren (Erzeugung und Verbraucher sowie die Anwendungen Strom, Wärme, Verkehr, Rohstoffe) zukünftig in einer bisher noch nicht dagewesenen Art und Weise mit einander verknüpft werden. Eine zentrale Rolle haben zukünftig sämtliche Power to X-Techniken, insbesondere Power to Heat (PtH, direktelektrisch oder indirekt mit z. B. Wärmepumpen) und Power to Gas/Power to Liquid (PtG/PtL). Diese Techniken ermöglichen als neue zusätzliche Stromverbraucher eine regenerative Energieversorgung aller Anwendungsbereiche. Aufgrund dieser vielschichtigen Verknüpfungen ist nur eine ganzheitliche konzeptionelle Betrachtung der Energieversorgung sinnvoll, die auf die einzelnen Bedürfnisse der Anwendungsbereiche aber auch auf die klimafreundliche Umstrukturierung und Ausgestaltung des Energiesystems an sich ausgerichtet ist. Für das Umweltbundesamt spielen diese Techniken somit eine Schlüsselrolle.

Verknüpfungen zwischen den einzelnen Bereichen bestehen im Energiesystem bereits seit langem, z. B. Strom/Verkehr, Strom/Wärme. Durch die stärkere Ausprägung der Sektorkopplung in einem zukünftigen Energiesystem werden voraussichtlich auch immer stärker die gleichen Erzeugungstechniken, gleichen Infrastrukturen und gleichen Importwege genutzt. Vor diesem Hintergrund ist eine ganzheitliche Betrachtung und Strategieentwicklung für die zukünftige Energieversorgung notwendig. Im Transformationsprozess ist jedoch zu berücksichtigen, dass in den verschiedenen Bereichen unterschiedliche

technische Optionen bestehen, die darüber hinaus unterschiedliche technische Entwicklungsstände und Marktdurchdringungen sowie Emissionsminderungspotentiale aufweisen. Vor diesem Hintergrund sollte die klimafreundliche Integration neuer Stromverbraucher im Laufe des Transformationsprozesses prioritär sein.

Die UBA-Studie zeigt, dass alle Anwendungsbereiche mit der regenerativen Stromerzeugung (genau: Nettostromerzeugung) verbunden werden und die daraus resultierenden großen Erzeugungskapazitäten insbesondere aus ökonomischer Sicht aller Voraussicht nach nicht inländisch bereitgestellt werden. Vielmehr müsste zur Erreichung globaler Klimaschutzziele ein globaler Markt für regenerative Energieträger realisiert werden. Dabei würden die globalen Potentiale regenerativer Quellen (Windenergie, Solarenergie, Wasserkraft, Rest- und Abfallbiomasse und Geothermie) in Abhängigkeit ihrer Wirtschaftlichkeit erschlossen werden. Für den Brenn-, Roh- und Kraftstoffmarkt ist es von großer Bedeutung, dass sich ein internationaler regenerativer Markt entwickelt, da hier bereits heute in hohem Maße eine länderübergreifende Struktur besteht. Deutlich wird dies im Verkehr, wo Verkehrsträger wie Flugzeuge, Seeschiffe aber auch Fernverkehrs-Lkw international auf vor Ort kompatible Infrastrukturen und Kraftstoffe angewiesen sind. Vor diesem Hintergrund wird die internationale Dimension einer regenerativen Gesamtenergieversorgung Deutschlands deutlich, die neben den nationalen Strategien auch eine internationale Einbettung benötigt. Eine wichtige Rolle bei den strategischen Fragen zur Energieversorgung spielen die Importabhängigkeit, die Diversifizierung der Lieferländer und Energiequellen sowie der Ausbau internationaler Infrastrukturen.

Ziel dieses Papiers ist es, aus dem aktuellen Kenntnisstand des Umweltbundesamts die Rolle und Perspektive von Power to Gas/Power to Liquid (PtG/PtL) in einem vollständig regenerativen Energiesystem einzuschätzen und insbesondere die Herausforderungen bei der Integration und Weiterentwicklung dieser Technik im laufenden Transformationsprozess zu benennen.

3 Kurzbeschreibung der PtG/PtL - Technik

Unter Power to Gas (PtG) verstehen wir die Bereitstellung von Wasserstoff sowie Methan und unter Power to Liquid (PtL) die Bereitstellung flüssiger Kraftstoffe mithilfe von Strom.

Ihnen gemeinsam ist die Wasserelektrolyse als erstem technischem Schritt. Hierbei wird mit Strom Wasser (H_2O) in Wasserstoff (H_2) und Sauerstoff (O_2) gespalten. Der bereitgestellte Wasserstoff kann direkt oder als Speichermedium für energetische und stoffliche Anwendungen genutzt werden. Darüber hinaus kann aus Wasserstoff in einer katalytischen Synthese - oder in einer biologischen Synthese in Biogasanlagen - mit Kohlendioxid (CO_2) Methan erzeugt werden.

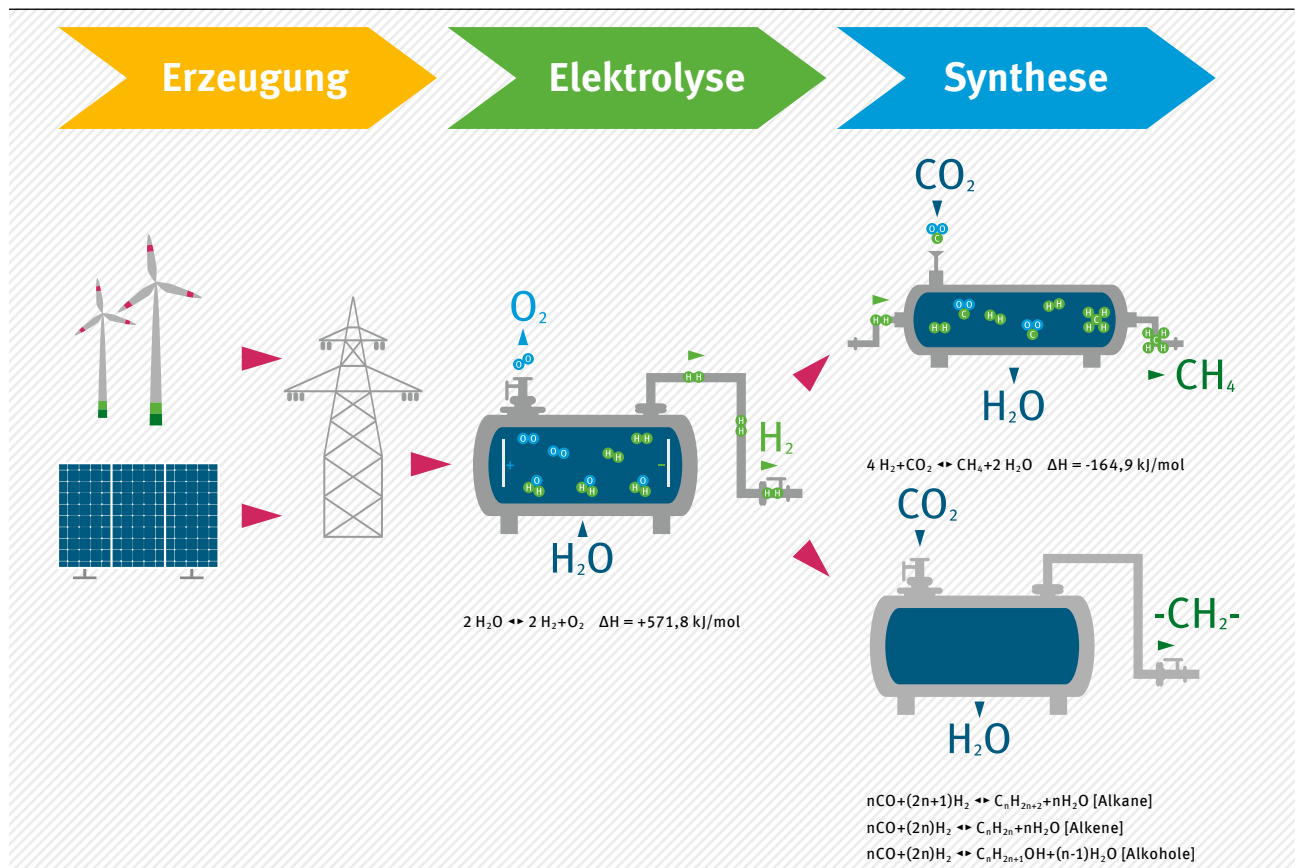
Zur Herstellung wird zunächst ein Wasserstoff/Kohlenmonoxid oder Wasserstoff/Kohlendioxid -Gemisch erzeugt und in einer Synthese zu Kohlenwasserstoffen umgewandelt. Hierfür stehen verschiedene Synthesen, z. B. die Fischer-Tropsch-Synthese

oder die Methanolsynthese zur Verfügung. Bei der Fischer-Tropsch-Synthese entsteht eine Mischung aus verschiedenen langkettigen Kohlenwasserstoffen, welche weiter aufbereitet werden muss. Die Methanolsynthese verläuft bei moderaten Bedingungen und besonders selektiv mit sehr hoher Produktreinheit. Der energetische Wirkungsgrad der verschiedenen Techniken nimmt dabei von Wasserstoff über Methan hin zu den flüssigen Kraftstoffen ab.

