

# Power-to-Gas – Perspektiven einer jungen Technologie

Martin Thema, Michael Sterner, Forschungsstelle für Energienetze und Energiespeicher (FENES) Technische Hochschule Regensburg

## Abstract

Deutschland, Energiewende. Während der letzten Jahrzehnte stieg der Anteil erneuerbarer Energien an der deutschen Stromversorgung stark an. Zukünftig werden dabei Wind und Photovoltaik eine tragende Rolle übernehmen. Auf der einen Seite haben sie das größte Potential unter allen erneuerbaren Energien, weisen auf der anderen aber die stärksten Schwankungen und Wetterabhängigkeiten auf. Wind und Photovoltaik werden somit alleine nicht in der Lage sein, den heutigen hohen Standard an Versorgungssicherheit aufrecht zu erhalten. Neben flexiblen Kraftwerken wie Gaskraftwerken, Lastmanagement und Netzausbau, stellt die Speicherung von Energie einen integralen Bestandteil zum Erhalt dieser Versorgungssicherheit dar. Power-to-Gas ist aufgrund größter verfügbarer Kapazität eine der vielversprechendsten Technologien.

Um die Rolle dieser energietechnisch neuen Technologie aufzuzeigen, beschreibt das vorliegende Paper den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik zu Power-to-Gas. Der Fokus liegt dabei auf dem Überblick über aktuelle Pilot- und Demonstrationsprojekte sowie deren technische Details und Projektziele. Weiter wird die Technologie im Kontext des allgemeinen deutschen Speicherbedarfs anhand verschiedener Studien eingeordnet. Ein Aus- und Rückblick auf installierte Anlagenkapazitäten wird gegeben. So sollen Potentiale und Perspektiven von Power-to-Gas aufgezeigt werden.

Durch die Kopplung der Energienetze und Systeme in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr kann PtG zu einer Stabilisierung der Energieversorgung beitragen und andere Problemfelder der Energieversorgung wie bspw. die Tank-Teller-Problematik von Biokraftstoffen entschärfen. Dieses Paper analysiert die bisherige Einführung von Power-to-Gas und gibt einen Ausblick auf mögliche künftige Entwicklungen.

## Ausgangslage Energiewende: Wind- und Solarenergie brauchen Stützen

Die energiebedingten weltweiten Emissionen steigen seit der industriellen Revolution mit exponentieller Tendenz unaufhörlich an. Lediglich etwa 16 Prozent der weltweit genutzten Energie entstammt erneuerbaren Quellen. Davon wiederum entfällt ein Großteil auf außerhalb der Industrienationen genutztes Brennholz. Weit über drei Viertel der weltweit eingesetzten Energieträger sind fossiler Natur (Abbildung 1).

Dies war nicht schon immer so. Das fossile Zeitalter ist, erdgeschichtlich betrachtet, ein minimales Zeitfenster, in dem ein verhältnismäßig kleiner Teil der Menschheit auf fossile (unterirdische) Energiequellen wie Kohle, Erdöl und Erdgas zurückgreift. Jahrtausendlang zuvor nutzten sie die Kraft von Wind, Wasser, Sonne und Biomasse, wie Abbildung 2 bildhaft darstellt. Aufgrund zur Neige gehender fossiler Ressourcen sowie Klima- und Umweltauswirkungen wird sich der heute beginnende Trend zurück zu diesen ursprünglichen Energiequellen in Zukunft weiter verstärken. Die Energiewende, die eigentlich keine Wende, sondern eine Rückkehr ist, kann unter Einsatz moderner erneuerbarer Energienutzung und Energieeffizienzsteigerungen bewerkstelligt werden.

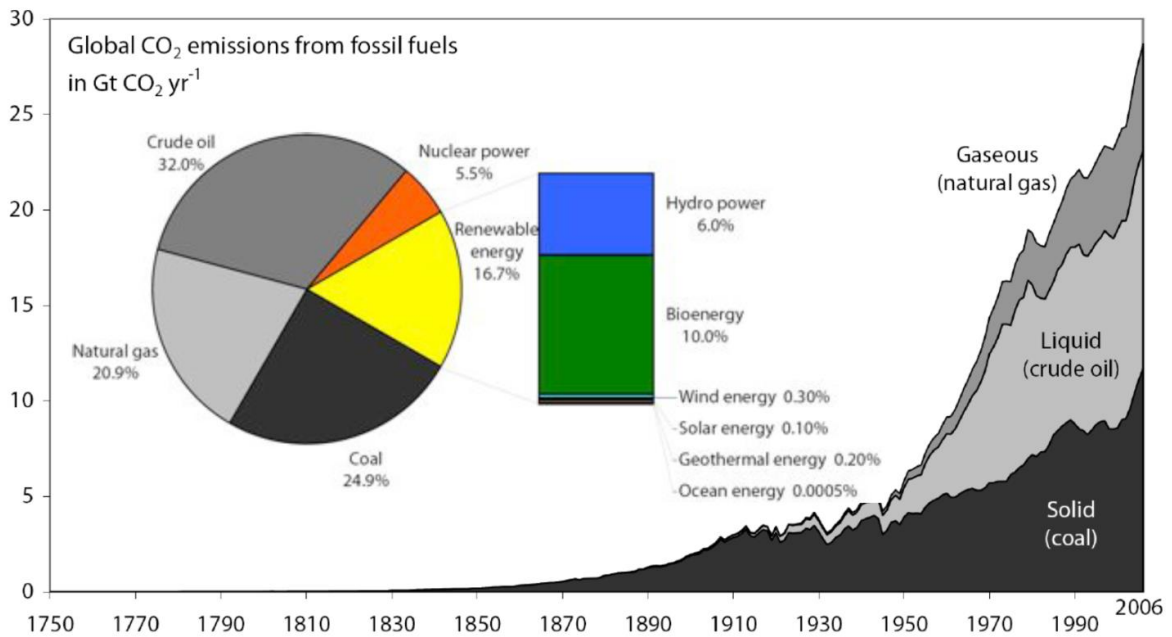


Abbildung 1: Globale Emissionen aus fossilen Energieträgern und Aufschlüsselung der weltweiten Energieproduktion [10]

### Vereinfachte Darstellung aller fossiler Quellen

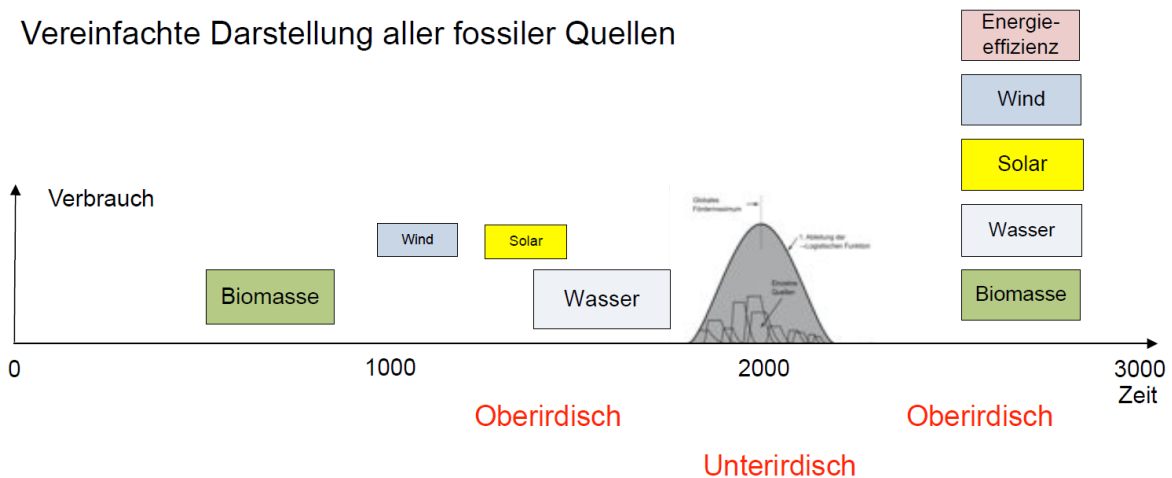


Abbildung 2: Entwicklung der Energieversorgung der Menschheit, vereinfachte Darstellung aller fossilen Quellen [10]

Windkraft und Solarenergie (Photovoltaik und Concentrated Solar Power) weisen das global bei weitem größte technische Potential auf (Abbildung 3) und werden für die Energiewende Leittechnologien. Technologien und Energiemarktdesign sollten also primär auf Anforderungen und Eigenschaften von Wind- und Solarkraft ausgerichtet werden.

Die größte Herausforderung in diesem Zusammenhang besteht in der meteorologischen Abhängigkeit ihres Energiedargebots. Solarenergie und Windkraft alleine werden trotz ihres großen Potentials eine stabile Wende alleine nicht bewerkstelligen können.

