

KURZFASSUNG

Power to Gas – eine Systemanalyse.

Markt- und Technologiescouting und -analyse

2014

Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz

Johannes Kepler Universität Linz, Institut für Betriebliche und Regionale Umweltwirtschaft

Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Verfahrenstechnik des industriellen Umweltschutzes

TU Wien, Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften

TU Wien, Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe

TU Wien, Energy Economics Group

TU Wien, Institut für Energietechnik und Thermodynamik



**Gefördert durch das Bundesministerium für
Wirtschaft, Familie und Jugend.**

**Co-Förderung durch Oesterreichs Energie, ÖVGW - Österreichische
Vereinigung für das Gas- und Wasserfach und FGW - Fachverband
der Gas- und Wärmeversorgungsunternehmen.**

Autoren der Studie

Die Studie „Power to Gas – eine Systemanalyse. Markt- und Technologiescouting und -analyse“ wurde unter der Projektleitung des *Energieinstituts an der Johannes Kepler Universität Linz* in enger Zusammenarbeit mit den Universitätsinstituten *Johannes Kepler Universität Linz / Institut für Betriebliche und Regionale Umweltwirtschaft; Montanuniversität Leoben / Lehrstuhl für Verfahrenstechnik des industriellen Umweltschutzes; TU Wien / Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften; TU Wien / Institut für Energietechnik und Thermodynamik, TU Wien / Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe* und *TU Wien / Energy Economics Group* erstellt.

Folgende Autoren haben an der Realisierung des Berichts mitgewirkt:

Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz

Dipl.-Ing. Dr. Horst Steinmüller (Projektleitung)

Gerda Reiter, MSc

Mag. Dr. Robert Tichler

Mag. Dr. Christina Friedl

Mag. Michael Furtlehner

Dipl.-Ing. (FH) Johannes Lindorfer

Dipl.-Ing. (FH) Markus Schwarz, PMSc

Johannes Kepler Universität Linz, Institut für Betriebliche und Regionale Umweltwirtschaft

Dipl.-Ing. Dr. Markus Koppe

Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Verfahrenstechnik des industriellen Umweltschutzes

Dipl.-Ing. Philipp Biegger

Dipl.-Ing. Aaron Felder

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Lehner

TU Wien, Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften

Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Michael Harasek

Dipl.-Ing. Dr. Aleksander Makaruk

Dipl.-Ing. Martin Miltner

TU Wien, Institut für Energietechnik und Thermodynamik

Dipl.-Ing. Michaela Fraubaum

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Markus Haider

TU Wien, Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe

Dipl.-Ing. Sabina Begluk

Univ.Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Gawlik

Dipl.-Ing. Christoph Maier

TU Wien, Energy Economics Group

Univ.Prof. Dr. Dipl.Ing. Reinhard Haas

Dipl.Ing. Dr. Amela Ajanovic

Power to Gas – eine Systemanalyse

Markt- und Technologiescouting und -analyse

Die Studie „Power to Gas – eine Systemanalyse. Markt- und Technologiescouting und -analyse“ beinhaltet eine umfassende Systemanalyse von Power to Gas in Österreich, basierend auf einem in der Studie durchgeführten internationalen und nationalen Markt- und Technologiescouting. Die Studie untersucht hierbei zum einen die Chancen und Möglichkeiten für österreichische Unternehmen sowie für österreichische Forschungseinrichtungen im Bereich Power to Gas im internationalen Wettbewerb und zum anderen die volkswirtschaftliche und systemische Bedeutung, die eine Forcierung und Weiterentwicklung der Power to Gas-Systeme für Österreich bringen kann.

Die Studie wurde dankenswerterweise vom Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend (BMWFJ) gefördert. Als zentrale Co-Förderstelle zur Realisierung der Studie fungiert dankenswerterweise Oesterreichs Energie. Zudem wurde die Studie auch von der Österreichischen Vereinigung für das Gas- und Wasserfach (ÖVGW) und vom Fachverband der Gas- und Wärmeversorgungs-unternehmungen (FGW) gefördert.