Perspektivisch sind auch andere technische Lösungen denkbar, um synthetische Energieträger herzustellen, bei denen der Wasserstoff nicht an den Kohlenstoff, sondern anderweitig gebunden wird. Das kann u. a. die chemische Bindung des Wasserstoffs in der etablierten Ammoniaksynthese sein. Eine andere Möglichkeit, die sich derzeit im Demonstrationsstadium befindet, besteht in der reversiblen Bindung des Wasserstoffs in LOHC-Substanzen (Liquid Organic Hydrogen Carriers).

Abbildung 1

Funktionsweise PtG und PtL



Quelle: Umweltbundesamt 2016

4 Rolle und Perspektive für PtG/PtL im Energiesystem

Wie die UBA-Studie „Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050“ (THGND) zeigt, ist für die Erreichung von ambitionierten Klimaschutzziele - also einer Reduktion der THG-Emissionen bis 2050 um 95 Prozent gegenüber 1990 - eine vollständige regenerative Energie- und Rohstoffversorgung notwendig. Durch die Nutzung von PtG/PtL besteht die Möglichkeit, solch eine vollständige regenerative Versorgung zu realisieren. Darüber hinaus kann PtG/PtL mittel- und langfristig den zunehmenden Konkurrenzdruck auf die Biomassenutzung grundlegend entschärfen. Daher ist die langfristige Verfügbarkeit der PtG/PtL-Technik entsprechend dieses Szenarios von zentraler Bedeutung. Da die energetische Nutzung von Anbaubiomasse ausgeschlossen² wird (ebenso wie CCS und Kernenergie) stellen PtG/PtL derzeit die einzige Alternative für eine vollständig treibhausgasneutrale Energieversorgung dar.

Im THGND-Szenario gehen wir für Deutschland im Jahr 2050 von einem Endenergiebedarf von rund

1600 TWh aus, der sich zu annähernd gleichen Teilen auf Strom, Methan und flüssige Kraftstoffe aufteilt (siehe Tabelle 1). Hierfür ist eine Nettostromerzeugung¹ von rund 3000 TWh notwendig. Für die benötigten Mengen stehen zwar prinzipiell ausreichend nationale technische EE-Potentiale zur Verfügung. Wir gehen jedoch davon aus, dass die regenerativen Brenn-, Roh- und Kraftstoffe an international günstigen Standorten für erneuerbare Energien erzeugt und somit überwiegend importiert werden.

Durch die Nutzung von PtG/PtL ist im THGND-Szenario der Bedarf an regenerativen Stromerzeugungsanlagen (Nettostromerzeugung) sehr hoch.

In einem laufenden Prozess wird die Studie „Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050“ fortgeschrieben. Dabei soll die Nutzung von Ressourcen analysiert werden. Auch sollen die Pfade, die notwendigen Ausbauten der Technologien in den Jahren 2030 und 2040, hergeleitet werden.

Tabelle 1

Endenergiebedarf im THGND-Szenario im Jahr 2050

| | Strom in TWh | regeneratives Methan | flüssige regenerative Kraftstoffe in TWh |
|----------------------------------------|--------------|----------------------|------------------------------------------|
| private Haushalte | 104,7 | 44,5 | 0 |
| GHD | 90,3 | 62,4 | 18,6 |
| Industrie | 179,7 | 198,8 | 0 |
| Verkehr | 91,1 | 0 | 533,3 |
| Summe energetisch | 465,8 | 305,7 | 551,9 |
| | | 1323,4 | |
| Industrie stofflich | | 282 | |
| Summe energetisch und stofflich | | 1605,4 | |

Quelle: Umweltbundesamt 2014

Strom

Im Strombereich werden kurz- und mittelfristig vor allem flexiblere fossile Kraftwerke, Lastmanagement, insbesondere bei Großverbrauchern in der Industrie, sowie nationaler und europäischer Netzausbau benötigt. Kurz- und mittelfristig besteht vornehmlich ein Bedarf an Kurzzeitspeichern. Langzeitspeicher wie

PtG mit Rückverstromung werden in Abhängigkeit u. a. vom europäischen Netzausbau, der Erschließung von Lastmanagement und der Flexibilisierung fossiler Stromerzeugung ist nach jetzigem Kenntnisstand erst bei einem sehr hohen Anteil (ca. 70 bis 80 Prozent)³ erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung zur Systemstabilität benötigt.

¹ Berücksichtigung der Umwandlungs- und Transportverluste.

Generell werden in einem regenerativen Stromsystem Kurzzeitspeicher zur Überbrückung von stunden- und tageweisen Erzeugungsdefiziten sowie zur Stabilisierung des Stromsystems auf Grund der zu erwartenden sehr steilen Erzeugungsflanken¹¹ der fluktuierenden Energien und Langzeitspeichern zur Überbrückung von Einspeisedefiziten der regenerativen Energien über mehrere Tage und Wochen benötigt.

Wärme

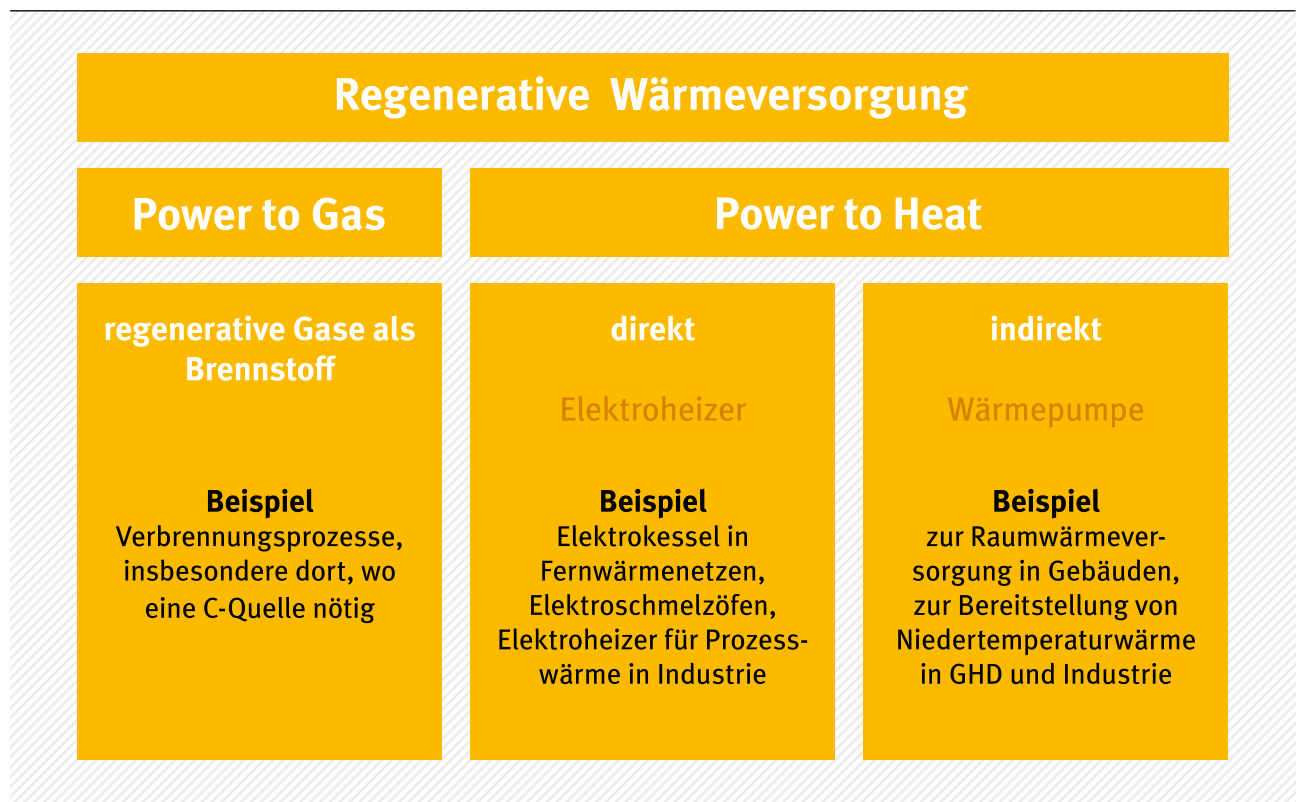
Für den Bereich der Wärmeversorgung gilt es generell, das sehr hohe Einspar- und Effizienzpotential schnell zu heben. Kurz- und mittelfristig gibt es in der Raumwärmeversorgung ausreichend regenerative Alternativen zu PtG. Hier ist insbesondere Power to Heat in Verbindung mit Wärmepumpen und Solarthermie zu nennen. Wie die Abbildung 4 zeigt, ist eine derzeitige Substitution fossilen Erdgases durch PtG-Methan ineffizient (energetisch und im Hinblick auf die Substitutionswirkung), so dass dies in den nächsten Jahren nicht unterstützt werden sollte.