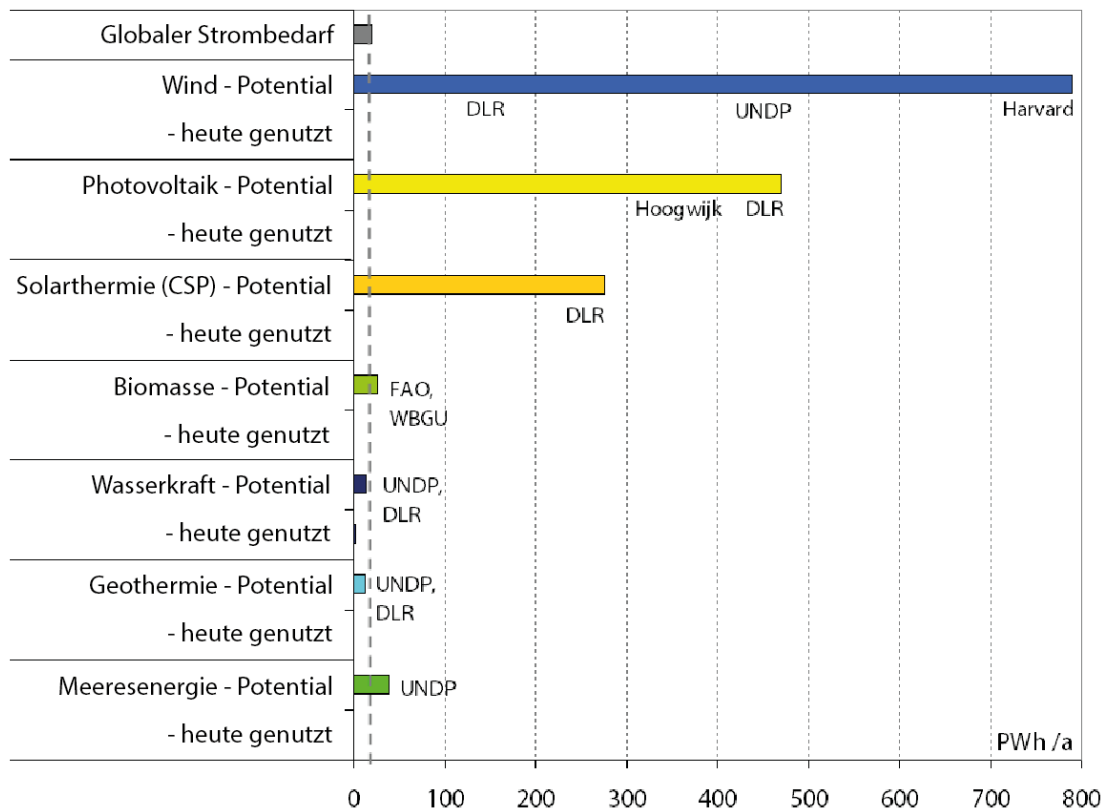


Abbildung 3: Globales technisches Potential erneuerbarer Energien; Quelle: IWES 2011, FNR 2011, DESTATIS 2011

In Deutschland kann bis heute nach wie vor trotz Energiewende und abgeschalteter Atomkraftwerke ein hoher Standard an Versorgungssicherheit gehalten werden. Für den Erhalt der im internationalen Vergleich sehr geringen Stromausfallzeiten von lediglich etwa 15 Minuten pro Jahr, müssen jedoch mittelfristig Maßnahmen ergriffen werden [1].

Versorgungssicherheit wird in der Energietechnik grundsätzlich auf zwei Ebenen sichergestellt: aus volkswirtschaftlich-strategischer Sicht mit der Bereitstellung von *Energie* sowie aus technischer Sicht mit der Bereitstellung von (gesicherter) *Leistung*.

Um diese Versorgungssicherheit technisch zu gewährleisten und einen Ausgleich zwischen intermittierender Einspeisung aus regenerativen Quellen einerseits und den Verbrauchern andererseits zu schaffen, werden in Zukunft verschiedene Ausgleichsmaßnahmen benötigt:

- *Flexible Kraftwerke*, insbesondere erdgas- und biogasbetrieben sowie Kraft-Wärme-Koppelung (KWK) schaffen auf der Erzeugerseite Möglichkeiten, steile Leistungsgradienten der erneuerbaren Energien (EE) abzufahren. Durch geringere must-run Kapazität werden so zeitgleich mehr Raum für EE im Stromnetz geschaffen und die Emissionen gesenkt.
- *Flexible Verbraucher* (Demand Side Management DSM, Smart Grid, Lastmanagement) bieten das Potential, ihre Energie genau dann zu beziehen, wenn es systemtechnisch am sinnvollsten ist um bspw. Netzengpässe zu entschärfen oder Überschüsse aus EE aufzunehmen.
- *Stromnetze* werden *aus- und umgebaut*, um den neuen Anforderungen gerecht werden zu können. Zum einen hat sich das Lastflussbild von starrer Verteilung aus zentralen Erzeugungsanlagen hin zu bidirektionalen Lastflüssen auf allen Netzebenen infolge erneuerbarer Einspeisung geändert. Zum anderen müssen regionale Technologie-schwerpunkte ausgeglichen werden. So überwiegen in

Süddeutschland Wasserkraft- und Photovoltaikeinspeisung während im Norden nicht zuletzt aufgrund der Offshore-Nutzung die Windkraft dominiert.

- Insbesondere ab höheren Anteilen erneuerbarer Energien von 40 bis 70 Prozent an der Stromerzeugung, werden *Stromspeicher* trotz Netzausbau eine weitere tragende Rolle übernehmen ([2, 3] und Abbildung 4). Regelenergie und der Bedarf an Kurzzeitspeichern mit Speicherung bis zu wenigen Tagen wird voraussichtlich über Pumpspeicher und Batterien gedeckt werden können. Für den saisonalen Ausgleich der Erzeugung (Langzeitspeicherbedarf) könnten norwegische Pumpspeicher aber auch das Gasnetz eingesetzt werden. An dieser Stelle setzt Power-to-Gas (PtG) an: Kurzfristig fluktuierend zur Verfügung stehende elektrische Energie aus Wind und Sonne wird in chemische Energie gewandelt und im Gasnetz zwischengespeichert. Dort steht sie allen Sektoren (Stromerzeugung in flexiblen Kraftwerken, Wärmemarkt und Mobilität) zur Verfügung und kann versorgungstechnisch mehrere Monate überbrücken.

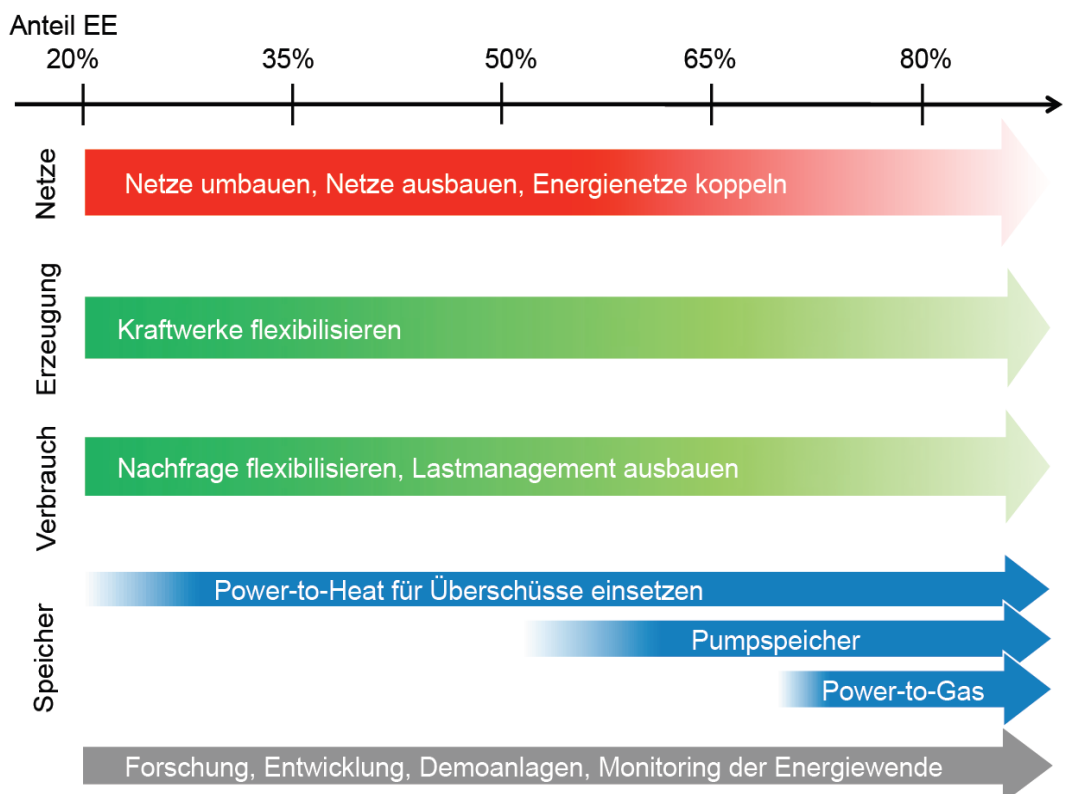


Abbildung 4: Handlungsfeld der Stromerzeugung bezogen auf den Anteil erneuerbarer Energien; Quelle: Sterner 2012

Die technische Umsetzbarkeit dieser Maßnahmen wird dabei nicht zum limitierenden Faktor. Vor allem im Speicherbereich und bei flexiblen Kraftwerken schränkt die Wirtschaftlichkeit den Handlungsspielraum heute noch stark ein. Die größte Hürde ist aber mit der gesellschaftlichen Akzeptanz zu nehmen (Abbildung 5). Netzausbau (Freileitungen) und Kraftwerksneubau (bspw. Pumpspeicherwerke) stoßen vielerorts noch, auf erbitterten Widerstand, was die Frage aufwirft, ob diese Anstrengungen auf regionaler Ebene leichter umsetzbar wären als auf nationaler oder europäischer Ebene.