Die Studie wurde unter der Projektleitung des Energieinstituts an der Johannes Kepler Universität Linz in enger Zusammenarbeit mit den Universitätsinstituten Johannes Kepler Universität Linz / Institut für Betriebliche und Regionale Umweltwirtschaft; Montanuniversität Leoben / Lehrstuhl für Verfahrenstechnik des industriellen Umweltschutzes; TU Wien / Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften; TU Wien / Institut für Energietechnik und Thermodynamik, TU Wien / Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe und TU Wien / Energy Economics Group erstellt. Somit haben zentrale nationale Experten an der Durchführung der Analyse und an der Fertigstellung mitgewirkt. Dies impliziert auch ein interdisziplinäres Forschungsteam, in dem zur Beantwortung der maßgeblichen Fragen der Studie VerfahrenstechnikerInnen, ChemikerInnen, BiotechnologInnen, MechatronikerInnen, ElektrotechnikerInnen, ÖkoenergietechnikerInnen, VolkswirtInnen, JuristInnen und SozioökonomInnen mitgearbeitet haben, wodurch umfassende Analyse des Systems Power to Gas ermöglicht wurden.

Durch diese interdisziplinäre Zusammensetzung gelingt es, die gesamte **Chain of Innovation** sowohl in den einzelnen Technologiekomponenten als auch im Gesamtsystem Power to Gas umfassend zu analysieren und zu bewerten.

In der Studie werden die internationale Forschungslandschaft sowie der globale Markt zum Thema Power to Gas untersucht. Hierbei erfolgten neben vielen bilateralen Gesprächen mit internationalen und nationalen ExpertInnen auch Reisen, Besichtigungen und Recherchen in anderen globalen Hotspots, vor allem in Nordamerika und Asien sowie im europäischen Raum mit dem besonderen Schwerpunkt auf Deutschland. Dadurch wird das Ziel der Studie, die Beantwortung der Frage, in welchen Bereichen im Segment Power to Gas österreichische Forschungsinstitutionen und Unternehmen zukünftig auf internationaler Ebene Potentiale aufweisen, erfüllt.

Die Studie analysiert die Herausforderungen und Chancen in den drei fundamentalen technologischen Prozesskomponenten: der (dynamischen) Wasserstoffproduktion, der CO₂-Abtrennung und der Methanisierung. Für jede dieser drei Komponenten werden ein eigenes Markt- und Technologiescouting sowie eine Analyse des Entwicklungsstandes und der zukünftigen Herausforderungen durchgeführt. Im Zentrum hierbei steht in den spezifischen Analysen der drei Systemkomponenten die Erarbeitung der signifikanten Entwicklungspotentiale der einzelnen Verfahrensschritte des Power to Gas-System. Dabei wurden sowohl jene Verfahren analysiert, die bereits im Industriemaßstab verfügbar sind, als auch jene, die sich derzeit noch im Pilot- oder Labormaßstab befinden.

Zudem wird der rechtliche Rahmen sowie die volkswirtschaftliche und systemische Bedeutung von Power to Gas untersucht und bewertet, die eine Forcierung und Weiterentwicklung der Power to Gas-Konzepte für Österreich bringen.

Die Elektrolyse stellt in einem Power to Gas System die Koppelung zwischen elektrischer und chemischer Energie dar. Die PEM-Elektrolyse ist von den drei im Detail betrachteten Elektrolysetechnologien (PEMEC, AEC und SOEC) die sich derzeit am stärksten entwickelnde und weist wichtige Vorteile durch die höhere Kompaktheit und die höhere Dynamik bzw. Flexibilität des Gesamtsystems auf. In bestimmten Anwendungsfällen kann aber auch die AEC für Power to Gas Anwendungen vorteilhaft sein. Effizienz- und kostenmäßig werden sich diese beiden Technologien mittelfristig auf ähnlichem Niveau finden. Die Hochtemperaturelektrolyse (SOEC) befindet sich generell noch im Entwicklungsstadium, in dem v.a. materialwissenschaftliche Probleme gelöst werden müssen.

Technologieunabhängig können die Kostenreduktion, Lebenszeiterhöhung und optimierte Betriebsführung als wichtigste Entwicklungsziele definiert werden. Dabei sind vor allem materialwissenschaftliche sowie regel- und steuerungstechnische Entwicklungen voranzutreiben. Die Elektrolyseentwicklung und der Verkauf konzentrieren sich vor allem auf den europäischen (Deutschland, Frankreich) und auf den nordamerikanischen (Kanada, USA) Raum.