Im Hinblick auf eine klimafreundliche Wärmeversorgung ist eine Integration von PtG in den nächsten Jahren nicht zweckmäßig. Langfristig hat PtG für die regenerative Prozesswärmeversorgung eine sehr große Bedeutung.

Wie im THGND-Szenario gezeigt wird, spielt PtH langfristig eine zentrale Rolle bei der Wärmeversorgung. Dies betrifft nicht nur die Raumwärmeversorgung, sondern auch die Prozesswärmeversorgung in der Industrie, wo die direkte Nutzung von erneuerbarem Strom durch Änderungen der Prozessführung ermöglicht werden kann. Dennoch wird PtG/PtL langfristig zur Prozesswärmeversorgung in der Industrie insbesondere zur Substitution von Prozessen mit festen, fossilen Energieträgern/Kohlenstoffträgern benötigt. Wir empfehlen in diesem Kontext, kurz- und mittelfristig überwiegend Forschungs- und Entwicklungsarbeit bei der Umgestaltung der Prozesswärmeversorgung hin zu strombasierten Verfahren und regenerativen gasförmigen Brennstoffen (erzeugt durch PtG) zu fördern.

Abbildung 2

Überblick für eine regenerative Wärmeversorgung



Quelle: Umweltbundesamt 2016

¹¹ Abhängig von Wetter und Tageslauf können in kürzester Zeit hohe Leistung von EE-Anlagen in oder außer Betrieb gehen.

Verkehr

Auch für den Verkehr gilt es, den Endenergieverbrauch durch Verkehrsvermeidung und -verlagerung sowie durch Effizienzmaßnahmen weiter zu reduzieren. Um den Verkehr langfristig treibhausgasneutral zu gestalten, ist neben dieser Verkehrswende (Vermeiden, Verlagern, Verbessern) auch eine Energie-wende im Verkehr notwendig. Für den Verkehr stellt zwar die direkte Nutzung des regenerativen Stroms in Elektrofahrzeugen die energieeffizienteste Einsatzmöglichkeit dar, in manchen Anwendungsfeldern ist aber eine Elektrifizierung nicht möglich.

Zudem wird bei Elektrofahrzeugen zur Erzielung hoher Reichweiten ein zusätzlicher, regenerativ erzeugter flüssiger oder gasförmiger Energieträger benötigt (z. B. bei Plug-in-Hybriden). Unter Berücksichtigung der eingeschränkten Verfügbarkeiten von Rest- und Abfallbiomasse wird daher PtG/PtL zur vollständigen regenerativen Energieversorgung des Verkehrs benötigt.⁴ Insbesondere für den Flugverkehr sind flüssige regenerativ Kraftstoffe notwendig. Diese können mit PtL bereitgestellt werden. Auch für den Schiffs- und Straßengüterfernverkehr ermöglichen PtL und PtG eine regenerative, treibhausgasneutrale Energieversorgung. Bei PKW, leichten Nutzfahrzeugen, Busse und beim Straßengüternahverkehr wird dagegen voraussichtlich die Elektromobilität allein oder in Kombination mit PtG oder PtL eine zentrale Rolle spielen. Insgesamt haben PtL und PtG (Methan) aus synthetischer Produktion eine deutlich höhere Qualität als herkömmliche Kraftstoffe auf Rohölbasis. Das führt zu einer Entlastung der üblichen Schadstoffminderungstechnik (Katalysatoren, Partikelfilter).

Im Energiekonzept der Bundesregierung sowie durch verschiedene EU-Richtlinien (z. B. national umgesetzt im Biokraftstoffgesetz) sind kurz- und mittelfristige sektorale Ziele festgelegt. Um die kurz- und mittelfristigen EU-Ziele für das erneuerbare Endenergieziel⁵ und die Verringerung der Lebenszyklustreibhausgasemissionen der Kraftstoffe⁶ für das Jahr 2020 zu erreichen, sind PtG/PtL-Kraftstoffe jedoch keine kurzfristig verfügbare Alternative. Hierfür können derzeit weder die EE Strommengen (in Form von Überschüssen oder durch zusätzliche Anlagen) national bereitgestellt, noch die notwendigen PtG/PtL-Anlagen in Deutschland kurzfristig errichtet werden. Besonderer Handlungsbedarf besteht international derzeit beim

Flugverkehr. Die International Civil Aviation Organisation (ICAO) hat sich das Ziel gesetzt, den zusätzlichen Energiebedarf des wachsenden Flugverkehrs ab 2020 treibhausgasneutral zu gestalten. Neben einer globalen marktbasierter Maßnahme verfolgt derzeit die ICAO als wesentliche Strategie zur Minderung der Treibhausgasemissionen den Einsatz von Biokraftstoffen aus Anbaubiomasse. Dies lehnen wir aus klima- und umweltpolitischen Gründen ab. Hier könnte durch zusätzliche, hauptsächlich internationale EE-Stromerzeugungskapazitäten PtL-Kraftstoffe produziert und den fossilen Treibstoffen mittelfristig beigemischt werden.

Unabhängig von dieser kurz- und mittelfristigen Perspektive haben für die regenerative Versorgung des Verkehrs - neben der direkten Stromnutzung in Elektrofahrzeugen - PtG/PtL-Kraftstoffe langfristig eine sehr große Bedeutung. Nähere Informationen sind in der UBA-Studie „Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050“¹ sowie in der UBA-Veröffentlichung „Klimaschutzbeitrag des Verkehrs – Notwendigkeit und Realisierungsoptionen einer regenerativen Energieversorgung im Verkehr“⁷ zu finden.

Industrie

In diesem Bereich besteht keine dringende kurzfristige Notwendigkeit zur Nutzung von strombasierten regenerativen Rohstoffen in den nächsten Jahren zur Erfüllung sektoraler Ziele. Langfristig hat PtG/PtL für die Versorgung der chemischen Industrie mit regenerativen Rohstoffen und dem damit möglichen THG-Minderungsbeitrag eine sehr große Bedeutung, wie im THGND-Szenario für das Jahr 2050 deutlich wird.¹ Vor dem Hintergrund langfristiger Investitionen, langen Zeitzyklen zur Erneuerung und Ertüchtigung von Produktionsanlagen sind kurz- und mittelfristig entsprechende Umstrukturierung der Produktionsprozesse insbesondere zu verstärkter direkter Nutzung (Power to Heat) und indirekten Nutzung von regenerativem Strom (PtG, PtL) zu adressieren.

Weiterhin können mit PtG/PtL regenerativ erzeugte Ausgangsstoffe für die chemische Industrie bereitgestellt werden, so dass auch hier ein wesentlicher Beitrag zur Reduzierung prozessbedingter Treibhausgasemissionen geleistet werden kann. Durch die Nutzung von PtG/PtL besteht auch in diesem Bereich kein zwingender Bedarf, Biomasse zu verwenden.

5 Derzeitige ökonomische Rahmenbedingungen in Deutschland

Zurzeit ist keine wirtschaftliche Nutzung von PtG/PtL-Anlagen in Deutschland möglich. Gründe dafür sind die hohen Investitions- und Betriebskosten bedingt durch den derzeitigen Entwicklungsstand und hohe Umwandlungsverluste sowie die geltenden Rahmenbedingungen (z. B. Steuern und Umlagen).

