

# FTI-Roadmap Power-to-Gas für Österreich

R. Tichler  
J. Lindorfer  
C. Friedl  
G. Reiter  
H. Steinmüller



Berichte aus Energie- und Umweltforschung

## 50/2014

### **Nachweis der Titelbilder:**

sämtliche Bilder, mit Ausnahme des Elektrolyseurs und des Radiators: Fotolia LCC  
Elektrolyseur-Bild: ITM Power PLC  
Radiator-Bild: Energieinstitut an der JKU

### **Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

[www.NachhaltigWirtschaften.at](http://www.NachhaltigWirtschaften.at)

# FTI-Roadmap Power-to-Gas für Österreich

Dr. Robert Tichler  
DI (FH) Johannes Lindorfer  
Dr.in Christina Friedl  
Gerda Reiter, MSc  
Dr. Horst Steinmüller

Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz

Wien, November 2014



## VORWORT

Emissionsarme Erneuerbare Energien werden für zahlreiche gesellschaftliche Zielsetzungen, wie Klimaschutz, hohe Luft- und Lebensqualität, Steigerung der Inlandswertschöpfung durch Nutzung regional verfügbarer Ressourcen und zunehmend für die Zukunft einer sicheren Energieversorgung eine wichtige Rolle spielen. Die Verfügbarkeit von Strom aus Wind und Sonne ist naturbedingt stark schwankend. Somit stellt sich auch die Frage, wie Stromüberschüsse technisch und wirtschaftlich sinnvoll genutzt und gespeichert werden können. Deshalb beschäftigt sich die Forschungs- und Technologiepolitik mit verschiedenen Speichertechnologien und -konzepten.

Die Erzeugung von Wasserstoff, Methan oder Treibstoffen mit Hilfe von Strom aus erneuerbaren Quellen ist eine interessante, aber nicht einfache Option. Unter dem Begriff Power-to-Gas werden dazu international erste Projekte durchgeführt. Um den Stellenwert solch anspruchsvoller und wahrscheinlich erst mittelfristig anwendbarer Lösungen zu bewerten und den Forschungs- und Entwicklungsbedarf auf dem Weg dorthin zu klären, wurde die vorliegende FTI-Roadmap Power-to-Gas erarbeitet. Sie knüpft an die spezifischen Stärken Österreichs an und gibt Orientierung für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte.

Ich bedanke mich bei den zahlreichen ExpertInnen aus Forschung, Industrie und Verwaltung, die an der Erstellung der FTI-Roadmap beigetragen haben und damit einen Beitrag für unsere Energiezukunft geleistet haben.

Ich bin davon überzeugt, dass Innovationen im Bereich der Energietechnologien und die Vernetzung von Systemen nicht nur zu klimaschonender und sicherer Energieversorgung und Mobilität beitragen können, sondern in Österreich auch Lebensqualität und Inlandswertschöpfung steigern, Produktionsstandorte stärken und hochwertige Arbeitsplätze sichern.

Alois Stöger

Bundesminister für Verkehr, Innovation und Technologie

## Danksagung

Die vorliegende Forschungs-, Technologie- und Innovations-Roadmap Power-to-Gas für Österreich ist durch die Mithilfe von zahlreichen Expertinnen und Experten aus Forschung, Industrie und Verwaltung in Workshops zustande gekommen. Ihnen sei für die Kooperation während der Projektarbeit herzlich gedankt:

DI Stephan Bauer (RAG)  
Dr. Andreas Dorda (bmvit, A3PS)  
DI Hannes Michael Ebner (Christof Group)  
MMag Fritz Fahringer (bmvit)  
Dr.<sup>in</sup> Christina Friedl (Energieinstitut an der JKU Linz)  
Prof. Dr. Wolfgang Gawlik (TU Wien)  
Prof. Dr Michael Harasek (TU Wien – IVT)  
Robert Hinterberger (New Energy Capital Invest)  
Michael Hübner (bmvit)  
DI Andreas Hutterer (APG)  
Prof. Dr. Manfred Klell (TU Graz, HyCentA)  
Dr. Maximilian Kloess (Ökostrom AG)  
Dr. Markus Koppe (JKU Linz)  
Prof. Dr. Markus Lehner (MUL – VTiU)  
Dr. Franz Ernst Leichtfried (Biovest Consulting GmbH)  
DI Johannes Lindorfer (Energieinstitut an der JKU Linz)  
Mag.<sup>a</sup> Elvira Lutter (Klima- und Energiefonds)  
Dr Thomas Müller (Österreichs Energie)  
DI Thomas Nern (Air Liquide Austria GmbH)  
DI Michael Paula (bmvit)  
Dr. Reinhard Pfliegl (A3PS)  
DDI Karl Potz (Verbund AG)  
Dr.<sup>in</sup> Helga Prazak-Reisinger (OMV AG)  
Alois Preishuber (ErreDueGas Austria)  
Gerda Reiter, MSc (Energieinstitut an der JKU Linz)  
DI Thomas Romm (romm forschen planen bauen)  
Prof. Dr. Werner Sitte (MUL)  
Dr. Horst Steinmüller (Energieinstitut an der JKU Linz)  
DDr.<sup>in</sup> Hedda Sützl-Klein (bmvit)  
Dr. Robert Tichler (Energieinstitut an der JKU Linz)  
Dr. Ewald Wahlmüller (Fronius International GmbH)  
DI Theodor Zillner (bmvit)

## Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzzusammenfassung: FTI-Roadmap Power-to-Gas für Österreich</b>	<b>7</b>
<b>Executive Summary: RTI roadmap power-to-gas for Austria</b>	<b>8</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>9</b>
1.1 Politische Rahmenbedingungen auf europäischer Ebene im Kontext Power-to-Gas	15
<b>2 Funktion und Nutzen von Power-to-Gas im Energiesystem</b>	<b>20</b>
2.1 Speicherung von elektrischer Energie aus zeitlich volatiler Produktion	22
2.2 Verlagerung des Energietransports	24
2.3 Koppelung von Energienetzen (Hybridnetze)	26
2.4 Neue erneuerbare Energieträger ohne Flächenkonkurrenz	26
2.5 Versorgung autarker Energiesysteme	27
2.6 Verwertung von Kohlendioxid (Carbon Capture and Utilization)	28
<b>3 Der Status quo des Systems Power-to-Gas</b>	<b>29</b>
3.1 Technologien zur Produktion der Energieträger	31
3.1.1 Elektrolyse (Power-to-Gas)	31
3.1.2 Methanisierung (Power-to-Gas)	33
3.1.3 Kohlendioxidabtrennung	34
3.1.4 Flüssige Kohlenwasserstoffe (Power-to-Liquids)	36
3.2 Einsatzmöglichkeiten der Produkte	38
3.2.1 Einsatzmöglichkeiten im Mobilitätsbereich	41
3.2.2 Einsatzmöglichkeiten in den Segmenten Strom und Wärme	42
3.2.3 Einsatzmöglichkeit als Rohstoff für industrielle Prozesse	43
3.3 Status Quo der F&E-Aktivitäten im Bereich der Power-to-Gas-Technologie	43
<b>4 Die FTI-Roadmap als Fahrplan für die Zukunft</b>	<b>46</b>
<b>5 Eine Vision für die Technologie und das System Power-to-Gas bis zum Jahr 2030</b>	<b>49</b>
5.1 Vision von Power-to-Gas in Österreich aus der Perspektive des gesamten Energiesystems bis zum Jahr 2030	49
5.2 Vision von Power-to-Gas aus der technologischen Perspektive bis zum Jahr 2030	53
<b>6 Zentrale Herausforderungen in der Weiterentwicklung von Power-to-Gas in Österreich</b>	<b>57</b>
6.1 Herausforderungen und Problemstellung aus systemischer Sicht	57
6.2 Herausforderungen und Problemstellung aus technologischer Sicht	62
<b>7 Handlungsbedarf zur Forcierung von F&amp;E für Power-to-Gas-Systeme in Österreich</b>	<b>66</b>
<b>8 Konkrete Umsetzungsvorschläge für zukünftige Förderprogramme sowie FTI-Maßnahmen des bmvit</b>	<b>74</b>
8.1 Inhaltliche Schwerpunkte	76
8.2 Einbettung der FTI-Roadmap Power-to-Gas für Österreich in das bmvit – Themenmanagement	79
8.3 Vorschläge für konkrete Ausschreibungen mit kurz- und mittelfristiger Perspektive	84

<b>9 Zusammenfassung</b>	<b>86</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>96</b>
<b>Anhang</b>	<b>100</b>
Anhang 1: Design des ExpertInnenworkshops mit wissenschaftlichen Institutionen	100
Anhang 2: Design des ExpertInnenworkshops mit Unternehmen	102
Abbildungsverzeichnis	103
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>103</b>



## Kurzzusammenfassung: FTI-Roadmap Power-to-Gas für Österreich

Eine neue Herausforderung der letzten Jahre, die durch die Forcierung der erneuerbaren Energieträger in der Stromproduktion in Mitteleuropa entstanden ist, ist der steigende Anteil zeitlich volatiler Erzeugung insbesondere durch die steigende Produktion von elektrischer Energie aus Wind- und Sonnenenergie. Eine Möglichkeit zur Langzeitspeicherung von Energie ist hierbei „Power-to-Gas“: die chemische Speicherung der elektrischen Energie in Form von gasförmigen Stoffen wie Methan oder Wasserstoff. Das System Power-to-Gas weist spezifische Vorteile gegenüber anderen Speichertechnologien auf, wie die Möglichkeit der Langzeitspeicherung von Energie in der bestehenden Gasinfrastruktur, die Möglichkeit zur Speicherung hoher Energiekapazitäten, die Verlagerung des Energietransports oder die Bindung von Kohlendioxid usw. Dieser positive volkswirtschaftliche Nutzen bildet auch die Basis für die vorliegende FTI-Roadmap (Forschung, Technologie und Innovation) für das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, die vom Energieinstitut an der JKU Linz unter Einbindung führender nationaler ExpertInnen erstellt wurde.