In Österreich können, entsprechend bereits laufender Aktivitäten, kurzfristige Entwicklungsziele betreffend der Steuerung und Anlagenauslegung mit Pilotanlagen basierend auf momentan verfügbarer Technologie umgesetzt werden. In Österreich wird nach unserem Wissensstand derzeit keine direkte Elektrolyse-Stack-Forschung der beiden kommerziell eingesetzten Elektrolyse-technologien betrieben. Im Gegensatz dazu wird die SOEC-Entwicklung in Österreich aktiv vorangetrieben. Die beteiligten Institutionen und Firmen kommen dabei hauptsächlich aus dem Bereich der Hochtemperatur-brennstoffzelle. Die Entwicklung fokussiert sich auf die Materialforschung und die Komponentenherstellung bzw. auf die Erprobung von Pilotsystemen. Derzeit gibt es keine Stack-Fertigung in Österreich.

Mögliche Anknüpfungspunkte für nationale F&E-Aktivitäten aus dem AEC und PEMEC-Bereich sind aus dem Automobilzuliefer- und Brennstoffzellenbereich vorhanden. Darüber hinaus wäre es möglich, aus Forschungsaktivitäten im Hochtemperatur-Bereich, teils auch im Niedertemperatur-Elektrolyse-Bereich, zu profitieren. Aus jetziger Sicht sollten in diesem Bereich verstärkt zusätzliche internationale Kooperationen aufgenommen werden.

Die **Bereitstellung von Kohlendioxid** für Power to Gas-Konzepte hat wesentliche Bedeutung als Basis für die Erzeugung von Methan aus H_2 und CO_2 . CO_2 fällt in nahezu jedem Verbrennungs- und Produktionsprozess als Abgas- oder Nebenkomponente an. Für die CO_2 -Abtrennung bieten sich einerseits Technologien zur Anreicherung aus Abgasströmen (Post-Combustion) an, andererseits können durch geeignete prozess-integrierte Verfahren (Oxyfuel, Pre-Combustion) angereicherte CO_2 -Ströme mit geringerem Nachbehandlungsaufwand gewonnen werden. Der technologische Entwicklungsstand dieser Möglichkeiten streut sehr stark, aufgrund des hohen Technologiereifegrades und vergleichsweise niedriger Kosten würde heute am ehesten ein chemisches Absorptionsverfahren eingesetzt werden. Für CO_2 -angereicherte Prozessgase können aber auch andere Technologien, beispielsweise adsorptive Verfahren, Membrantechnik und kryogene Verfahren, effizient eingesetzt werden.

Alternative Technologien zur Bereitstellung von CO_2 (und/oder CO) wie die Vergasung und Chemical-Looping-Prozesse werden in Österreich von international anerkannten Forschungsgruppen sehr intensiv beforscht. Beide Technologien zeigen hohes Potential für zukünftige Carbon Capture und Power to Gas-Anwendungen und sollten entsprechend forciert werden. Bei der Vergasung werden Projekte mit speziellem Fokus auf die Abtrennung von CO_2 (oder auch CO) aus dem Synthesegas unter eventueller Auskoppelung weiterer Produkte (H_2 , elektrischer Strom, Wärme; Polygeneration) interessant. Bei Chemical-Looping-Prozessen werden die Optimierung der Betriebsführung, Dauerbetrieb, materialwissenschaftliche Entwicklungen zu Sauerstoff- bzw. CO_2 -Trägern sowie die Demonstration der Technologie in verschiedenen Anwendungen die weitere Forschung bestimmen.

Umsetzungsforschung wird in Österreich ebenso im Bereich der Post-Combustion-Technologien betrieben. Speziell die bereits sehr gut entwickelte chemische Wäsche (Aminwäsche) eignet sich schon heute für eine Demonstration der Technologie. Doch gerade auch bei Post-Combustion-Verfahren sind nach wie vor grundlagenorientierte Forschungsarbeiten erforderlich. Große internationale Konsortien arbeiten intensiv an neuen und verbesserten Lösungsmitteln für die chemische und physikalische Wäsche. Auch an neuen Adsorbentien für die Adsorption von CO_2 wird international intensiv geforscht.

Die Methanisierung - die Erzeugung von CH₄ aus H₂ und CO₂ (oder CO) - ist ein weiterer wesentlicher, jedoch optionaler Verfahrensschritt innerhalb des Power to Gas-Konzeptes. Verfahren zur Methanisierung werden seit mehreren Jahrzehnten industriell im Bereich der chemischen Industrie sowie zur Herstellung von synthetischem Erdgas aus Kohle oder Biomasse eingesetzt. Die Anwendung dieser Verfahren mit den derzeit kommerziell erhältlichen Katalysatoren für Power to Gas ist nicht ohne entsprechende Entwicklungs-, Optimierungs- und Anpassungsarbeiten, sowohl bei den Verfahren, als auch bei den Katalysatoren, möglich.