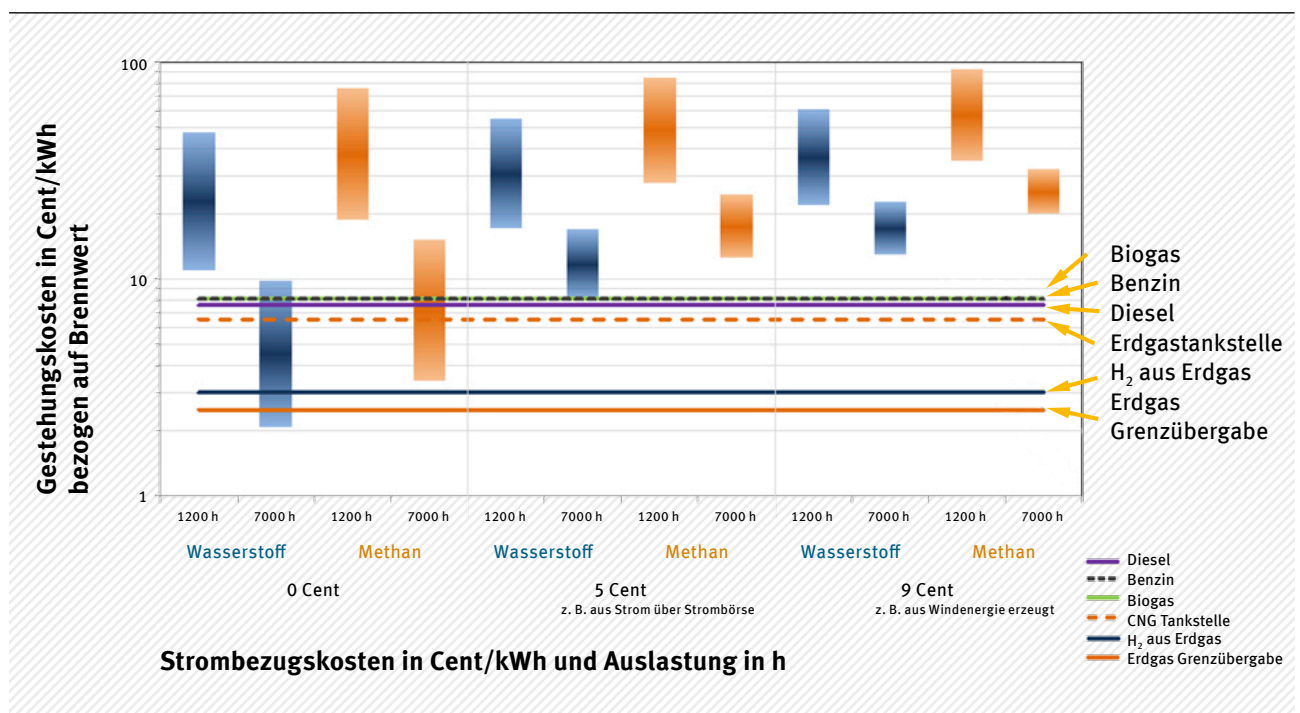
Ein Überblick über die derzeitigen Gestehungskosten regenerativer Gase bei Variation der Strombezugskosten und der Anlagenbetriebszeit ist in Abbildung 3 gegeben. Der obere Bereich eines Balkens stellt kleine PtG-Anlagen, der untere große PtG-Anlagen dar. Es wird deutlich, dass die Gestehungskosten von durchgehend laufenden Anlagen selbst bei der Grenzbetrachtung von ausnahmslos kostenlos zur Verfügung stehenden Strom um ein Mehrfaches über konventionellen Brenn-, Roh- und Kraftstoffen liegen. Dies gilt umso mehr und auch für Biogas, wenn man für durchgehend laufende Anlagen Großhandelspreise von 5 Cent/kWh annimmt.^{III}

Eine wesentliche Ursache sind die hohen Umwandlungsverluste. Bei Wasserstoff sind diese deutlich geringer als bei Methan. Die Abbildung 3 zeigt auch, dass die Kosten stark steigen, wenn die Produktion (von Wasserstoff oder Methan) nicht mit hoher Auslastung über das ganze Jahr gefahren wird (Zahl der Nutzungsstunden), sondern auf die Nutzung von Stromüberschüssen beschränkt bleibt. Derzeit auftretende Überschüsse sind auf relativ wenige Stunden beschränkt. Darüber hinaus werden sie sich durch den Netzausbau in den nächsten Jahren tendenziell verringern.

Ein wichtiger Teil der Kosten wird durch die Höhe staatlicher oder staatlich bestimmter Abgaben für den Bezug von Strom und darüber hinaus auch die Abgaben für die in den PtG/PtL-Anlagen hergestellten Produkten bestimmt.

Abbildung 3

Kostenvergleich von Power to Gas zu anderen Kraftstoffen⁸



Generell werden PtG/PtL-Anlagen gemäß ihrer Nutzung in Stromspeicheranlagen einerseits und Letztverbraucher zur Bereitstellung von Brenn-, Roh- und Kraftstoffen andererseits unterschieden.

PtG-Stromspeicheranlagen sind derzeit – wie andere Speicheranlagen (z. B. Pump-, Druckluftspeicher) – von der EEG-Umlage und den Netzentgelten für den Bezug des zu speichernden Stroms (einschließlich der Speicherverluste) befreit. In der Regel sind die derzeit in Betrieb, Bau oder Planung befindlichen PtG-Anlagen jedoch keine Stromspeicheranlagen. Es sind Anlagen, die Brenn-, Roh- und Kraftstoffe für andere Zwecke als die Rückverstromung bereitstellen oder gar eine reine Wasserstoffherzeugung und -anwendung vornehmen.

Diese Anlagen müssen wie andere Letztverbraucher von Strom sowohl Netzentgelte und Anschlusskosten als auch EEG-Umlage zahlen, es sei denn, es handelt sich um Eigenerzeuger/-verbraucher. Dies verringert die Wirtschaftlichkeit von netzgekoppelten Anlagen zur Bereitstellung von Brenn-, Roh- und Kraftstoffen gegenüber nichtnetzgekoppelten Anlagen. Lediglich für PtG-Anlagen, die Wasserstoff und Methan weit überwiegend aus erneuerbaren Energiequellen erzeugen und in das Gasnetz einspeisen, gibt es Privilegierungen bei Gasnetzanschluss-, Gasnetzzugangs- und Gasnetzentgeltregelungen.

Die Endprodukte (Pt-Gase sowie Pt-Liquids) behandelt das Energiesteuerrecht bei Verwendung als Kraft- oder Heizstoff wie „konventionelle“ Energieträger, d. h. sie unterliegen der Energiesteuer. Sofern der zur Erzeugung von PtG/PtL eingesetzte Kohlenstoff aus emissionshandlungspflichtigen Anlagen stammt, unterliegt dieser grundsätzlich den Berichts- und Abgabepflichten des europäischen Emissionshandels.^{IV} Dies kann einen weiteren Kostenfaktor darstellen.

Die künftige Kostenentwicklung ist jedoch nicht nur von den staatlichen oder staatlich bestimmten Abgaben und den direkten Investitions- und Betriebskosten abhängig sondern auch von vielen weiteren Faktoren, etwa der globalen Nachfrage nach PtG/PtL-Anlagen, die wiederum bestimmt wird durch die weltweite Entwicklung der treibhausgasneutralen Energieversorgung, den Entscheidungen bezüglich

der internationalen Energie- und Klimapolitik und den daraus resultierenden Kohlenstoffpreisen, den technischen Fortschritten bei PtG/PtL-Anlagen, der Entwicklung der Strompreise, der Verfügbarkeit von Quellen konzentrierten Kohlendioxids u.v.m..

Es ist jedoch davon auszugehen, dass PtG/PtL auch kurz- und mittelfristig höhere Kosten aufweisen als effizientere Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energien (z. B. PtH, Elektromobilität).

IV Welcher Anlagenbetreiber Abgabepflichten zu erfüllen hat, hängt von den rechtlichen und technischen Randbedingungen im Einzelfall ab.

6 Systemische Herausforderungen bei der Integration von Power to Gas/Power to Liquid im Transformationsprozess

Bei der Transformation des Energiesystems hin zu einer nahezu vollständigen regenerativen Versorgung wird eine zunehmende Kopplung der einzelnen Energiemärkte bzw. Anwendungsbereiche durch verschiedene Techniken erfolgen.

Durch verstärkten Einsatz von PtH wird insbesondere der Wärmebereich stärker mit dem Stromsektor verknüpft. Durch Elektromobilität erfolgt eine direkte Kopplung des Stromsektors mit dem Verkehr. Langfristig werden bei Nutzung von PtG/PtL darüber hinaus alle Energiemärkte (Strom, Wärme und Kraftstoffe) sowie der Markt für regenerative Rohstoffe für die chemische Industrie miteinander verbunden. Dies stellt enorme Herausforderungen an die volkswirtschaftlich sinnvolle und klimafreundliche Ausgestaltung des Transformationsprozesses.

Zur Erreichung der Klimaschutzziele und für das Voranschreiten des Klimaschutzes über die gesamte Breite im Energiebereich wurden verschiedene politische Ziele in Europa und Deutschland definiert.

Wir empfehlen, die bestehenden und zukünftigen sektoralen Klimaschutzziele darauf auszurichten, dass sie eine möglichst hohe Minderung der Gesamtreibhausgasemissionen und eine effektive Nutzung regenerativer Energien bewirken.

Für eine teilweise regenerative, strombasierte Energieversorgung im Bereich Wärme und Verkehr stehen Techniken wie PtH und Elektromobilität bereits jetzt marktreif zur Verfügung, die größere CO₂-Einsparungen pro eingesetzter EE-Strommenge ermöglichen und kostengünstiger als PtG/PtL sind. Somit sollten insbesondere im Transformationsprozess kurz- und mittelfristig prioritär die Potentiale erschlossen werden, welche mittels dieser energetisch effizienteren Techniken versorgt werden können.

Da jedoch PtG/PtL langfristig eine zentrale Rolle in einem regenerativen, umweltschonenden und nachhaltigen Energiesystem einnimmt, sollten in den

nächsten Jahren Pilot- und Demonstrationsprojekte über alle Anwendungsbereiche hinweg ermöglicht und gefördert werden.