Im Kontext Power-to-Gas ist für die zukünftige Forschung und Entwicklung in Österreich sowohl die **technologische** als auch die **systemische Perspektive** von immanenter Bedeutung. Beide Dimensionen sind entsprechend zu forcieren. Im Rahmen der Roadmap wurde eine Vision für die Technologie und das System Power-to-Gas entwickelt, sowie die Herausforderungen bzw. der Handlungsbedarf und die daraus abgeleiteten FTI-Instrumente für systemische und technologische Fragestellungen betreffend der Weiterentwicklung von Power-to-Gas erarbeitet. Die wesentlichen identifizierten Handlungsfelder sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

### FTI-Handlungsfelder für Power-to-Gas-Systeme in Österreich

... im Bereich Systemintegration und –entwicklung:	... im Bereich einzelner Technologiekomponenten
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Umsetzung von Demonstrations- und Pilotprojekten in Österreich</b></li> <li>• <b>Umsetzung von ökonomischer und systemischer Forschung für optimale Anwendungsstrategien zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit</b></li> <li>• <b>Durchführung von Analysen zur optimalen Systemintegration (Power-to-Gas in das Energiesystem)</b></li> <li>• Entwicklung neuer Finanzierungsformen</li> <li>• <b>Schärfung und Erweiterung bestehender strategischer Programme, Schaffung neuer Instrumente/Programme</b></li> <li>• Intensivierung strategischer &amp; transnationaler und nationaler Kooperationen</li> <li>• Schaffung von Weiterbildungsangeboten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Implementierung von intelligenten Konfigurationen und Verschaltungen der Anlagen (v.a. im Elektrolysebereich)</b></li> <li>• Stärkung der Hochdruckelektrolyseforschung</li> <li>• Intensivierung von F&amp;E zur Weiterentwicklung der Methanisierung</li> <li>• Materialforschung entlang der gesamten Prozesskette</li> <li>• Weiterentwicklung Power-to-Liquids</li> </ul>

Quelle: Energieinstitut an der JKU Linz

Hinsichtlich der Ausgestaltung der FTI-Fördersysteme im Bereich der Technologie Power-to-Gas wird ein **Instrumentenmix** von Grundlagenforschung, Industrieller Forschung, Experimenteller Entwicklung sowie Demonstrations- und Pilotprojekten als notwendig eingestuft, die durch entsprechende Begleitmaßnahmen (z.B. Aus- und Weiterbildung, Standards und Zertifizierung, regulatorische Maßnahmen, etc.) abgerundet werden.

## Executive Summary: RTI roadmap power-to-gas for Austria

The increasing proportion of temporally volatile electricity production in particular from wind and solar energy is a new challenge in recent years which is caused by the promotion of renewable energy sources in Central Europe. A possibility for long-term energy storage in this case can be power-to-gas: the chemical storage of electricity in the form of gaseous energy carriers such as methane or hydrogen. The system power-to-gas has specific advantages compared to other storage technologies, such as the possibility of long-term storage of energy in the existing gas grid, the ability to store high energy capacities, transferring energy transport from the electricity to the natural gas grid or binding of carbon dioxide, etc. The possible positive macroeconomic benefit is also the basis for the present RTI-Roadmap (Research, Technology and Innovation) for the Austrian Federal Ministry for Transport, Innovation and Technology, compiled by the Energy Institute at the JKU Linz under the involvement of leading national experts.

In the context of power-to-gas the **technological and the systemic perspective** are both of immanent importance for future research and development in Austria and need to be accelerated accordingly. As part of the Roadmap a vision for power-to-gas on the future energy system, the challenges and the need for action as well as resulting RTI instruments for systemic and technological issues concerning the evolution of power-to-gas were developed. The identified fundamental areas of action are summarized in the following table.

### RTI-areas for action for power-to-gas systems in Austria

... from a systemic perspective	... from a technological perspective
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Realization of demonstration and pilot projects in Austria</b></li> <li>• <b>Economic and systemic research to increase the efficiency and feasibility</b></li> <li>• <b>Analysis of system integration (Power-to-gas in the energy system)</b></li> <li>• Development of new forms/options of financing</li> <li>• <b>Focusing and expansion of existing strategic research programs, Implementation of new instruments/programs</b></li> <li>• Intensification of strategic transnational &amp; national collaborations</li> <li>• Enforcement of education and training</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Implementation of intelligent technological configurations (especially in the field of electrolysis)</b></li> <li>• Enforcement of high-pressure electrolysis research</li> <li>• R&amp;D for advancements in methanation technologies</li> <li>• materials research along the process chain</li> <li>• Further development of Power-to-liquids</li> </ul>

Source: Energy Institute at the JKU Linz

Regarding the design of the RTI support systems in the field of Power-to-gas technologies a **mix of instruments** from basic research, industrial research, experimental development and demonstration/pilot projects is considered as necessary, which are accompanied by appropriate actions in the field of education and training, standards and certification as well as legal norms.