Unter Einbeziehung der vorhandenen Forschungs- und Entwicklungslandschaft sowie der einschlägigen Industriebetriebe leiten sich für Österreich Forschungs- und Entwicklungsthemen in den Bereichen Anlagen- und Prozesstechnik sowie Katalyse und Katalysatorherstellung ab, die insbesondere für einige österreichische Anlagenbau- und Engineeringunternehmen, aber auch Herstellern von neuartigen Methanisierungskatalysatoren bei entsprechender Entwicklungstätigkeit Marktoptionen eröffnen. Österreich ist auch am Gebiet der biologischen Methanisierung im Spitzenfeld der Forschung vertreten.

Die zukünftige weltweite Forschung für die Power to Gas-Nutzung wird entlang der gesamten Chain of Innovation erfolgen:

1. **Kurzfristig** werden im realen Betrieb Lösungsansätze mit hohem Technologiereifegrad in Pilot- und Demonstrationsprojekten vorangetrieben.
2. **Mittelfristig** werden die Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems sowie der Einzeltechnologien durch weiterführende industrielle Forschung und experimentelle Entwicklung gesteigert.
3. Parallel dazu werden durch Grundlagenforschung ganz neue Power to Gas-Verfahren und -Technologien entwickelt, damit **langfristig** Alternativen zur Verfügung stehen.

Für Österreich lassen sich aus den in der Analyse gefundenen Stärken folgende Forschungs- und Entwicklungsstrategien ableiten:

- a) Systemdesign zur Erreichung optimaler Anlagenkonzepte und Forschung zur verbesserten Integration in das Energiesystem
- b) Weiterentwicklung der bestehenden Technologien sowie Integration neuer Entwicklungen an den errichteten und in Planung befindlichen Power to Gas-Anlagen
- c) Verstärkte Grundlagenforschung insbesondere in den technischen Bereichen Materialentwicklung, Elektrotechnik, Biotechnologie, Photo- und Elektrochemie, Katalyse

Die **volkswirtschaftliche Analyse** der Technologie Power to Gas zeigt, dass eine hohe systemische Relevanz von Power to Gas für den österreichischen bzw. mitteleuropäischen Energiemarkt und für die Volkswirtschaft entstehen könnte. Aufgrund des Technologiestadiums ist jedoch noch keine betriebswirtschaftliche Rentabilität des Systems gegeben. Aufgrund der volkswirtschaftlichen Relevanz empfehlen wir daher eine weitere öffentliche Unterstützung zur Weiterentwicklung.

Die Technologie Power to Gas wird zukünftig einen wichtigen Bestandteil des Strom- bzw. Energiespeicherportfolios einnehmen, da sowohl eine Langzeitspeicherung als auch eine Kapazitätsverlagerung zwischen den Energienetzen realisiert werden kann, wodurch sich auch neue Möglichkeiten im Energietransport ergeben. Es zeigt sich, dass eine weitere Realisierung der vorhandenen regenerativen Potenziale zur Stromproduktion mit einem erhöhten Speicheraufwand verbunden ist, der die (Pump-)Speicherpotenziale übersteigt, sodass zusätzliche alternative Langzeitspeichertechnologien wie Power to Gas benötigt werden, um dem Problem der saisonalen und mehrjährigen Erzeugungsschwankungen entgegenzuwirken. Durch den steigenden Anteil erneuerbarer, volatiler Energieträger im Netz ist auch eine größere Belastung der Stromnetze zu erwarten. Durch die Installation von Power to Gas Anlagen an bestimmten Standorten im österreichischen Netz kann eine Entlastung des erforderlichen Ausbaus erreicht werden. Die Simulationen dazu haben gezeigt, dass durch Power to Gas-Anlagen eine Reduzierung der Netzauslastung gut möglich ist.

Darüber hinaus können mit dem Power to Gas-System auch weitere energie- und umweltpolitische Herausforderungen bedient werden, wie eine Erweiterung des Anteils alternativer Treibstoffe im Mobilitätssektor. Generell kann Power to Gas als sehr flexibles System im Sinne einer Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten und Ausprägungen im österreichischen und im internationalen Energiesystem bezeichnet werden. Grundsätzlich sind die technische Ausführung und auch die Wirtschaftlichkeit einer Power to Gas-Anlage immer auch von der spezifischen Intention des Betriebs sowie von den an einem Anlagenstandort vorliegenden Randbedingungen abhängig, wobei auch die Integration der Abwärme eine wichtige Rolle spielt – bspw. konnte in Simulationen gezeigt werden, dass der Gesamtenergiebedarf der CO₂-Abtrennung durch die Abwärme des Methanisierungsprozesses gedeckt werden kann.