Substitutionswirkung von neuen Stromverbrauchern im Transformationsprozess

Der maximale Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung in Deutschland lag im Jahr 2012 bei 60 Prozent. Auftretende Überschüsse sind entweder regional auf Netzengpässe im Verteilnetz bei der Aufnahme des Stroms aus Windenergie- und PV-Anlagen oder auf Netzengpässe im Übertragungsnetz beim Transport von Nord nach Süd zurückzuführen. Diese Situationen sind auf relativ wenige Stunden beschränkt.^V Durch den kurz- und mittelfristig absehbaren Netzausbau ist tendenziell mit einer Verringerung von Engpasssituationen in den nächsten Jahren zu rechnen. Daher ist die Verfügbarkeit von regenerativem Überschussstrom für den Betrieb von PtG/PtL-Anlagen derzeit nicht gegeben.

In Deutschland würde eine zu frühe und zu intensive Integration von PtG/PtL-Anlagen – über das Maß von Demonstrations- und Pilotanlagen hinaus – zu einer stärkeren Auslastung fossiler (und bis 2022 auch aus nuklearer) Stromerzeugung und erhöhtem Ausstoß von Treibhausgasemissionen führen.

Die Beurteilung der Substitutionseffekte durch neue zusätzliche Verbraucher aller Anwendungsbereiche ist im hohen Maße vom Zeitpunkt der Stromnutzung abhängig. Damit ist nicht nur der Zeithorizont im Transformationsprozess gemeint, sondern auch der unmittelbare Zeitpunkt. Die wissenschaftliche Ermittlung der Treibhausgasminderungseffekte von zusätzlichen Stromverbrauchern ist komplex. Dabei sind auch die regulatorischen Rahmenbedingungen, u. a. die Wirkmechanismen des Emissionshandels, zu berücksichtigen.

Um falsche Vorstellungen des Minderungseffektes im Laufe des Transformationsprozess zu vermeiden, wird vereinfachend davon ausgegangen, dass aus-

^V Um diese Überschüsse im Transformationsprozess zu verringern, sollte vorrangig die Erzeugung aus konventionellen Kraftwerken sowie von Biomasseanlagen einschließlich der KWK-Anlagen flexibilisiert und der Bedarf an netztechnisch erforderlicher Mindesterzeugung aus konventionellen Kraftwerken gesenkt werden. Generell sollte die Stromnachfrage durch die Nutzung von Lastmanagement von vorhandenen Verbrauchern flexibilisiert werden.

schließlich regenerativer Strom genutzt wird. Damit können folgende Aussagen zur technikbezogenen Substitutionswirkung neuer Stromverbraucher getroffen werden (siehe Abbildung 4):

- Die Integration neuer zusätzlicher Verbraucher im Bereich Wärme mittels Power to Heat (indirekt – Wärmepumpen oder direktelektrisch) bietet das beste Substitutionsverhältnis^{VI}. Im Falle der Wärmepumpe können mit Hilfe 1 kWh regenerativen Stroms etwa 3,3 kWh Erdgas eingespart werden. Darüber hinaus besteht über PtH die Möglichkeit insbesondere die Großverbraucher in der Industrie im Rahmen von Lastmanagement einzubinden und damit die Integration der EE zu unterstützen.
- Im Bereich Verkehr wird das größte Substitutionsverhältnis durch die direkte Stromnutzung (Elektromobilität) erreicht. Auch hier können Synergieeffekte mit Hilfe von Lastmanagement zur Integration der EE genutzt werden. Dieses Potential ist jedoch auf einige Verkehrsträger begrenzt.
- Hinsichtlich PtG/PtL wird das größte Substitutionspotential aufgrund der energetischen Wirkungsgrade bei der Substitution der fossilen Wasserstoffherzeugung erreicht.
- Zur Erreichung der Klimaschutzziele, ist es sinnvoll Techniken mit hohem Substitutionspotential im Laufe des Transformationsprozesses^{VII} frühzeitiger in die Stromversorgung zu integrieren als Techniken mit geringerem Substitutionspotential.

Abbildung 4

Substitutionswirkung^{VIII} durch PtH, PtG und PtL^{IX}

| Nutzung regenerativer Strom | | | Substitution fossiler Bereitstellung | | | Substitutionsverhältnis | Kosten | | |
|-----------------------------|-----------------------|------------------|--------------------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|--------|-----------|--|
| regenerative Bereitstellung | Input | Technik | bereitgestellte End-/Nutzenergie | fossile Einsparung | Input (rund) | | | | |
| 1 kWh reg. Strom | PtH | Wärmepumpe | 3,3 kWh Wärme | 3,3 kWh Wärme | Brennwertkessel (105 %) | 3,14 Erdgas | 3,14 | mittel | |
| 1 kWh reg. Strom | PtH | direktelektrisch | 0,95 kWh Wärme | 0,95 kWh Wärme | Brennwertkessel (105 %) | 0,91 Erdgas | 0,91 | niedrig | |
| 1 kWh reg. Strom | PtG - H ₂ | stofflich | 0,74 kWh Wasserstoff | 0,74 kWh Wasserstoff | Dampfpreforming (85,2 %) | 0,87 Erdgas | 0,87 | hoch | |
| 1 kWh reg. Strom | PtG - CH ₄ | | 0,58 kWh Methan | 0,58 kWh Methan | | 0,58 Erdgas | 0,58 | sehr hoch | |
| 1 kWh reg. Strom | PtL | | 0,5 kWh fl. Kraftstoff | 0,5 kWh fl. Kraftstoff | | 0,5 fl. Kraftstoff | 0,5 | sehr hoch | |

Quelle: Umweltbundesamt 2016

Bei ganzheitlicher Analyse des Stromversorgungssystems ist unter den aktuellen Rahmenbedingungen für netzgekoppelte^X PtG/PtL-Anlagen in Deutschland davon auszugehen, dass diese zu einer höheren fossilen Stromerzeugung führen. Damit wäre das in PtG-Anlagen erzeugte Gas faktisch ein „Coal-to-Gas/Liquid“^{XI} oder „Gas-to-Gas/Liquid“^{XII} mit einem Wirkungsgrad weit unter 50 Prozent und würde eine mehrfach höhere CO₂-Emissionen als die direkte Nutzung von fossilem Erdgas verursachen. Derzeit planen Anla-

genbetreiber meist Börsenstrom zu nutzen und diesen mit dem Kauf von EE-Zertifikaten zu „veredeln“. Auf die Stromproduktion aus fossilen Kraftwerken hat dies allerdings keinen Effekt.

Um eine höhere fossile Stromerzeugung zu vermeiden und die Erreichung der Klimaschutzziele zu gewährleisten, sollten PtG/PtL-Anlagen zur Bereitstellung von Brenn-, Roh- und Kraftstoffen nur Strom aus zusätzlichen erneuerbaren Energieanlagen beziehen.

VI Als Substitutionsverhältnis wird das Verhältnis von eingesparter fossiler Energie zu eingesetztem regenerativem Strom zur Bereitstellung der gleichen Energiemenge bezeichnet. Zum besseren Verständnis ein einfaches Beispiel: zur Bereitstellung von 1 kWh flüssigem Kraftstoff werden grob 2 kWh regenerativer Strom gegenüber 1 kWh fossil benötigt. Das Substitutionsverhältnis liegt also bei 0,5.

VII Also auch schon bei geringerem EE-Anteil in der Stromerzeugung (unter 80 Prozent - grobe Näherung, Wert ist modelltechnisch nicht verifiziert).

VIII In grober Näherung.

IX Die Einordnung der Kosten basiert auf einer qualitativen Einschätzung von Investitionskosten pro installiertem kW.

X Anschluss ans Netz der Allgemeinen Versorgung.

XI Hierbei ist zu bemerken, dass die CO₂-Belastung bei der direkten Umwandlung von Kohle zu Gas ohne den Umweg der Stromerzeugung deutlich niedriger ist.

XII Bedeutet: Verstromung des Brennstoffes mit einer anschließenden Elektrolyse und Synthese.

Sollten PtG/PtL-Anlagen gefördert werden, muss sichergestellt sein, dass hierfür ein tatsächlicher zusätzlicher Ausbau erneuerbarer Energien erfolgt. Die EE-Ausbauziele müssten entsprechend angehoben werden.

Um unter den derzeitigen Rahmenbedingungen eine höhere fossile Stromerzeugung zu vermeiden, sollten geförderte PtG/PtL-Anlagen zur Bereitstellung von Brenn-, Roh- und Kraftstoffen nur durch zusätzliche erneuerbare Energieanlagen versorgt werden. Andernfalls würden die CO₂-Emissionen aus der Stromerzeugung steigen und die Erreichung der Klimaschutzziele wäre gefährdet.