	Technisch	Wirtschaftlich	Gesellschaftlich
Netze	Grün	Grün	Rot
Kraftwerke	Grün	Gelb	Rot
Speicher	Grün	Rot	Grün

Abbildung 5: Umsetzbarkeit der Optionen zur technischen Versorgungssicherheit [10]

### Die Technologie Power-to-Gas

Power-to-Gas (PtG) ist der Name für die technische Nachbildung der natürlichen Photosynthesevorgänge in Pflanzen (Abbildung 6: Prozessschritte bei Power-to-Gas; nach [10]). Diese haben den Prozess über Jahrtausende entwickelt um Energie über lange Zeiträume speichern zu können. Trotz ihres für die Energietechnik vergleichsweise geringen Wirkungsgrades von etwa einem Prozent, hat sich die Photosynthese in der Evolution bewährt. Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) und Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) werden dabei mit Sonnenenergie in zwei Stufen zu Kohlenhydraten ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) umgewandelt, Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ) wird frei.

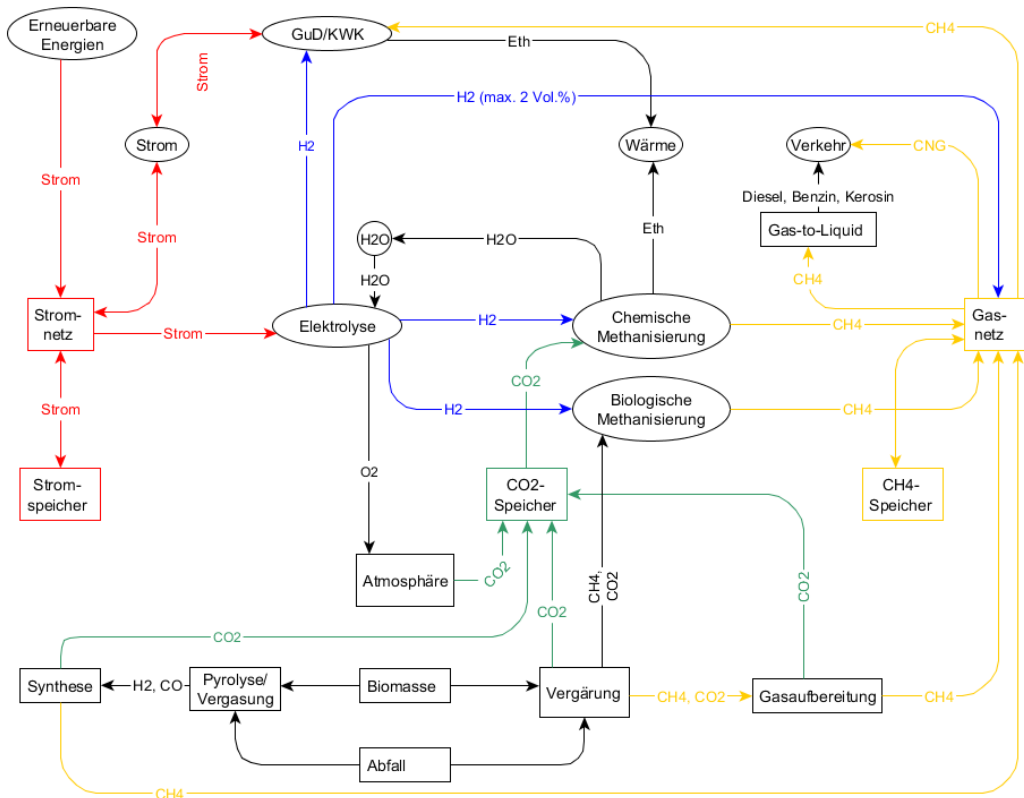


Abbildung 6: Prozessschritte bei Power-to-Gas; nach [10]

Den ersten Schritt, die Spaltung von Wasser, ahmt PtG über Elektrolyse nach, wobei heute alkalische, Membran-, Druck- und Hochtemperaturelektrolyse theoretisch zur Verfügung stehen. Insbesondere bei den letzten drei genannten besteht unter anderem hinsichtlich des intermittierenden Betriebs an erneuerbaren Energien jedoch noch erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Im zweiten Schritt der Photosynthese reagiert Wasserstoff mit Kohlendioxid aus der Atmosphäre. Im Unterschied zur Pflanze erzeugt PtG als Edukt jedoch Methan ( $\text{CH}_4$ ). Für die Methanisierung stehen heute zwei Verfahrensoptionen zur Verfügung: Im stark exothermen, katalysatorbasierten Sabatier-Prozess reagiert Wasserstoff mit Kohlendioxid zu Methan und Wasser. Es wird Hochtemperaturwärme frei. Die zweite Möglichkeit ist die biologische Methanisierung. Hier werden Wasserstoff und Kohlendioxid bei Temperaturen von 35 bis 70 Grad Celsius und Umgebungsdruck von Mikroorganismen zu Methan und Wasser verarbeitet [4].

Um höhere Wirkungsgrade zu erreichen als mit der Abtrennung des Kohlendioxids aus der Luft, können mit der Verarbeitung von Biomasse und Abfall Quellen erschlossen werden, aus denen das Gas in höherer Konzentration gewonnen werden kann (siehe auch Abbildung 6).

Pfad	Wirkungsgrad	Randbedingung
Strom-zu-Gas <span style="float: right;">2/3</span>		
Strom → Wasserstoff	54 – 72 %	Bei Kompression auf 200 bar (Arbeitsdruck der meisten Gasspeicher)
Strom → Methan (SNG)	49 – 64 %	
Strom → Wasserstoff	57 – 73 %	Bei Kompression auf 80 bar (Einspeisung Fern- /Transportleitung)
Strom → Methan (SNG)	50 – 64 %	
Strom → Wasserstoff	64 – 77 %	Ohne Kompression
Strom → Methan (SNG)	51 – 65 %	
Strom-zu-Gas-zu-Strom <span style="float: right;">1/3</span>		
Strom → Wasserstoff → Strom	34 – 44 %	Bei Verstromung mit $\eta=60\%$ und Kompression auf 80 bar
Strom → Methan → Strom	30 – 38 %	
Strom-zu-Gas-zu-KWK <span style="float: right;">1/2 (Wärme und Strom)</span>		
Strom → Wasserstoff → KWK	48 – 62 %	Bei 40 % Strom und 45 % Wärme und Kompression auf 80 bar
Strom → Methan → KWK	43 – 54 %	

*Tabelle 1: Wirkungsgrade von Power-to-Gas; Quelle: Sterner, Jentsch [9]*

Der erzeugte Wasserstoff kann nach Henel [5] derzeit je nach Standort der Anlage abhängig vom Durchfluss am Verknüpfungspunkt unter Einhaltung aktueller Zumischgrenzen aber auch direkt ins Erdgasnetz eingespeist werden. Die Wirkungsgrade von PtG bewegen sich im Bereich von 30 bis 77 Prozent (Tabelle 1), je nachdem welche Prozessschritte realisiert werden.

## Methodisches Vorgehen

Im vorhergehenden Kapitel wurden Hintergründe und Problemstellungen im Zusammenhang mit der Energiewende erörtert, für deren Lösung Speichertechnologien wie PtG ein Baustein sein können. Vor diesem Hintergrund stellt sich nun die Frage, wo im Kontext der Energiewende PtG heute steht und wie sich diese Technologie voraussichtlich in Zukunft entwickeln wird.