### 1 Einleitung

Die vorliegende FTI-Roadmap Power-to-Gas für Österreich wurde seitens des Energieinstituts an der Johannes Kepler Universität Linz im Auftrag des Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Abt. Energie- und Umwelttechnologien III/I-3, erstellt.

Die verstärkte Integration volatiler erneuerbarer Energieträger impliziert in Mitteleuropa, jedoch im Besonderen in Deutschland sowie in Teilen auch bereits in Ostösterreich eine erhöhte Herausforderung zu neuen Flexibilisierungsoptionen im Energiesystem. Basierend auf klimapolitischen Zielen und Vorgaben wurde in den letzten Jahren die verstärkte Integration erneuerbarer Energieträger in das Energiesystem auf nationaler und auf europäischer Ebene beschlossen und umgesetzt. Von zentraler Bedeutung sind hierbei u.a. die Richtlinie zur Förderung von erneuerbaren Energieträgern<sup>1</sup> sowie das „Klima- und Energiepaket“ der Europäischen Union.<sup>2</sup> Die forcierte Implementierung erneuerbarer Energieträger ist u.a. vor dem klimapolitischen Hintergrund der Treibhausgasemissionsreduktion bzw. der Dekarbonisierung zu sehen (Reduktion der Treibhausgasemissionen in der Europäischen Union um mindestens 20% im Jahr 2020 gegenüber dem Jahr 2005), zudem auch im Kontext einer verminderten Importabhängigkeit und dadurch auch im Sinne der Versorgungssicherheit von Bedeutung (die damit verbundenen detaillierten europäischen politischen Ziele und Rahmenbedingungen sind hierzu in Kapitel 1.1 dargestellt). Die politischen Rahmenbedingungen auf Basis volkswirtschaftlicher Herausforderungen generieren bei einer optimalen Umsetzung positive Effekte, bewirken allerdings auch neue Problemstellungen im System. Eine neue Herausforderung der letzten Jahre, die durch die Forcierung der erneuerbaren Energieträger in der Stromproduktion in Mitteleuropa entstanden ist, ist der steigende Anteil volatiler Erzeugung insbesondere durch steigende Produktionsanteile von elektrischer Energie aus Wind- und Sonnenenergie. Diese zunehmende Volatilität verursacht ohne Lösungsstrategien die Notwendigkeit von Überkapazitäten bzw. Redundanzen und auch eine zunehmende Destabilisierung der Leitungsnetze.

Eine Möglichkeit, die Problematik die volatile Energieproduktion aus Wind- und Solarenergie in einer ressourceneffizienten Form in den Griff zu bekommen und somit auch eine signifikante Herausforderung der Weiterentwicklung des Energiesystems anzugehen, stellt

---

<sup>1</sup> Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG.

<sup>2</sup> European Commission (2008) Europe's climate change opportunity: 20-20 by 2020. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. COM(2008) 30 final.

eine Forcierung der Energiespeicherung dar. Hierbei existiert aktuell eine überschaubare Anzahl an implementierten Speicherformen für elektrische Energie. Die im Moment einzige großvolumig verfügbare Speichertechnologie, die dem Energiesystem neben Flexibilisierungsoptionen wie Lastmanagement für die Speicherung von elektrischer Energie voll ausgereift zur Verfügung steht, ist das Pumpspeicherkraftwerk. Neben allen Vorteilen, die diese Technologie beinhaltet, sind Pumpspeicherkraftwerke aber auch mit Restriktionen wie der Abhängigkeit von topografischen Gegebenheiten konfrontiert. Daher ist es notwendig, alternative Speichertechnologien weiterzuentwickeln, um aus der Diversifizierung heraus spezifische Technologien mit ihren Vorteilen für verschiedene Systemaufgaben zu nutzen. Eine Option kann hier Power-to-Gas darstellen.

Von Power-to-Gas spricht man, sofern eine chemische Speicherung der elektrischen Energie in Form von gasförmigen Stoffen wie Methan oder Wasserstoff durchgeführt wird.. Die Power-to-Gas-Technologien bzw. Systeme befinden sich aktuell im Jahr 2014 am Beginn ihres Entwicklungsstadiums und einzelne Pilot- und Demonstrationsanlagen wurden bereits in unterschiedlichen Größenordnungen realisiert bzw. konzipiert.<sup>3</sup> Das System Power-to-Gas weist spezifische Vorteile gegenüber anderen Speichertechnologien auf, wie die Möglichkeit der Langzeitspeicherung von Energie, die Möglichkeit zur Speicherung enormer Energiekapazitäten, die Verlagerung des Energietransports oder die Bindung von Kohlendioxid usw. Für eine ausführliche Erläuterung der technologischen, energetischen, ökonomischen, systemischen und ökologischen Eigenschaften sei an dieser Stelle auf die Literatur verwiesen, wie etwa auf Steinmüller, Tichler, Reiter et al. (2014), wo eine umfassende Analyse des Systems Power-to-Gas durchgeführt wird.