Dies kann auch erreicht werden durch Nutzung nicht netzgekoppelter Anlagen. Zwar ist dann die effizienteste Nutzung (direkte Substitution von fossilen Energieträgern durch eine zusätzliche EE-Anlage) für diese EE-Anlagen nicht mehr gegeben, die PtG/PtL-Anlage verursacht dann jedoch keine zusätzliche fossile Stromerzeugung. Für die Wirtschaftlichkeit der PtG-Anlage ist eine hohe Auslastung entscheidend. Allerdings können entsprechend konzipierte Schwachwindanlagen in Norddeutschland auch ca. 4.000 Vollaststunden erreichen. An guten Standorten können nichtnetzgekoppelte Anlagen wirtschaftlicher sein als netzgekoppelte Anlagen, da Kosten für den Netzanschluss, die Netznutzungsentgelte sowie die EEG-Umlage entfallen. Zudem können ausländische Standorte genutzt werden, an denen sich deutlich höhere Erträge bzw. diese mit niedrigeren Kosten als in Deutschland erzielen lassen.

Mittel- und Langfristig ist selbstverständlich eine gemeinsam genutzte Infrastruktur fundamental. Hierfür sind entsprechende politische Weichenstellungen notwendig, die die neuen Stromverbraucher berücksichtigen und damit gewährleisten, dass auch andere Anwendungsbereiche mit regenerativem Strom klimafreundlicher ausgebaut werden können.

Perspektivisch halten wir es für notwendig, die EE-Ausbauziele nicht ausschließlich unter Berücksichtigung des bisherigen klassischen Strombereiches festzulegen. Es ist eine Anpassung notwendig, die neue Stromverbraucher im Sinne einer volkswirtschaftlich sinnvollen und klimafreundlichen Ausgestaltung des Transformationsprozesses über alle Anwendungsgebiete hinweg besser integriert.

Kohlenstoffquelle für PtG/PtL-Anlagen

Bei der Bereitstellung von strombasiertem regenerativem Methan/Methanol und höheren Kohlenwasserstoffen ist eine Kohlenstoffquelle notwendig.

Es stehen verschiedenen Kohlenstoffquellen zur Verfügung:

- ▶ Zum einen kann biogenes CO₂ aus regenerativen Prozessen genutzt werden, etwa durch Kopplung mit Biogasanlagen. Die aus Umweltgründen auf Rest- und Abfallstoffe auszurichtende energetische Biomassenutzung kann mittel- und langfristig die Verfügbarkeit von biogenem CO₂ stark einschränken.⁹
- ▶ Zum anderen die Nutzung von CO₂ aus fossilen Verbrennungsprozessen oder Industrieprozessen. Dieses CO₂ ist weder regenerativ erzeugt noch treibhausgasneutral, es würde aber zumindest doppelt genutzt werden. Die CO₂-Quelle bzw. der Anteil von CO₂ im Trägergasstrom von z. B. Rauchgas beeinflusst wesentlich die energetischen Aufwendungen und damit die Gesamteffizienz sowie die anfallenden Kosten. Die Kombination mit fossilen Kraftwerken oder industriellen Prozessen als CO₂-Quelle ist eine aus technischer Sicht sinnvolle Option und im Transformationsprozess unter Umständen eine zur Entwicklung der PtG/PtL-Technik effektive Kombination. Die technisch sinnvolle Nutzung von CO₂ aus fossilen Quellen darf jedoch keine Pfadabhängigkeit suggerieren, eine höhere Auslastung fossiler Stromerzeugung begründen und damit das Erreichen der Klimaschutzziele gefährden. Energetisch vorteilhaft ist die Nutzung von Oxyfuelverfahren (Verbrennung mit reinem Sauerstoff), die in Deutschland in manchen Industriebranchenprozessen eingesetzt werden. Bei der Verbrennung entsteht fast reines CO₂, das die Aufbereitung des Abgasstromes weniger aufwändig macht als bei der Verbrennung mit Luftsauerstoff.
- ▶ Auch die Atmosphäre kann als mögliche CO₂-Quelle dienen. Der hierfür notwendige Energiebedarf muss dabei in die Gesamtbilanz eingerechnet werden. So ist zum Beispiel im Vergleich zur CO₂-Abscheidung aus Abgasen von Oxyfuelverbrennungsprozessen ein Mehrfaches an Energie notwendig.

Generell empfehlen wir, regenerative CO₂-Ströme aus stationären Verbrennungen mit PtG/PtL-Anlagen zu verknüpfen. Da allerdings die Produktion und der Verbrauch von Methan üblicherweise örtlich getrennt sind und weiterhin ein großer Anteil davon im Verkehr verbraucht wird (diffuse, nichtstationäre Quellen), ist dieses Ziel in der Praxis nur schwierig erreichbar. Langfristig ist davon auszugehen, dass – auch bei Realisierung oben genannter CO₂-Rückführung aus Verbrennungsprozessen – nur über Luftzerlegung aus der Atmosphäre ausreichend CO₂

bereitgestellt und der Kohlenstoffkreislauf geschlossen werden kann.

In diesem Zusammenhang wird auf den Vorteil der direkten Nutzung von Wasserstoff hingewiesen: auf eine CO₂-Quelle und die damit verbundenen zusätzlichen Energieverbräuche kann verzichtet werden. Der Strombedarf für seine Erzeugung ist deutlich geringer als für Methan oder flüssige Kraftstoffe. Daher ist es sinnvoll in einigen Anwendungsbereichen, verstärkt Wasserstoff direkt als Energieträger einzusetzen.

7 Empfehlungen für die nächsten Jahre

Wir empfehlen, für die Erreichung der Klimaschutzziele Techniken mit hohem Substitutionspotential im Laufe des Transformationsprozesses^{XIII} frühzeitiger in die Stromversorgung zu integrieren als Techniken mit geringerem Substitutionspotential (siehe Abschnitt Substitutionswirkung von neuen Stromverbrauchern im Transformationsprozess, S.13 ff).

Um eine nahezu treibhausgasneutrale Volkswirtschaft zu realisieren ist es notwendig, PtG/PtL sektorübergreifend verfügbar und wettbewerbsfähig zu machen. Hierfür werden schon in den nächsten Jahren Pilot- und Demonstrationsanlagen gebraucht, um Lernkurveneffekte zu erzielen, Wissenstransfer zu gewährleisten und die erforderliche technische Weiterentwicklung anzuregen.

Entsprechend empfehlen wir, in den nächsten Jahren die Forschung und Weiterentwicklung der Technik voranzutreiben. Hierzu sind innovative Pilotprojekte und Demonstrationsanlagen im energiewirtschaftlichen Maßstab für alle Anwendungsbereiche von PtG/PtL notwendig. Neben der PtG/PtL-Anlagentechnik sollten auch die verschiedenen Anwendungsbereiche weiter beforscht und entwickelt werden.

Die Förderung sollte in den nächsten Jahren auf Demonstrationsvorhaben von zusätzlicher erneuerbar erzeugter Energie gespeisten Anlagen auf eine deutschlandweit installierte Leistung von insgesamt bis zu 500 MW beschränkt bleiben. Eine zu starke inländische Konkurrenz bei der Erschließung günstiger EE-Standorte für direkte Stromnutzung wird dadurch

vermieden. Aus Umwelt- und Klimaschutzgründen sollten weitere Förderkriterien vorgegeben werden. Strom sollte nur aus erneuerbaren Energiequellen bezogen und durch PtG/PtL-Anlagen keine zusätzliche fossile Stromerzeugung verursacht werden (siehe Absatz Substitutionswirkung von neuen Stromverbrauchern im Transformationsprozess, S.13 ff).

Darüber hinaus sollten weitere Förderbedingungen formuliert werden, die sich auf die Verknüpfung von Stoff- und Energieströmen mit der Industrie, die Steigerung von Effizienz, die Flexibilisierung von einzelnen Anlagenteilen oder die Verbindung mit diversen Anwendungstechniken beziehen.

Ein entscheidender Vorteil von Energieträgern, die über Elektrolyse und weitere Synthesen erzeugt wurden gegenüber Strom ist, dass sie besser speicherbar und leichter zu transportieren sind. Daher ist es sinnvoll, hierfür vor allem an günstigen EE-Standorten im Ausland Erzeugungskapazitäten in einem Umfang aufzubauen, der es z. B. ermöglicht, den Verkehrssektor (insbesondere den See- und Flugverkehr)^{XIV} zu dekarbonisieren.

Eine umfassende und über Demonstrationsanlagen hinausgehende Förderung inländischer PtG/PtL-Anlagen ist wegen vergleichsweise teurer EE-Potentiale in Deutschland derzeit nicht zielführend. Vielmehr betonen wir, dass gegenüber Deutschland bereits heute Regionen im Ausland mit sehr hohem Anteil regenerativer Energien an der Stromversorgung existieren. Besonders bei einer erweiterten Betrachtung

XIII Also auch schon bei geringerem EE-Anteil in der Stromerzeugung (unter 80 Prozent - grobe Näherung, Wert ist modelltechnisch nicht verifiziert

XIV Siehe auch UBA (2015): „Klimaschutzbeitrag des Verkehrs – Notwendigkeit und Realisierungsoptionen einer regenerativen Energieversorgung im Verkehr“, Dessau-Roßlau.

globaler Wirtschaftsnetzungen und internationaler Energiestrategien sind diese Standorte besonders geeignet, zeitnah eigene PtG/PtL-Kapazitäten aufzubauen.