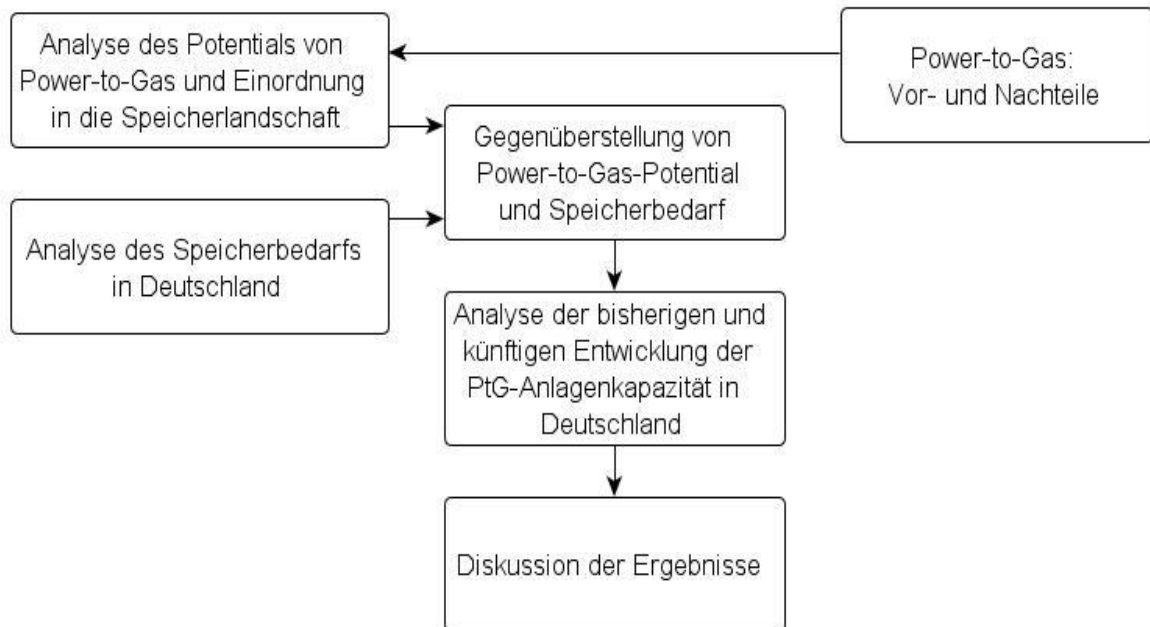


Abbildung 7: Methodisches Vorgehen

Um diese Frage zu beantworten wird nachfolgend zunächst das Potential, unter anderem mit Vor- und Nachteilen von PtG, untersucht und mit anderen Speichertechnologien verglichen. Darauf folgt eine Analyse des zukünftigen Speicherbedarfs in Deutschland und seine Gegenüberstellung mit den Möglichkeiten von PtG. Mit einer Analyse der bisherigen Entwicklung von PtG-Pilotprojekten in Deutschland wird dann abschließend diskutiert, wie die Perspektiven von PtG einzuordnen sind (siehe auch Abbildung 7).

## Analyse

### Analyse der Potentiale von Power-to-Gas

Nachdem das methodische Vorgehen beschrieben wurde, folgt jetzt die Erhebung der nötigen Daten und eine erste Analyse und Interpretation. Nach Untersuchung der speicherbaren Energiemengen in verschiedenen Speicherkonzepten wird deutlich, welches Potential zur Energiespeicherung im heute schon vorhandenen Gasnetz vorhanden ist. Nach Berechnungen des Fraunhofer Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) in Kassel für das Umwelt Bundesamt (UBA) [3] könnten die Überschüsse bei einem Anteil erneuerbarer Energien von 70 Prozent mit der heutigen Pumpspeicherkapazität und theoretischen 42 Millionen Elektroautos nicht annähernd aufgefangen werden (Abbildung 8). Anders mit der Kapazität der Gasnetze. Sie bieten die 1500- bis 3000-fache Kapazität aller heute verfügbaren Pumpspeicherwerke.

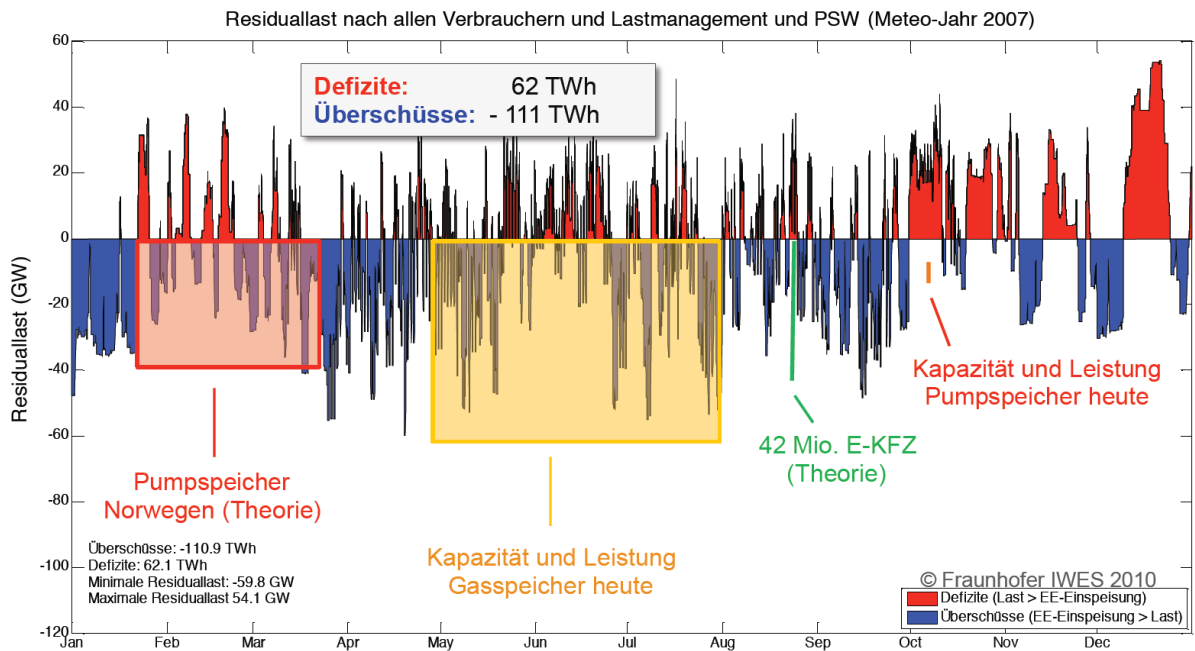


Abbildung 8: Residuallast bei 70 % EE und Speicheroptionen; Quelle: IWES-Berechnungen für [3]

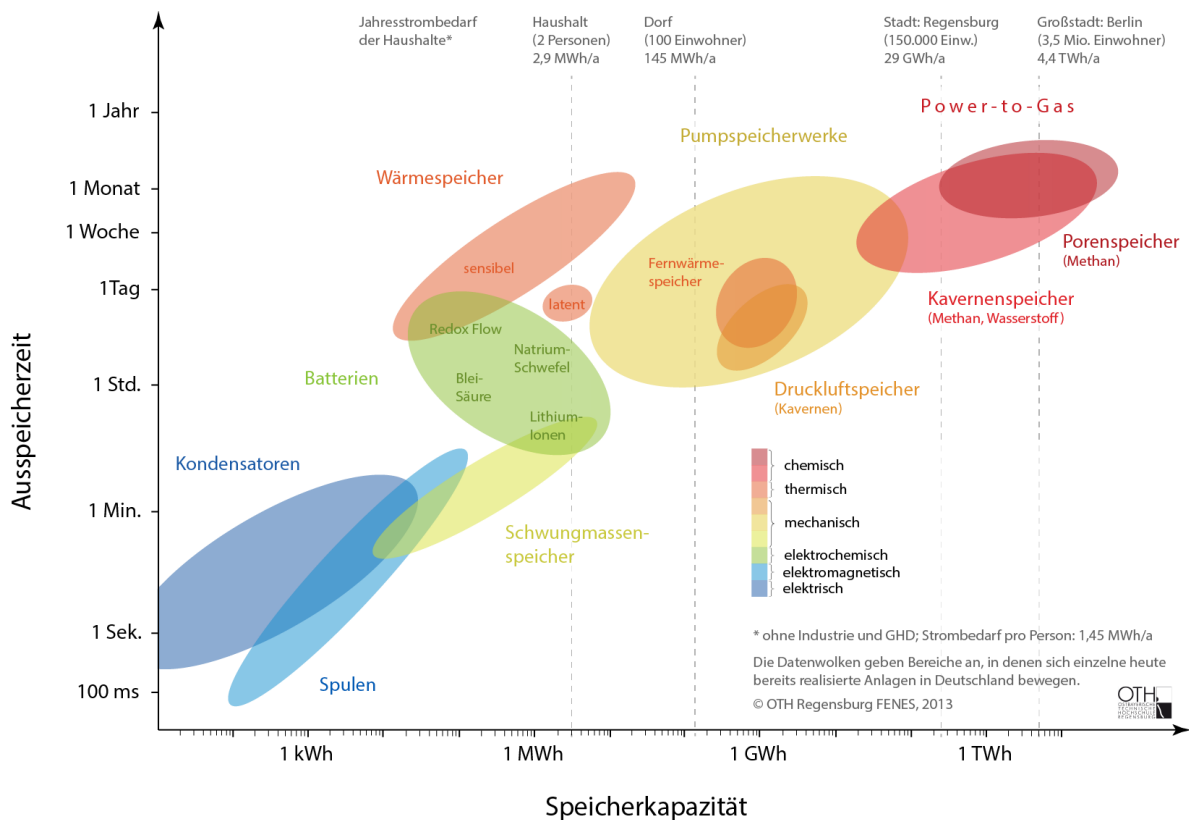


Abbildung 9: Klassifizierung bestehender Speicheroptionen in Deutschland nach ihrer Kapazität, Auspeicherzeit und Leistung