Kurz zusammengefasst wird durch die Technologie bzw. das System Power-to-Gas eine Langzeitspeicherung von elektrischer Energie ermöglicht, die in dieser Form im Energiesystem nicht vorhanden ist, wodurch das Energiesystem ressourceneffizienter und flexibler gestaltet werden kann. Dadurch kann eine forcierte Integration von emissionsarmen bzw. -freien Technologien wie Windkraft und Photovoltaik auch weiter realisiert werden, wodurch die Erreichung der klima- und energiepolitischen Ziele forciert wird. Weiters ermöglicht Power-to-Gas neue Optionen im Energietransport durch eine Lastverschiebung vom Strom- zum Gasnetz, sodass zentrale Problemstellungen wie sozioökonomische Herausforderung des Stromnetzausbaus verringert werden können. Darüber hinaus impliziert Power-to-Gas weitere Stärken wie eine Einbindung von Kohlendioxid im Sinne von Carbon Capture and Utilization, die Bereitstellung eines neuen erneuerbaren Energieträgers insbesondere am Mobilitätsmarkt (ohne Flächenkonkurrenz zur Lebensmittelproduktion) sowie die Möglichkeit der Schaffung autarker Energievollversorgung (unter Einbeziehung von Brennstoffzellen) für topografisch entlegene Gebäude oder back-up-Systeme.

---

<sup>3</sup> Vgl. Tichler (2013a) „Volkswirtschaftliche Relevanz von Power-to-Gas für das zukünftige Energiesystem“. In: IEWT 2013, „Erneuerbare Energien: überforderte Energiemärkte?“. Download unter: <http://www.energieinstitut-linz.at/index.php?menuid=60&reporeid=208>

Die gelisteten Stärken der Technologie Power-to-Gas beinhalten insbesondere einen übergeordneten Nutzen für das gesamte Energiesystem sowie für die gesamte Volkswirtschaft. Dieser positive volkswirtschaftliche Nutzen bildet auch die Basis für die vorliegende Roadmap; ohne koordinierte Förderung einer neuen Technologie bzw. eines neuen Systems am Anfang seines Entwicklungsprozesses durch die öffentliche Hand wird eine Realisierung des positiven Nutzen durch die Weiterentwicklung und Implementierung der Technologie nur sehr schwer möglich sein.

### **Bedeutung von Forschung und Entwicklung im Bereich Power-to-Gas für Österreich**

**Die (Weiter-)Entwicklung** der Power-to-Gas-Technologien und Systeme weist für Österreich im internationalen Kontext eine besondere Bedeutung auf. Die Notwendigkeit für Forschung und Entwicklung zu Power-to-Gas in Österreich basiert insbesondere auf folgenden Parametern:

- **Weiterer Ausbau Österreichs als zentrale Energiespeicherregion:**  
Österreich sollte aus volkswirtschaftlichen Gründen aufgrund seiner topografischen, geologischen und zentralen geografischen Gegebenheiten seine Stärke als fundamentaler Player im Bereich der Energiespeicherung weiter ausbauen und somit neben Gasspeicher, Pumpspeicher auch dezentrale Speichersysteme wie Power-to-Gas forcieren, um Einfluss auf die Struktur des Energiesystems nehmen und die Versorgungssicherheit weiter ausbauen zu können
- **Effiziente Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energieträger:**  
Die bedeutenden zentralen energiepolitischen Weichenstellungen zur weiteren Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energieträger in Österreich verlangt zum einen eine verstärkte Ressourceneffizienz und zum anderen auch eine verstärkte Anhebung erneuerbarer Kraftstoffe – beide Anstrengungen können simultan durch die Implementierung von Power-to-Gas-Anlagen unterstützt werden
- **Sicherung der Stromnetzstabilität durch dezentrale Energiespeicher:**  
Die Prognosen zur Entwicklung des Ausbaus der österreichischen Stromproduktion zeigen für v.a. für Ostösterreich weiterhin stark steigende Anteile der volatilen Produktion durch neue Windkraftanlagen. Dezentrale Speichersysteme wie Power-to-Gas können das Lastmanagement des Stromnetzes signifikant unterstützen, Power-to-Gas-Anlagen können zudem den Energietransport zum Gasnetz verlagern, sodass der Stromnetzausbau reduziert werden kann, wodurch soziale/soziodemografische Probleme verringert werden.

Das System bzw. die Technologie Power-to-Gas ist als relativ komplex hinsichtlich Betrieb und Anwendung einzustufen. Die Weiterentwicklung des Power-to-Gas-Systems in Österreich durch Forschung und Entwicklung ist somit essentiell zur Realisierung der positiven Systemnutzen und zur Abdeckung der Notwendigkeit des Ausbaus, da ein singulärer Know-how-Transfer nach Österreich aus anderen Regionen aufgrund der Komplexität der Anlagen einen unzureichenden Informationsstand bieten würde.