Die deutsche Förderpolitik sollte dem Rechnung tragen und durch einen gezielten Einsatz von Fördermitteln für Forschung und Entwicklung sowie der Förderung von Demonstrationsanlagen Lernpotentiale vor allem im Bereich *Learning-by-doing* und *Learning-by-using* adressieren.^{XV}

Es sind internationale Strategien zur Umstrukturierung der Energieversorgung zu entwickeln, um den globalen Herausforderungen zum Klimawandel entgegen zu treten. Dabei kann auch PtG/PtL eine zentrale Rolle für die regenerative globale Versorgung von Brenn-, Kraft- und Rohstoffen und für einen internationalen regenerativen Energiemarkt darstellen.

Schrittweise Integration in bestehende Strukturen

Um sektorale mittelfristige Klimaschutzziele konsequent zu erreichen und parallel dazu einzelne Wirtschaftsbereiche weiter zu entwickeln, kann eine erhöhte Nachfrage an regenerativen strombasierten Brenn-, Roh- und Kraftstoffen entstehen. Dies betrifft insbesondere den Verkehr und die chemische Industrie. So hat sich zum Beispiel die International Civil Aviation Organisation (ICAO) das Ziel gesetzt, den zusätzlichen Energiebedarf des wachsenden Flugverkehrs ab 2020 treibhausgasneutral zu gestalten. Derzeit verfolgt die ICAO für das global prognostizierte Wachstum des Flugverkehrs als wesentliche Strategie neben einer globalen marktbasieren Maßnahme den Einsatz von Biokraftstoffen aus Anbaubiomasse. Dies lehnen wir aus klima- und umweltpolitischen Gründen ab. Damit besteht in diesem Bereich dringender Handlungsbedarf. Unseres Erachtens kann die PtL-Technik als prinzipielle Alternative hierzu für den Zeithorizont 2020 jedoch nur einen kleinen Beitrag leisten.

Wir halten es generell für notwendig, der ganzheitlichen langfristigen Bedeutung der PtG/PtL-Technik gerecht zu werden. Wir schlagen vor, bei der Integration von PtG mit der Substitution der fossilen Wasserstoffwirtschaft zu beginnen, ggf. mit einer zeitnahen

Fokussierung der Substitution fossiler Wasserstoffwirtschaft in der Petrochemie.

Für die kurz- und mittelfristige Minderung der Treibhausgasemissionen von Kraftstoffen, insbesondere Emissionen die bei der Kraftstoffherstellung anfallen, sollten auch die Potentiale jetziger Techniken in Verbindung mit PtG/PtL berücksichtigt werden. Das bedeutet konkret, dass bei der speziellen Integration von PtG/PtL im Verkehrsbereich insbesondere die Petrochemie konzeptionell zu berücksichtigen ist. Hier ist im besonderen Maße die Integration von PtG gegeben. Bei nahezu jedem Raffinerieprozess besteht Bedarf an Wasserstoff. Dieser wird sowohl zur Entschwefelung der einzelnen Fraktionen (Kerosin, Diesel und Benzin), als auch zum Hydrocracken – also Aufspalten von langkettigen Kohlenwasserstoffen (z. B. Wachse) in kürzerkettige Kohlenwasserstoffe (z. B. Kerosin) – benötigt.

Bei der kurzfristigen Integration von PtG überwiegen Vorteile der direkten Substitution fossilen Wasserstoffs in der chemischen Industrie (also auch Petrochemie). Hier können effektive Minderungsbeiträge technisch leicht erschlossen werden. Die existierende Gasinfrastruktur sowie seit Jahrzehnten vorhandenes Know-how im Umgang mit dem Medium bilden dafür eine solide Ausgangsbasis. Aus der verstärkten Nutzung dieser Technik im Transformationsprozess ergebend sich Synergie- und Lerneffekte, die eine Weiterentwicklung und breite Anwendung von PtG/PtL unterstützen. Unter der Voraussetzung der ausschließlichen Nutzung von regenerativem Strom könnten mit aktuellem Stand der Technik ca. 5,8 Mio. Tonnen CO₂ pro Jahr in Deutschland eingespart werden.¹⁰

Bei der schrittweisen Integration der regenerativen Wasserstoffherzeugung in bestehende Strukturen kann nur ein Anteil der Treibhausgasemissionen der Kraftstoffbereitstellung substituiert werden. Entsprechend der UN-Regeln zur internationalen Klimaberichterstattung würden diese Minderungen der Quellgruppe Industrieprozesse zugeordnet. Bei der im Verkehr fachlich sinnvollen integrierten Betrachtung der Potentiale (Well-to-Wheel) würden damit die Minderungen bei der Kraftstoffherstellung berücksichtigt werden. Konkret bedeutet das, dass durch die

XV Für eine ausführliche Diskussion zu Lernkurveneffekten vergleiche (PIK 2012) Kosten des Ausbaus erneuerbarer Energien: Eine Metaanalyse von Szenarien.

Nutzung von regenerativ erzeugtem Wasserstoff die Treibhausgasemissionen der Kraftstoffe also auch der Flugtreibstoffe reduziert werden.

Um zu verhindern, dass Anbaubiomasse mittelfristig im Flugverkehr genutzt wird ist es notwendig Pilot- und Demonstrationsvorhaben zu fördern, eine Markteinführung der PtL-Technik zu ermöglichen und die langfristige Verfügbarkeit der Technik zur treibhausgasneutralen Gesamtversorgung des Flugverkehrs zu gewährleisten. Auch hier wäre in einem ersten Schritt die Beimischung zum fossilen Flugtreibstoff realisierbar.

Darüber hinaus halten wir es im Verkehrsbereich für notwendig, – wo immer möglich – den regenerativ erzeugten Strom direkt zu nutzen (z. B. Elektromobilität, Oberleitungs-Lkw), da dies der energieeffizienteste und ökonomischste Weg darstellt. Ebenso sollten auch bestehende Antriebstechniken optimiert und die PtL-Technik selbst für spezifische verkehrsbezogene Anwendungen wie den Flugverkehr erschlossen werden. Häufig fehlen je nach Katalysatormaterial beispielsweise aromatische Verbindungen im PtL-Kraftstoff. Damit ist dieser derzeit als vollständiges Substitut für Diesel einsetzbar, nicht jedoch für Benzin oder Kerosin.^{XVI} Hier ist es mittelfristig notwendig, entweder auf Verkehrsträgerseite die Turbinen technisch weiter zu entwickeln und zu optimieren, oder die PtL-Technik anzupassen.

Wir empfehlen, die bestehenden Klimaschutzinstrumente und rechtlichen Rahmenbedingungen so weiterzuentwickeln, dass die PtG/PtL-Technik mittel- und langfristig sicher integriert werden kann. Dazu gehören beispielsweise weitere Schritte zur Reform und Weiterentwicklung des Emissionshandels, um seine Anreizwirkung zur Emissionsminderung weiter zu stärken, oder die Einbeziehung der national verursachten Anteile an internationalen Verkehrsströmen in die internationalen Klimaverhandlungen und Berichterstattungen.

Für eine zielführende und umfassende Klimaschutzstrategie im Verkehrsbereich sollten zusätzlich zur Elektromobilität strombasierte Kraftstoffe bei verkehrspolitischen Instrumenten und rechtlichen Rahmenbedingungen stärker berücksichtigt werden.

Wegen der ansteigenden Nutzungskonkurrenz und eingeschränkten Flächenverfügbarkeit für Biomasseanbau sollte langfristig keine Beschränkung auf Biokraftstoffe erfolgen, sondern die direkte Nutzung von erneuerbarem Strom und PtG/PtL-Kraftstoffen integriert werden. Weiterhin gehört dazu z. B. eine aus systemischer Sichtweise zielführende Mehrfachanrechnung von Elektromobilität und PtG/PtL in den europäischen und nationalen Richtlinien oder entsprechend zweckmäßige Berücksichtigung bei der Festlegung von Flottengrenzwerten. Für Industrie- prozesse sind entsprechende Normen und Standards weiter zu entwickeln.

Die bereits national bestehende Unterscheidung von PtG-Anlagen als Speicherlösung (bei Rückverstromung) und als Stromverbraucher zur Bereitstellung von Brenn-, Roh- und Kraftstoffen (ohne Rückverstromung) sollte beibehalten werden.

PtG-Anlagen konkurrieren als Speicherlösung mit anderen Speichersystemen und Lastmanagement. Eine Weiterentwicklung der rechtlichen Rahmenbedingungen für Steuern und Umlagen sollte dem Rechnung tragen und einen Wettbewerb um die aus ökologischer und volkswirtschaftlicher Sicht günstigsten Speichersysteme ermöglichen. Angesichts der sektorübergreifenden Herausforderung und der Konkurrenz zu anderen Stromspeichersystemen müssen die verschiedenen Instrumente dabei sachgerecht aufeinander abgestimmt sein.