Die Klassifikation der heute in Deutschland zur Verfügung stehenden Speichertechnologien nach ihrer Ausspeicherzeit, ihrer Kapazität und damit auch der Leistung wird in

Abbildung 9 vorgenommen. Die Datenwolken geben dabei Bereiche an, in denen sich heute bereits realisierte Anlagen bewegen. Die Rolle von Gasspeichern, also auch PtG, tritt hier deutlich hervor. Mit Kapazitäten von über einer Terawattstunde pro Anlage können sie weitaus mehr Energie speichern als alle anderen verfügbaren Speichertechnologien. Die im deutschen Gasnetz mit seinen Speichern vorhandene Energie reicht aus, um den Energiebedarf des Landes über zwei bis drei Monate hinweg zu decken. So können sie in Verbindung mit Erneuerbaren Energien als Saisonspeicher arbeiten.

Obwohl nach [2] und [3] Speicher bei *idealem* Netzausbau erst in mehreren Jahrzehnten relevant werden (siehe auch Abbildung 4), besteht jetzt Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Dies zeigen die in verglichen mit anderen Kraftstoffen heute noch nicht konkurrenzfähigen Gestehungskosten für Gas aus erneuerbaren Energien [8].

Unter der optimistischen Annahme, dass eine PtG-Anlage mit 7000 Vollaststunden und Börsenstrom betrieben wird, kann nach [8], Wasserstoff heute schon mit den Kosten von Biogas oder Benzin konkurrieren. Bei realistischeren Annahmen zur Betriebsstundenzahl, Anwendung von grünem Strom und Methanisierung wird deutlich, dass hier noch deutlicher Entwicklungsbedarf besteht.

Oben genannte Quellen beziehen sich bezüglich des Speicherbedarfes lediglich auf das Stromnetz. Zu beachten ist hierbei jedoch, dass die Energiewende ebenso im Wärme- und Mobilitätssektor vonstattengehen muss. Dort besteht schon heute massiver Speicherbedarf.

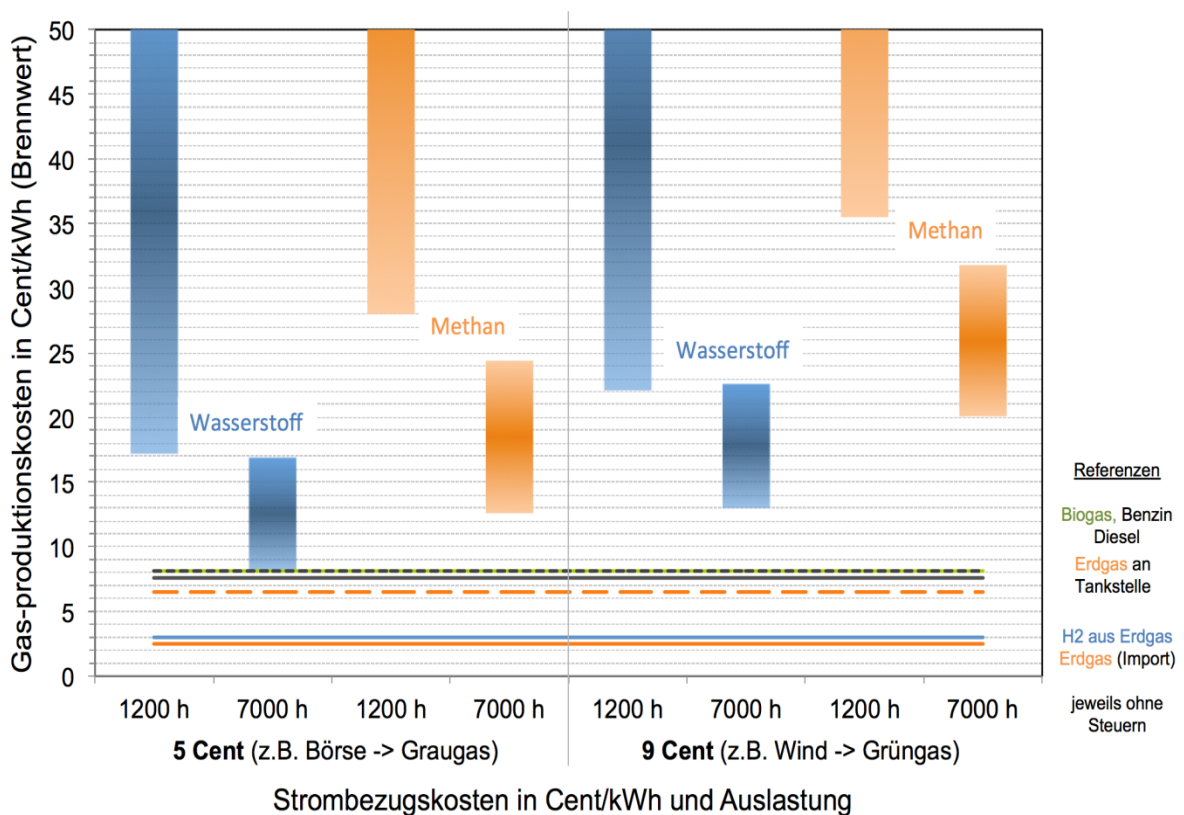


Abbildung 10: Gestehungskosten für Gas aus erneuerbaren Energien [8]

## **Chancen und Risiken von Power-to-Gas**

Power-to-Gas, respektive die Elektrolyse, ist lediglich in der Energietechnik erst seit kurzem zu verorten. Die Technologie an sich ist der stofflichen Verwertung schon seit langer Zeit bekannt. Nun führen die geänderten Anforderungen der Energietechnik zu neuem Bedarf an Entwicklung und Kostensenkung. Auch ist es sinnvoll, die Technologie in Pläne und Ziele der Energiewende frühzeitig einzuplanen, wie beispielsweise im Fahrplan Energiewende [7] aufgezeigt, um überzogene Erwartung, Enttäuschung und Verzögerung zu vermeiden. Ein weiteres Anwendungsrisiko stellt das Greenwashing konventioneller Energieerzeugung dar. Die CO<sub>2</sub>-Quelle der Methanisierung ist für die Klimabilanz des an sich klimaneutralen PtG irrelevant. Trotzdem kann und darf PtG nicht als Senke für Emissionen aus fossilen Kraftwerken angesehen werden. Die Emissionen, verbleiben beim Nutzer des fossilen Brennstoffes. Dies muss auch nach außen hin kommuniziert werden. Zudem besteht das Risiko eines energetischen Kurzschlusses (Gas aus Atomkraft, Kohlekraft, Erdgas-to-Gas), wenn die eingesetzte elektrische Energie aus konventionellen Energieträgern stammt. Durch hohe Verluste ist eine Wirtschaftlichkeit solchen „Graugases“ nicht zu erwarten. Am Wärmemarkt wäre es dann sinnvoller, den Strom aus konventioneller Erzeugung direkt über einen Heizstab in Wärme zu wandeln.

Diesen Risiken stehen jedoch eine Reihe von Chancen gegenüber: So kann vorhandene Erdgas-Infrastruktur (Pipelines, Speicher, Kraftwerke, BHKW, Herde, Heizungen, Fahrzeuge, etc.) für das Austauschgas Methan im Allgemeinen aber auch eingeschränkt für das Zusatzgas Wasserstoff ohne größere Umbauten genutzt werden. Mit dem Gasnetz können enorme, technisch erprobte und vorhandene Speicherkapazitäten konvergent zum Stromnetz praktisch unbegrenzt genutzt werden. Im Verkehrs- und Wärmesektor steht mit Methan aus PtG ein CO<sub>2</sub>-neutraler Energieträger zur Verfügung, mit dem zum einen durch die hohe Energiedichte Reichweiten vergrößert und zum anderen die Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion verringert werden kann. Zuletzt kann diese Technologie Importabhängigkeiten von Erdgas und Transportstaus elektrischer Energie vermindern. Die Übertragungskapazität von Gas in Pipelines gegenüber Strom in Freileitungen liegt um etwa eine Größenordnung höher. Wird das Gasnetz konvergent zum Stromnetz als Übertragungsnetz genutzt, können Netzengpässe (Redispatch) und deren Kosten reduziert werden.