Die Relevanz von Power-to-Gas an sich für die österreichische Volkswirtschaft lässt sich auch auf Basis von bisher unternommenen Potentialanalysen ablesen. So etwa analysiert die TU Wien (2011) im Projekt Super-4-Micro-Grid <sup>4</sup> sowie in Steinmüller, Tichler, Reiter et al. (2014) <sup>5</sup> im Falle einer vollständigen Versorgung Österreichs mit elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen ein Speicherpotential von Power-to-Gas-Anlagen in Österreich von bis zu 4 GW an installierter Leistung (siehe dazu auch Kapitel 2.1).

Es ist in diesem Zusammenhang explizit darauf hinzuweisen, dass das System Power-to-Gas eine Lösungsoption in einer breiten Palette an für das Energiesystem notwendigen bzw. erforderlichen Technologien und Systeme darstellt. Eine weitere Form der Einbindung von „Überschussstrom“ stellt hierbei beispielsweise das Konzept Power-to-Heat dar, in dem elektrische Energie in das Wärmenetz transferiert wird. Im Kontext der vorliegenden Roadmap wird allerdings ausschließlich die Rolle sowie die Herausforderungen des Systems Power-to-Gas als ein Beitrag zur Sicherstellung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit der österreichischen Volkswirtschaft beleuchtet werden. Die erläuterten volkswirtschaftlichen Vorteile, die durch eine (Weiter-)Entwicklung von Power-to-Gas-Komponenten und -Systemen erreicht werden können, sind auch im Sinne einer Sicherstellung der Leistbarkeit von Energie für Verbraucher und damit der sozialen Verträglichkeit und einer optimalen Systemintegration zu betrachten, sodass die Forschung und Entwicklung auch auf dieser Basis von zentraler Bedeutung für Österreich ist. Es ist im aktuellen Technologiestadium von Power-to-Gas wesentlich, bereits zu Beginn der Technologieentwicklung auch die weitere optimale Ausgestaltung des flexibel anwendbaren Systems zu eruieren und den Bedarf hinsichtlich Forschung, Entwicklung und Innovation der Power-to-Gas Systeme mit einem entsprechenden Fahrplan in die Zukunft zu erstellen. In der vorliegenden Studie erfolgt daher die Konzeptionierung einer FTI-Roadmap für das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit) zum Thema Power-to-Gas.

Ziel ist die Realisierung einer Roadmap zur Forcierung von Forschung, Entwicklung und Technologieinnovation zu Power-to-Gas, die von der öffentlichen Hand umgesetzt werden kann und den spezifischen Handlungsbedarf in den verschiedenen Segmenten von Power-to-Gas inkludiert. Die FTI-Roadmap beinhaltet hierbei Vorschläge für österreichische Förderprogramme zu Power-to-Gas mit inhaltlichen Schwerpunkten sowie einen Vorschlag zur zeitlichen Umsetzung.

Ein Schwerpunkt der Power-to-Gas-FTI-Roadmap liegt zudem auf der Einbindung des Mobilitätsbereichs und der Erzeugung von höherwertigen (flüssigen) Kohlenwasserstoffen wie z.B. Methanol auf Basis von Kohlendioxid und Wasserstoff aus elektrischer Energie.

---

<sup>4</sup> TU Wien (2011) "Super-4-Micro-Grid" - Nachhaltige Energieversorgung im Klimawandel, Wien: Klima und Energiefonds.

<sup>5</sup> Vgl. Steinmüller, H., Tichler, R., Reiter, G. et. al (2014) Power-to-Gas – eine Systemanalyse. Markt- und Technologiescouting und –analyse. Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz, TU Wien, MU Leoben, JKU Linz; im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend.

Diese unter dem Begriff „Power-to-Liquids“ zusammengefassten Technologien werden ebenfalls in der vorliegenden Roadmap mitbetrachtet.

Die Realisierung des vorliegenden Konzeptes einer FTI-Roadmap für Power-to-Gas in Österreich beinhaltet neben der Einbringung des Know-hows des Auftragnehmers vor allem auch die Integration der Ergebnisse zweier durchgeführter ExpertInnenworkshops mit VertreterInnen österreichischer wissenschaftlicher Institutionen sowie österreichischer Unternehmen, die bereits im Themenfeld Power-to-Gas Forschung und Entwicklung betreiben.

### **Definition von Power-to-Gas und technologische Systemgrenze im Rahmen der gegenständlichen FTI-Roadmap:**

Der Begriff Power-to-Gas beinhaltet im Rahmen der gegenständlichen FTI-Roadmap die Nutzung von (überschüssiger) elektrischer Energie aus erneuerbaren Energieträgern zur Produktion von Wasserstoff in einem Elektrolyseur und optional auch die Synthese dieses erzeugten Wasserstoffs mit Kohlendioxid zu Methan oder zu anderen Kohlenwasserstoffen.

Der technologische Fokus im Rahmen der gegenständlichen FTI-Roadmap liegt

- in der Umwandlung von elektrischer Energie in einer elektrolytischen Wasserstoffbereitstellung ohne zusätzlichen Primärenergieträgereinsatz über Biomasse oder fossiler Rohstoffe außerhalb der Stromproduktion,
- in der optionalen Synthese dieses erzeugten Wasserstoffs mit Kohlendioxid zu Methan oder anderen flüssigen oder gasförmigen Kohlenwasserstoffen, aber
- nicht auf der technologischen Option einer Rückverstromung in Brennstoffzellen oder anderen Technologien – allerdings wird die Möglichkeit einer Rückverstromung aus systemischer Sicht berücksichtigt.