Um ineffiziente Anreize mit Marktverzerrungen bei der Erschließung von Flexibilitäten (für die Integration der EE) im Strommarkt zu vermeiden, sollten PtG/PtL-Anlagen zur Bereitstellung von Brenn-, Roh- und Kraftstoffen bei den Netzentgelten und der EEG-Umlage gleichbehandelt werden mit PtH-Anlagen und industriellem Lastmanagement. Diese übernehmen im Gesamtsystem die gleiche Funktion und sind bei Analyse ihrer Bedeutung im Energiesystem sogar effizienter.

Die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen der PtG- und PtL-Technik sind weiterzuentwickeln. Dazu müssen die Rahmenbedingungen des Energiesystems insgesamt in den Blick genommen werden. Die vorliegenden Handlungsempfehlungen betreffen die

XVI Nach dem aktuellen weltweit gültigen Kraftstoffstandard (ASTM) sind im Flugverkehr ohne Anpassungen der Turbinen nur Kraftstoffe zugelassen, die einen maximalen Anteil an Fischer-Tropsch-Kerosin von 50 Prozent enthalten.

nächsten Jahre und müssen weiterentwickelt werden. So ist z. B. auch zu überlegen, in welchem Maße die strombasierten Energieträger steuerlich belastet werden sollen. Das übergreifende Ziel dabei muss es sein, eine möglichst effiziente Sektorkopplung zu erreichen und Fehlanreize zu vermeiden.

Forschungsbedarf

PtG und PtL stehen erst am Beginn ihrer Entwicklung. Derzeit sind in Deutschland mehrere Demonstrationsanlagen in Bau und in Betrieb. In Island wird bereits eine Power to Liquid-Anlage zur Erzeugung von Methanol kommerziell betrieben. Kommerzielle Anlagen für die Erzeugung längererkettiger Kohlenwasserstoffe gibt es derzeit in Deutschland noch nicht.

Bis zum großtechnischen Markteinsatz der PtG-/PtL-Technik bestehen noch erhebliche Forschungsfragen und Entwicklungsbedarf, die/der in den nächsten Jahren bearbeitet werden sollte/n:

- ▶ Was sind die Folgen der durch PtG/PtL zunehmenden Verknüpfung der Energiemärkte und die daraus resultierenden Wechselwirkungen im Hinblick auf die klimaschonende Integration, sektorale Klimaschutzziele sowie ökonomische Aspekte und juristischen Herausforderungen?
- ▶ Wie ist die weltweite Entwicklung und was sind die Auswirkungen unterschiedlicher energiepolitischer Klimaschutzoptionen? Dazu gehören auch die sozialen und entwicklungspolitischen Auswirkungen der Nutzung von PtG/PtL in Ländern mit günstigen EE-Potenzialen.
- ▶ Wie entwickeln sich die Kosten von PtG und PtL bei verschiedenen weltweiten energiepolitischen Entwicklungen und Bedarfen?
- ▶ Wie sollten die staatlichen oder staatlich bestimmten Abgaben für eine klimafreundliche und systemdienliche Integration neuer Stromverbraucher entwickelt und umgestaltet werden?
- ▶ Welche weiteren Umwelteffekte sind mit der Nutzung der PtG/PtL-Technik verbunden (z. B. Verbrauch von Wasser, seltenen Erden)?
- ▶ Technische Entwicklung sind vor allem in folgenden Bereichen notwendig:
 - Anpassung an die fluktuierende Einspeisung der erneuerbaren Energien und Verfügbarkeit neuer effizienter Techniken (PEM^{XVII}, HTELX^{VIII});
 - Identifizierung, Verfügbarkeit und Erschließung geeigneter CO₂-Quellen;
 - Identifikation neuer, preiswerterer Katalysatoren unter Berücksichtigung von Ressourcenverfügbarkeit;
 - Energetische und wirtschaftliche Optimierung der CO₂-Abtrennung aus Luft.
- ▶ Wie entwickeln sich perspektivisch weitere Synthesen zur Bereitstellung regenerativer Brenn-, Roh- und Kraftstoffe? Zum Beispiel alternative Verfahren zur Bereitstellung erneuerbaren Wasserstoffs, etwa die lichtinduzierte Wasserspaltung.
- ▶ Welche Einsatzmöglichkeiten für Wasserstoff als Endenergieträger bestehen in den verschiedenen Anwendungsbereichen (Strom-, Wärme-, und Kraftstoffversorgung) sowie beim Transport im Gasnetz und welche technischen Anpassungen sind erforderlich?
- ▶ Es besteht erheblicher Forschungsbedarf bei der Umstellung auf eine strombasierte und gasbasierte regenerative Wärmeversorgung in der Industrie. Dies gilt insbesondere bei Prozessen, bei denen Kohlenstoffträger notwendig sind. Auf Grund der langen Investitionszyklen in der Industrie ist dies von hoher Dringlichkeit.

XVII proton exchange membrane oder polymer electrolyte membrane.
XVIII Hochtemperaturelektrolyse.

8 Fazit

Um die bestehenden langfristigen deutschen Klimaschutzziele (Reduktion der Treibhausgase um 95 Prozent gegenüber 1990) sicher zu erreichen ist es notwendig, die gesamte Energieversorgung (Strom, Wärme, Kraftstoff) nachhaltig, umweltschonend und nahezu treibhausgasneutral zu gestalten. Die direkte und indirekte Nutzung von regenerativem Strom mit Hilfe von Power to Heat, Power to Gas, Power to Liquid und Elektromobilität als zentrale Techniken bieten diese Lösungsmöglichkeit. Im Transformationsprozess sind mit der Integration neuer zusätzlicher Verbraucher jedoch enorme Herausforderungen verbunden. Dies betrifft sowohl eine klimafreundliche Integration, die Gewährleistung der technischen Verfügbarkeit, die Auswirkungen auf den Strommarkt und auch die regulatorischen Rahmenbedingungen.



Wir halten es für richtig und notwendig, PtG/PtL in Form von Pilotprojekten und Demonstrationsvorhaben in Deutschland zu fördern. Die Förderung sollte in den nächsten Jahren auf eine deutschlandweit installierte Leistung von insgesamt bis zu 500 MW beschränkt bleiben. Dabei muss jedoch gewährleistet werden, dass PtG/PtL-Anlagen nicht zu einer erhöhten fossilen Stromerzeugung führen und nur Strom aus zusätzlichen erneuerbaren Energieanlagen beziehen. Anderenfalls würden die CO₂-Emissionen aus der Stromerzeugung steigen und die Erreichung der Klimaschutzziele wäre gefährdet.

Wir halten es weiterhin für zwingend erforderlich, dass die Zielvorgaben an die neuen Stromverbraucher und den damit verbundenen Möglichkeiten andere Anwendungsbereiche regenerativ zu versorgen, angepasst werden. Dies bedeutet konkret, dass die nationalen EE-Ausbauziele anzupassen sind, das Stromeinsparziel hinsichtlich der klassischen Stromverbraucher zu konkretisieren ist und die übergreifenden (auch europäischen und internationalen) Klimaschutzinstrumente und Rahmenbedingungen weiter zu entwickeln sind, damit die Integration der neuen Stromverbraucher und insbesondere PtG/PtL gewährleistet werden kann.

- 1 UBA (2014): „Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050“; Dessau-Roßlau
- 2 UBA (2013): „Globale Landflächen und Biomasse nachhaltig und ressourcenschonend nutzen“ ; Dessau-Roßlau
- 3 BMWi (2012): Bericht der AG 3 Interaktion an den Steuerungskreis der Plattform Erneuerbare Energien, die Bundeskanzlerin und die Ministerpräsidentinnen und Ministerpräsidenten der Länder; Stand: 15.10.2012
- 4 UBA (2014): „Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050“; Dessau-Roßlau
- 5 2009/28/EG
- 6 2009/30/EG
- 7 UBA (2015): „Klimaschutzbeitrag des Verkehrs – Notwendigkeit und Realisierungsoptionen einer regenerativen Energieversorgung im Verkehr“, Dessau-Roßlau
- 8 DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH, Henel, M. (2012): Ergebnisse des DVGW-Projektes Energiespeicherkonzepte (G1-07-10), DBI Fachforum Energiespeicher-Hybridnetze, Vortrag, 12.09.2012, Berlin sowie DVGW (2013): Entwicklung von modularen Konzepten zur Erzeugung, Speicherung und Einspeisung von Wasserstoff und Methan ins Erdgasnetz; Bonn
- 9 UBA (2013): „Globale Landflächen und Biomasse nachhaltig und ressourcenschonend nutzen“ ; Dessau-Roßlau
- 10 UBA (2016): Climate Change 08/2016 „Klimaschutz und regenerativ erzeugte chemische Energieträger – Infrastruktur und Systemanpassung zur Versorgung mit regenerativen chemischen Energieträgern aus in- und ausländischen regenerativen Energien“; Dessau-Roßlau



► **Diese Broschüre als Download**
bit.ly/1p7s5Gj

 www.facebook.com/umweltbundesamt.de
 www.twitter.com/umweltbundesamt