## **Analyse des Speicherbedarfes in Deutschland**

Um den voraussichtlichen Speicherbedarf in Deutschland abschätzen zu können, wurden die Ergebnisse aus der Leitstudie 2011 des Bundesumweltministeriums [6], der Studie „Energiespeicher für die Energiewende“ des VDE [2] und der Studie „Energieziel 2050“ des Umweltbundesamtes [3] zusammengeführt und in Abbildung 11 gegenübergestellt.

Bis zum Jahr 2050 zeigen verschiedene Szenarien von BMU [6] und VDE [2] einen Ausbaukorridor für Speicher in Deutschland bis etwa 8 Terawattstunden (TWh) auf. Der VDE legt sich dabei nicht auf eine Jahreszahl fest, sondern orientiert sich am Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromversorgung, der 2050 laut Schätzungen des BMU etwa 80 Prozent betragen könnte.

Steigt der Anteil erneuerbarer Energien bis auf 100 Prozent, wächst bedingt durch die immer größer werdenden Schwankungen in Einspeisung und Residuallast auch der Speicherbedarf stark an. Die Prognosen von VDE und UBA divergieren an dieser Stelle stark. Man kann jedoch davon ausgehen, dass sich die einzuspeichernden „Überschüsse“

bei erneuerbarer Vollversorgung im Bereich von 60 TWh und mehr bewegen. Das sind 10 Prozent der deutschen Bruttostromproduktion des Jahres 2012.

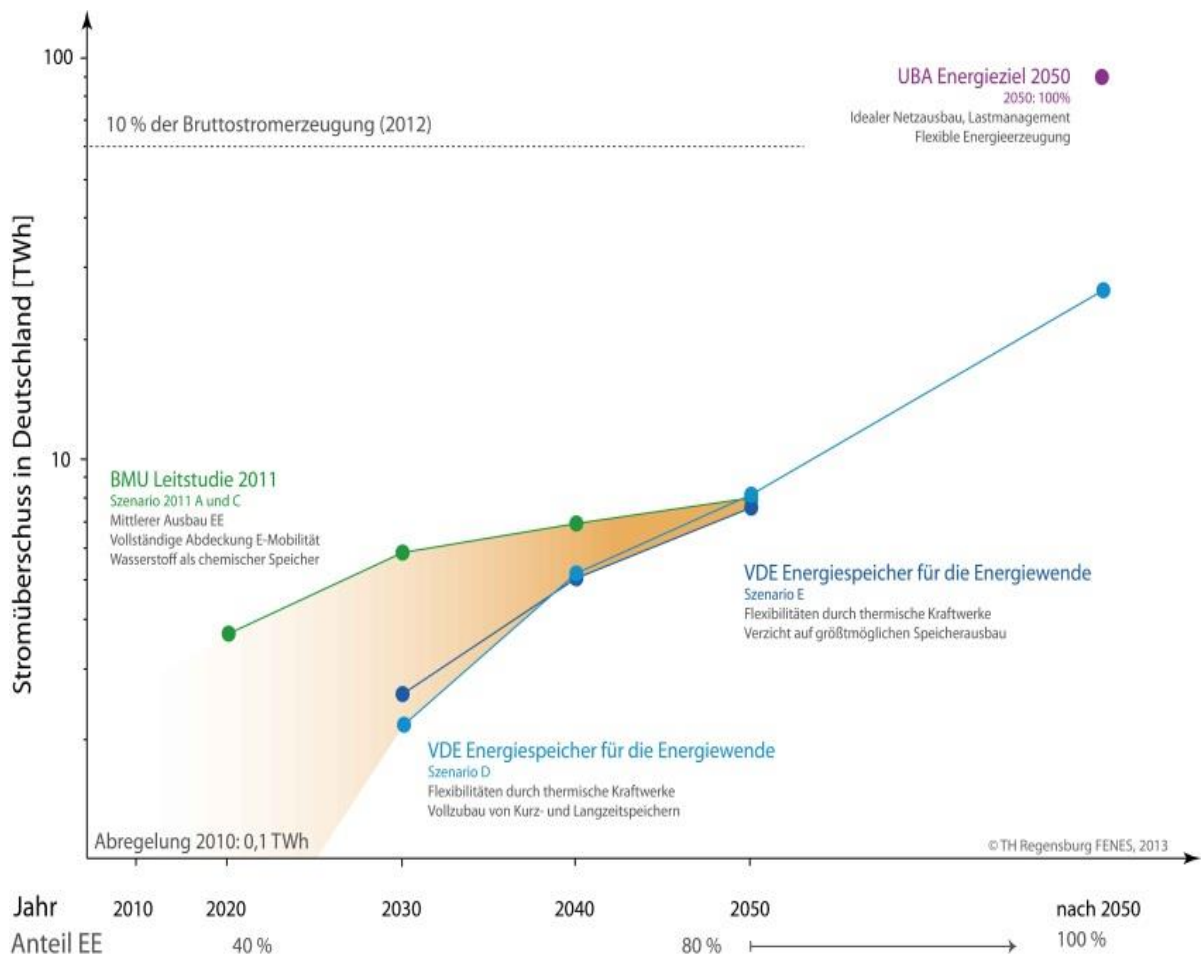


Abbildung 11: Voraussichtlicher Speicherbedarf in Deutschland

### Analyse der PtG-Anlagenkapazität in Deutschland

Aus den vorangegangenen Ausführungen wurde deutlich, welche Potentiale und auch Risiken PtG birgt und wie die Entwicklung des Speicherbedarfes in Deutschland voranschreiten könnte. Stellt man diese beiden Aspekte gegenüber, tritt hervor, welche Rolle PtG zukünftig in der Energieversorgung einnehmen kann. Insbesondere der zukünftige Langzeitspeicherbedarf wird vermutlich nicht ohne der Kapazität dieser Technologie zu decken sein (siehe auch Abbildung 9, Abbildung 11).

Um diese Technologie für eine spätere Nutzung in der Energietechnik zu ertüchtigen, laufen seit dem Jahr 2005 Projekte, wie die Übersicht über PtG-Pilotanlagen in Deutschland in Abbildung 12 illustriert. Die zu Beginn skeptische Haltung gegenüber PtG änderte sich ab 2009 und mündet im Jahr 2011 in einen Durchbruch. Über 8 Megawatt Elektrolyseleistung gehen in Planung und werden 2013 fertiggestellt. Die insgesamt installierte Leistung in diesen Pilotprojekten beläuft sich Ende dieses Jahres (2013) auf voraussichtlich 12 Megawatt. Einige Daten dieser Auflistung konnten noch nicht abschließend erhoben werden. So ist unklar, welche Leistung exakt 2013 in Planung ist und wie die sich diese sowie Anlagen in Bau und Inbetriebnahmen 2014 entwickeln werden, der Trend ist jedoch erkennbar.