Mit Bezug auf die voranstehende Definition von Power-to-Gas bzw. der Systemgrenze in der vorliegenden FTI-Roadmap ist auch exemplarisch auf andere themenverwandte Roadmaps zu verweisen, die außerhalb der definierten Systemgrenze – jedoch wie erwähnt themenverwandt bzw. auch mit anderen geografischen Systemgrenzen erstellt wurden, zu verweisen. Folgende Roadmaps können hierzu exemplarisch genannt werden:

- European Commission (2008) HyWays. The European Hydrogen Roadmap. Luxembourg.  
Download unter: [ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/energy/docs/hyways-roadmap\\_en.pdf](ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/energy/docs/hyways-roadmap_en.pdf)
- Dena (2012) Eckpunkte einer Roadmap Power to Gas. Deutsche Energieagentur.  
Download unter:  
[http://www.powertogas.info/fileadmin/user\\_upload/downloads/Positionen\\_Thesen/Eckpunkte\\_Roadmap\\_Power\\_to\\_Gas.pdf](http://www.powertogas.info/fileadmin/user_upload/downloads/Positionen_Thesen/Eckpunkte_Roadmap_Power_to_Gas.pdf)
- Andreas Lugmaier et al. (2010) Roadmap Smart Grids Austria. Der Weg in die Zukunft der elektrischen Stromnetze! Nationalen Technologieplattform Smart Grids Austria. Wien.  
Download unter: [http://download.nachhaltigwirtschaften.at/edz\\_pdf/20100618\\_smartgrids\\_roadmap\\_austria.pdf](http://download.nachhaltigwirtschaften.at/edz_pdf/20100618_smartgrids_roadmap_austria.pdf)
- e-mobil BW GmbH, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE (Hrsg.) (2013) Wasserstoffinfrastruktur für eine nachhaltige Mobilität. Entwicklungsstand und Forschungsbedarf.  
Download unter: <http://www.forum-elektromobilitaet.de/assets/mime/76caa9b933308f5b9306f9adbbf45aaa/Wasserstoff-Infrastruktur-fuer-eine-nachhaltige-Mobilitaet.pdf>
- OECD/IEA (2008) Technology Roadmap. Biofuels for Transport. Paris.  
Download unter: [http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Biofuels\\_Roadmap\\_WEB.pdf](http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Biofuels_Roadmap_WEB.pdf)
- Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI (Hrsg.) (2012) Technologie-Roadmap Energiespeicher für die Elektromobilität 2030. Karlsruhe.  
Download unter: [http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/v/de/publikationen/Technologie\\_Roadmapping\\_Broschuere.pdf](http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/v/de/publikationen/Technologie_Roadmapping_Broschuere.pdf)

### Struktur der FTI-Roadmap

Das folgende Kapitel 1.1 behandelt zuerst die relevanten politischen Rahmenbedingungen auf europäischer Ebene im Kontext Power-to-Gas. In Kapitel 2 werden Funktion und Nutzen des Systems bzw. der Technologie Power-to-Gas erläutert, bevor anschließend in Kapitel 3 die Darstellung des Status quo der Forschung und Entwicklung zu Power-to-Gas in Österreich erfolgt. Kapitel 4 veranschaulicht die zentrale methodische Vorgehensweise der Erstellung der FTI-Roadmap. In Kapitel 5 wird sodann die Vision zu Power-to-Gas auf Basis des Stakeholderprozesses im Sinne der Einbindung von ExpertInnen und Auftraggeber im Rahmen der ExpertInnenworkshops erläutert. Anschließend werden darauf aufbauend die zentralen Herausforderungen zur Weiterentwicklung des Systems in Kapitel 6 erörtert, ehe in Kapitel 7 der konkrete Handlungsbedarf zur Forcierung von Forschung, Entwicklung und Technologieinnovation von Power-to-Gas in Österreich dargestellt wird. Darauf aufbauend wird in Kapitel 8 ein Vorschlag für zukünftige Förderprogramme sowie FTI-Maßnahmen des bmvit integriert. Abschließend erfolgt in Kapitel 9 eine Zusammenfassung der zentralen Inhalte der Roadmap.



## 1.1 Politische Rahmenbedingungen auf europäischer Ebene im Kontext Power-to-Gas

Die von der Europäischen Kommission veröffentlichten Fahrpläne für den Übergang zu einer wettbewerbsfähigen, CO<sub>2</sub>-armen Wirtschaft bis 2050 und der Energiefahrplan 2050 haben – in Übereinstimmung mit dem EU-Ratsbeschluss zur Einhaltung des 2 °C-Ziels – eine langfristige Reduktion der Treibhausgasemissionen von 80-95% zum Ziel.<sup>6</sup> Der Fahrplan für ein ressourcenschonendes Europa berücksichtigt die Knappheit natürlicher Ressourcen in der europäischen Wirtschaftsentwicklung und spiegelt sich im österreichischen Ressourceneffizienz-Aktionsplan<sup>7</sup> wieder.