Als Konsequenz des derzeitigen Technologiestadiums sind die Investitionskosten von Power to Gas-Anlagen noch sehr hoch, wodurch die Gesteungskosten von Wasserstoff bzw. Methan stark von den erreichbaren Volllaststunden abhängig sind. Eine Weiterentwicklung der Technologiekomponenten mit einer damit verbundenen Kostenreduktion ist daher für einen betriebswirtschaftlichen Einsatz von Power to Gas Systemen essentiell. Einen deutlich geringeren Einfluss auf die Gesteungskosten haben hingegen die Strombezugskosten, der Strombedarf (Wirkungsgrad) des Elektrolyseurs und die spezifischen Kohlendioxid-Kosten für die Methanisierung.

Eine umfassende Einschätzung der betriebswirtschaftlichen Gesteungskosten ist erst im Vergleich mit den jeweils spezifischen Benchmark-Technologien im Energiesystem möglich. Hierbei zeigt sich, dass die Systemkosten von Power to Gas insbesondere im Bereich Speicherung und Mobilität bereits mittelfristig vergleichbare Kosten aufweisen. Durchgeführte makroökonomische Analyse zeigen zudem, dass die Realisierung von Power to Gas-Anlagen in Österreich signifikant positive Effekte auf die österr. Volkswirtschaft durch Investitionsimpulse und Substitutionen von Energieimporten hat.

Aus anlagenrechtlicher Sicht ist die österreichische Rechtsordnung weitgehend adäquat auf die neue Technologie vorbereitet. Dagegen ist die Einspeisung ins öffentliche Gasnetz nicht befriedigend gelöst. Auch aktuelle Gesetzesänderungen wie in § 111 Abs 3 EIWOG 2010 vermögen an der diesbezüglichen Unsicherheit nichts zu ändern. Eine ähnlich deutliche Begriffsklärung im GWG 2011 wie beispielsweise in der deutschen Rechtsordnung ist zu empfehlen.

Die ökologische Bewertung von Power to Gas anhand eines Life Cycle Assessments zeigt, dass die Art der Stromproduktion den bei weitem größten Einfluss auf die ökologische Performance hat. Nur der Einsatz von Strom aus erneuerbaren Energien für die Produktion von Wasserstoff bzw. Methan in einer Power to Gas Anlage kann zu einer Reduktion der Treibhausgasemissionen führen und ist daher aus ökologischen Gründen unabdingbar.

Der eindeutig positive Systemnutzen der Technologie überlagert den betriebswirtschaftlichen Nutzen des Betriebs von Power to Gas-Anlagen deutlich. Aus volkswirtschaftlichen Aspekten ist somit Power to Gas als eine Lösungsoption weiterzuverfolgen und seitens der öffentlichen Hand zu unterstützen.

Zur Weiterentwicklung der Power to Gas-Systeme ist eine unternehmensbetriebene Forschung von großer Bedeutung, die allerdings ohne Unterstützung der öffentlichen Hand insbesondere im Fall des Vorliegens einer volkswirtschaftlichen systemischen Bedeutung von bestimmten Produkten und Dienstleistungen hinsichtlich der erforderlichen Intensität nur suboptimal stattfinden wird. Somit kommt aufgrund des Entwicklungsstadiums der Power to Gas-Systeme einem öffentlich geförderten „Technology Push“ eine fundamentale Bedeutung zu. Für Power to Gas sind hier vor allem drei zentrale öffentliche Instrumente zu nennen:

1. Die Forcierung der Technologieentwicklung in Form von Förderungen von Forschung und Entwicklung österreichischer Forschungsinstitutionen und Unternehmen gemäß der dargestellten F&E-Strategien
2. Rechtliche Adaptierungen zur Sicherstellung der Wettbewerbsfähigkeit
3. Entwicklung von neuen Förder- und Abgabesystemen (z.B. Befreiung von bestehenden Abgaben - Ökostrompauschale, Gassystemnetztarife, Erdgasabgabe; Analyse von möglichen Vergütungen für Speichersysteme, Ökologisierung des Steuersystems)