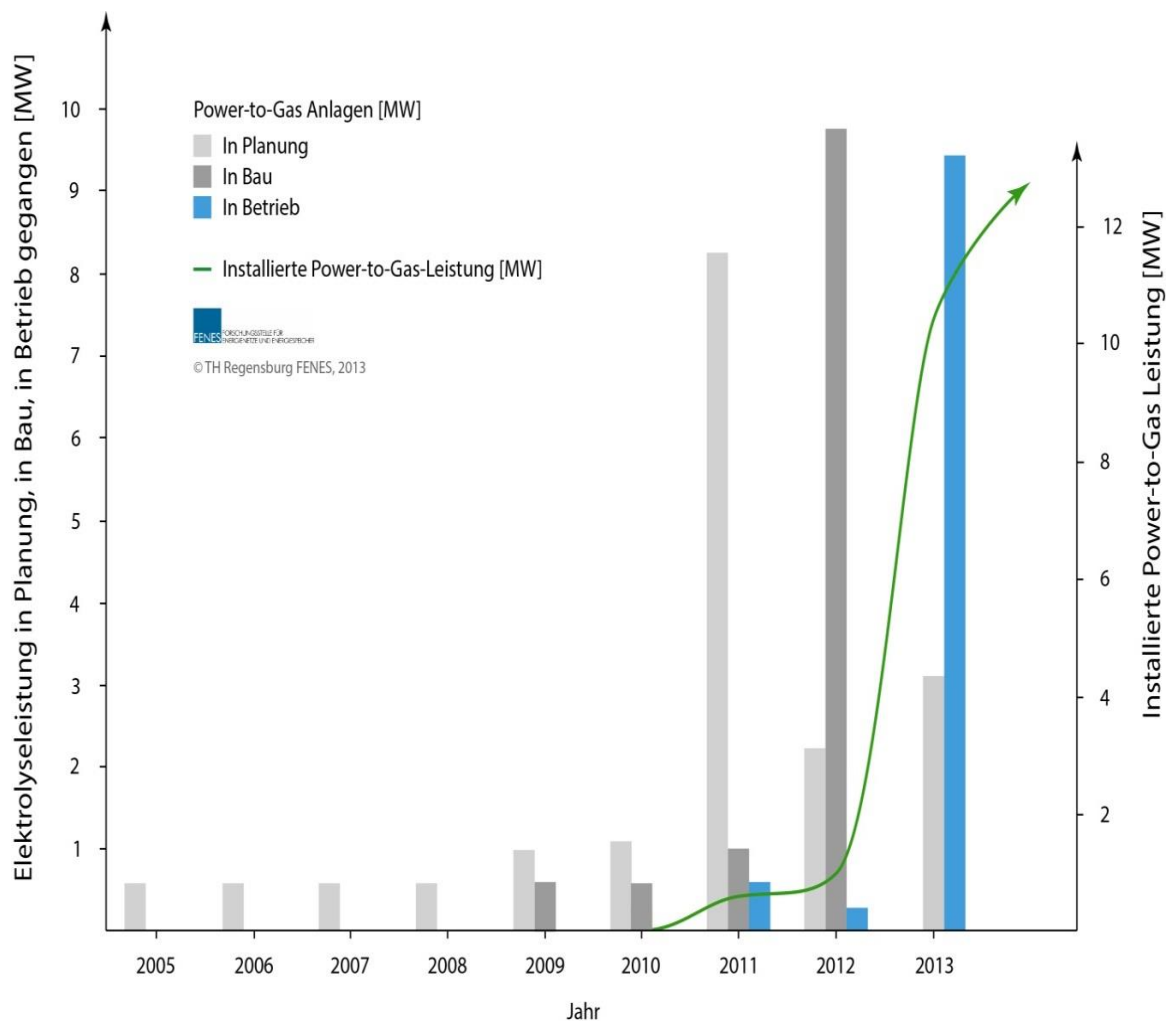


Abbildung 12: Entwicklung des Ausbaus von PtG-Anlagen mit Planungs- und Bauphase sowie Jahr der Inbetriebnahme und der insgesamt jährlich summierten installierten Leistung

## Diskussion

Nach der Erhebung von Daten und Fakten zu PtG soll nun kurz diskutiert werden, welche Perspektiven diese junge Technologie hat.

### Künftige Rolle von Power-to-Gas

Durch die Kopplung der Energienetze und Systeme in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr kann PtG zu einer Stabilisierung der Energieversorgung beitragen und andere schon erwähnte Problemfelder der Energieversorgung wie bspw. die Tank-Teller-Problematik entschärfen. Das großflächige Interesse währt seit etwa zwei Jahren und der Trend ist weiterhin zu beobachten. Es deuten alle Anzeichen auf eine heute schon breite Annahme der Idee. So laufen Pilotanlagen und Forschungsprojekte sowohl in kleinen, mittelständischen Unternehmen als auch bei den großen Energieversorgern (Tabelle 2: Übersicht Pilotprojekte).

## Aktuelle Pilot- und Demonstrationsanlagen

Wie bereits erwähnt, beteiligen sich Unternehmen verschiedenster Größe und aus diversen Branchen: Automobilindustrie, Energieversorger, Windkraftbetreiber und –projektierer, Elektrolyseur-Hersteller, Forschungsinstitute, Global Player und ein Netzwerk von Stadtwerken (Tabelle 2). In Anlagen zwischen 25 Kilowatt und 6 Megawatt elektrischer Leistung (Elektrolyseleistung) werden auf breiter Basis Erfahrungen gesammelt. Es kommen verschiedenste technische Optionen zum Einsatz. So werden, um nur zwei Beispiele zu nennen, alkalische und Membran-Elektrolyseure ebenso getestet und weiterentwickelt wie die Methanisierung auf chemischem und biologischem Weg. Vor dem Hintergrund der Problematik um die Einspeisung des Zusatzgases Wasserstoff ist zu bedenken, dass die Mehrzahl der Projekte eine Methanisierung noch nicht behandelt.

Projektname und -Ort	Unternehmen	Inbetriebnahme	El. Leistung [kW]	H <sub>2</sub> -Produktionsrate [Nm <sup>3</sup> /h]	CH <sub>4</sub> -Produktionsrate [Nm <sup>3</sup> /h]
e-Gas-Anlage Werlte	Audi AG	2013	6000	1300	300-340
Demonstrationsvorhaben Power to Gas, Falkenhagen	E.ON Gas Storage GmbH	2015	2000	360	--
Power to Gas Anlage Hamburg-Reitbrook	E.ON Gas Storage GmbH	2014	1000	265	--
RH2-WKA, Grapzow	Wind-Wasserstoff-project	2014	1000	210	--
Hybridkraftwerk	Enertrag	2011	600	120	--
Strom zu Gas Demonstrationsanlage, Frankfurt a.M.	Tüga-Gruppe	2013	385	70	--
P2G-Entwicklung, Stuttgart	ZSW	2014	370	90	--
P2G-250 kW, Stuttgart	ZSW	2012	250	50	12,5
P2G-Foulum-Project	Electrochaea.dk ApS	2013	250	50	k.A.
PtG im Eucolino, Schwandorf	Micro Energy GmbH	2013	108	21,3	5,3
Pilotanlage Ibbenbüren	RWE Deutschland AG	2013	100	20	--
CO2RRECT	Siemens, Bayer, RWE	2013	100	k.A.	k.A.
SolarFuel-Alpha	ZSW, SolarFuel	2009	25	4	2,4

Tabelle 2: Übersicht Pilotprojekte

Die Betriebszustände der Anlagen reichen von Forschung und Entwicklung über Planungs- und Bauphase bis hin zum Versuchs- und Dauerbetrieb. Einige Projekte sind schon abgeschlossen.

Die Projektziele sind dabei vielfältig. Vom technischen Standpunkt aus geht es um die Weiterentwicklung und Erprobung verschiedener Elektrolyse- und Methanisierungsarten und Prototypen. So sollen Effizienz, Laufzeit oder dynamischer Betrieb optimiert und verschiedene Betriebsweisen (Optimierung nach Gasproduktion, Grundlast, Spitzenlast, Strommarkt) getestet werden. Viele Projekte wollen den Nachweis erbringen, dass die Technik als dynamische Netzkomponente geeignet ist und die steilen Leistungsgradienten erneuerbarer Energieerzeugung abfahren kann. Im Großen und Ganzen geht es technisch um Betriebsoptimierung, Einfügung in den Energiemarkt (z.B. auch Teilnahme am Regelenergiemarkt), Demonstration der Prozesskette, Weiterentwicklung der Anlagen und die Vorbereitung auf die Skalierung auf großtechnischen Maßstab.

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht wird die Kostenstruktur verbessert und die Wertschöpfungskette über Fertigungskonzepte bis zum Anlagenbau optimiert. Passende Geschäftsmodelle werden mit dem Ziel entwickelt, die Kommerzialisierungsphase vorzubereiten. Hierzu werden auch technisch-regulatorische Herausforderungen beim Bau und Betrieb von Power-to-Gas Anlagen ausgelotet.

Auch ökologische Gesichtspunkte werden mit der Quantifizierung des Beitrags zur Dekarbonisierung über Treibhausgasbilanzen in Projekten berücksichtigt. Letztlich spielen auch volkswirtschaftliche Aspekte wie Feldtests zur Anpassungsfähigkeit in das vorhandene Strommarktdesign und Infrastruktur, Bewertung des Speicherbetriebes im regenerativen Energiesystem und der volkswirtschaftliche Nutzen im Allgemeinen eine Rolle.

### **Zusammenfassung / Schlussfolgerung / Ausblick**

Wie im Kapitel Chancen und Risiken von PtG beschrieben, birgt diese Technik eine Vielzahl von Lösungsmöglichkeiten für die eingangs beschriebenen Probleme der Energieversorgung der Zukunft. Es ist jedoch darauf zu achten, dass jetzt ein „Growian-Effekt“ vermieden wird. Um das Potential auszuschöpfen, das hinter PtG liegt sollte die Technik deshalb Schritt für Schritt durchdacht, weiterentwickelt und an die Anforderungen der Energiewende angepasst werden. Dass PtG auch für Versorgungskonzepte auf regionaler Basis geeignet ist, bestätigen laufende Projekte. Aber auch für Zukunftsvisionen globaler Dimension ist PtG geeignet. Über die bestehende Pipeline zwischen Algerien und Spanien könnte Europa mit erneuerbarem Gas aus der Sahara versorgt werden. Es existiert zudem ein weltumspannendes Netz aus Gas-Tankschiffen (Liquid Natural Gas, LNG) und entsprechenden Be- und Entladeterminals und Erdgaspipelines über das auch mit erneuerbarem Gas Handel getrieben werden kann.

### **Literatur**

- [1] Vahlenkamp, Thomas; Gohl, Matthias (2013):Energiewende-Index Deutschland 2020 - Fokusthema Versorgungssicherheit, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 63. Jg., Heft 3
- [2] Adamek, Franziska et al. (2012): Energiespeicher für die Energiewende – Speicherbedarf und Auswirkungen auf das Übertragungsnetz für Szenarien bis 2050,

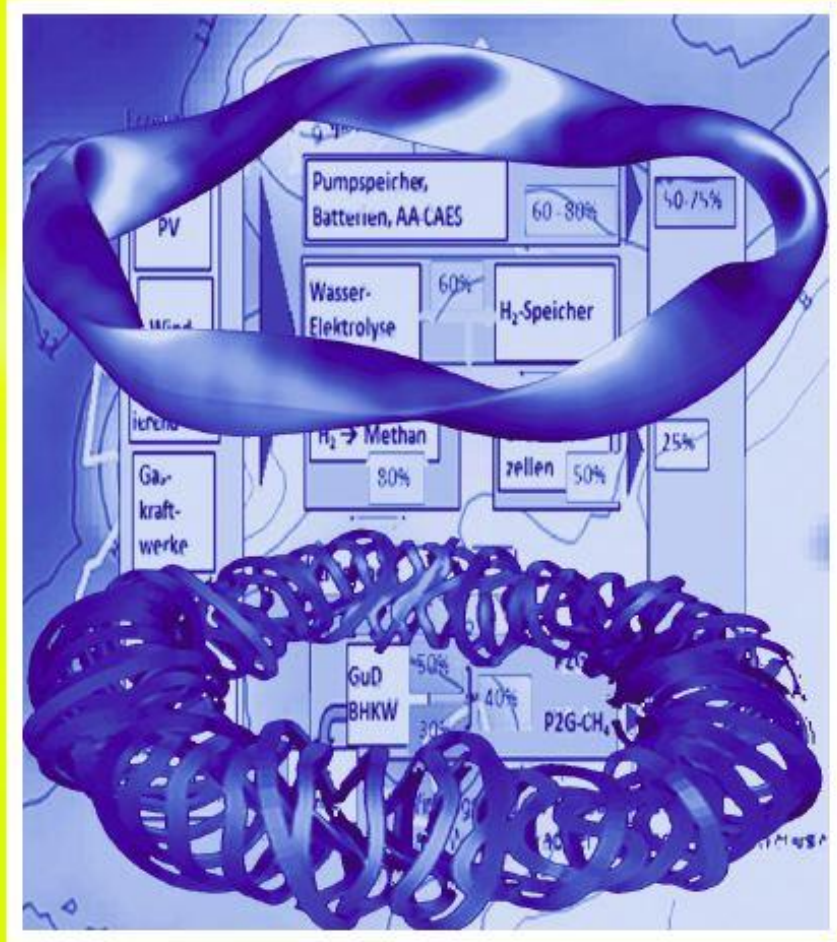
Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (VDE),  
Energietechnische Gesellschaft (ETG), Frankfurt am Main

- [3] Klaus, Thomas et al. (2010): Energieziel 2050 – 100% Strom aus erneuerbaren Quellen, Umweltbundesamt UBA, Dessau-Roßlau. <http://www.uba.de>
- [4] Krajete, Alexander et al. (2012): Archaea Microorganisms for Biological Power Storage, Krajete GmbH, VDI-Fachkonferenz “Stationäre Energiespeicher für Erneuerbare Energien”, Karlsruhe
- [5] Henel, Marco (2012): Power-to-Gas: Potenziale und technische Konzepte, DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH, VDI-Fachkonferenz „Stationäre Energiespeicher für Erneuerbare Energien“, Karlsruhe
- [6] Nitsch, Joachim et al. (2012): BMU-Leitstudie 2011, Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global, Schlussbericht, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES), Ingenieurbüro für neue Energien (IfnE), Stuttgart, Kassel, Teltow
- [7] Pehnt, Martin; Sterner, Michael et al. (2012): Fahrplan Energiewende, IFEU, Fraunhofer IBP, Hochschule Regensburg
- [8] Köppel, Wolfgang (2012): Methanisierung als Energiespeicheroption eingebunden in PtG-Konzepte, VDI-Fachkonferenz „Stationäre Energiespeicher für Erneuerbare Energien“, Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW), Kassel
- [9] Sterner, Michael; Jentsch, Mareike (2012): Energiewirtschaftliche und ökologische Bewertung eines Wingas-Angebotes. Gutachten für Greenpeace Energy. Fraunhofer IWES, Kassel
- [10] Sterner, Michael (2009): Bioenergy and renewable power methane in integrated 100% renewable energy systems. Limiting global warming by transforming energy systems. Universität Kassel, Dissertation

B.Eng. Martin Thema, Prof. Dr.-Ing. Michael Sterner  
[martin.thema@oth-regensburg.de](mailto:martin.thema@oth-regensburg.de)  
[michael.sterner@oth-regensburg.de](mailto:michael.sterner@oth-regensburg.de)

Forschungsstelle für Energienetze  
und Energiespeicher (FENES)  
OTH Regensburg  
Postfach 12 03 27  
D-93025 Regensburg

Exzerpt aus Tagungsband des AKE, DPG-Tagung 2013 Dresden, ( ISBN 978-3-9811161-4-4 )  
home: [http://www.uni-saarland.de/fak7/fze/AKE\\_Archiv/DPG2013-AKE\\_Dresden/Links\\_DPG2013.htm](http://www.uni-saarland.de/fak7/fze/AKE_Archiv/DPG2013-AKE_Dresden/Links_DPG2013.htm)



## Energie

### Technologien und Energiewirtschaft

Vorträge auf der DPG-Frühjahrstagung in Dresden 2013

Herausgegeben von Hardo Bruhns



## **Arbeitskreis Energie in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft**

Direkter Link zum AKE - Archiv:

<http://www.uni-saarland.de/fak7/fze/index.htm>

Direkter Link zum AKE - Archiv, Tagung 2013 -Dresden:

[http://www.uni-saarland.de/fak7/fze/AKE\\_Archiv/DPG2013-AKE\\_Dresden/Links\\_DPG2013.htm](http://www.uni-saarland.de/fak7/fze/AKE_Archiv/DPG2013-AKE_Dresden/Links_DPG2013.htm)

## **Vorträge auf der Dresdner DPG-Tagung (2013)**

**Herausgegeben von Hardo Bruhns**

Herausgeber:  
Arbeitskreis Energie (AKE) in der DPG  
Prof. Dr. Hardo Bruhns  
Meliesallee 5  
40597 Düsseldorf  
E-Mail: ake@bruhns.info

Die Grafik des Titelblatts wurde unter Verwendung von Abbildungen aus den Beiträgen von T. Klinger, H. Pütter und O. Kastner mit freundlicher Genehmigung der Autoren gestaltet.

# Energie

## Technologien und Energiewirtschaft

Vorträge auf der DPG-Frühjahrstagung in Dresden 2013

Arbeitskreis Energie in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft

Herausgegeben von Hardo Bruhns

Bad Honnef, November 2013

Frühjahrstagung des Arbeitskreises Energie  
in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft  
Dresden, 4. bis 6. März 2013

Haupt- und Plenarvorträge

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	7
Übersicht über die Fachsitzungen	8
Abstracts	9
Optimized Stellarator as a Candidate for a Fusion Power Plant (vorgetragen von T. Klinger)	19
The Availability of Rare Elements for Advanced Energy Technologies (vorgetragen von A. Bradshaw)	29
Electric Mobility: Chances and Technical Challenges (vorgetragen von A. Knoll)	47
Energy Systems: the Importance of Energy Storage (vorgetragen von U. Stimming)	63
Die Zukunft der Stromspeicherung (vorgetragen von H. Pütter)	75
Power-to-Gas – Perspektiven einer jungen Technologie (vorgetragen von M. Sterner)	87
Verfügbarkeit und Nachhaltigkeit von Bioenergie als Energiequelle (vorgetragen von (ED. Schulze)	102
Potential und thermische Eigenschaften der tiefen hydrothermalen Wärmereservoirs in Berlin (vorgetragen von O. Kastner)	110
Zukünftige Herausforderungen der Elektrizitätsversorgung aus energiewirtschaftlicher Perspektive (vorgetragen von D. Möst)	118