Darin ist das Ziel der Anhebung der nationalen Ressourceneffizienz bis zum Jahr 2020 um mindestens 50% angeführt. Damit soll die österreichische Wirtschaftsentwicklung vom Ressourcenverbrauch und den einhergehenden Umweltauswirkungen in Absolutzahlen entkoppelt werden. In den Fahrplänen bis zum Jahr 2050 hat die Europäische Kommission auch die Nutzung von Nuklearenergie und Carbon Capture and Storage<sup>8</sup> vorgesehen.

**Tabelle 1: Kurz-, mittel- und langfristige Rahmenbedingungen der EU zu CO<sub>2</sub>, Erneuerbaren Energien, Energieeffizienz und eingesetzter Technologie**

Kategorie	Kurzfristig	Mittelfristig (2030)	Langfristig (2050)
<b>CO<sub>2</sub></b>	Allgemein: -20% EU ETS: -21%	Allgemein: -40% (noch nicht fixiert) EU ETS: -45% (noch nicht fixiert)	Allgemein: -80%
<b>Erneuerbare Energien</b>	Allgemein: 20%	aus CO <sub>2</sub> -Ziel	aus CO <sub>2</sub> -Ziel
<b>Energieeffizienz</b>	Allgemein: -20%	aus CO <sub>2</sub> -Ziel	aus CO <sub>2</sub> -Ziel
<b>Eingesetzte Technologie</b>	Beste verfügbare Technologie	Beste verfügbare Technologie	Beste verfügbare Technologie

Quelle: Energieinstitut an der JKU Linz

<sup>6</sup> Vgl. S.4, Fahrplan für den Übergang zu einer wettbewerbsfähigen CO<sub>2</sub>-armen Wirtschaft bis 2050. Europäische Kommission KOM(2011) 112 endgültig vom 8.3.2011.

<sup>7</sup> Vgl. Lebensministerium [Hrsg.] (2012) Ressourceneffizienz Aktionsplan ( REAP ). Wegweiser zur Schonung natürlicher Ressourcen, Wien.

<sup>8</sup> Carbon Capture and Storage wurde in Österreich verboten (CCS-Gesetz; BGBl. Nr. 144/2011).

### Ziele/Rahmenbedingungen für CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion auf europäischer Ebene

In den sechs Dokumenten des Klimapakets wurden 2009 20% CO<sub>2</sub>-Einsparung bis 2020 (100% = 1990) legal bindend gemacht.<sup>9</sup> Ideal (am kostengünstigsten) seien laut „Roadmap 2050“ der Europäischen Kommission Einsparungen von -25%, das entspricht -1%/a zwischen 2010 und 2020.<sup>10</sup>

Für die energieintensive Industrie ist primär die dritte Phase des Europäischen Emissionshandels (ETS) von Bedeutung. „Die Treibhausgasemissionen der Industriesektoren, die vom ETS erfasst sind, sollen bis 2020 um 21% (verglichen mit 2005) gesenkt werden. Die Anzahl der Emissionszertifikate wird jährlich sinken, so dass auch die Gesamtemissionen jedes Jahr zurückgehen. [...] Grundsätzlich versteigern ab dem Jahr 2013 die Mitgliedstaaten sämtliche Zertifikate. Es sind jedoch zahlreiche Ausnahmen vorgesehen. [...] Für das produzierende Gewerbe wird die Versteigerung schrittweise eingeführt: 2013 werden 80% kostenlos zugeteilt; dieser Anteil sinkt bis 2020 auf 30%; im Jahr 2027 werden dann 100% der Zertifikate versteigert. [...] Jedoch werden Anlagen in Sektoren, in denen ein "erhebliches Risiko der Verlagerung von CO<sub>2</sub>-Emissionen in Länder mit weniger strikten Klimaschutzbestimmungen besteht, 100% der Zertifikate kostenfrei zugeteilt.“<sup>11</sup> Die Vermeidung des „carbon leakage“ wird in der Emissionshandelsrichtlinie geregelt.<sup>12</sup> Ausgenommene Sektoren (d.h. Sektoren, die nicht an der Versteigerung beteiligt werden und weiterhin 100% der Zertifikate kostenlos zugeteilt bekommen) werden in einem Beschluss der Kommission festgehalten, der maximal alle fünf Jahre aktualisiert wird.<sup>13</sup>

Außerhalb des Emissionshandels stehende Sektoren sind für einen signifikanten Teil der Treibhausgasemissionen verantwortlich und sollen daher ebenfalls einen Beitrag für das EU-Reduktionsziel von 20% leisten. Die Entscheidung über die Anstrengungen der Mitgliedstaaten ihre Emissionen in nicht vom ETS erfassten Sektoren zu reduzieren gibt Österreich ein Reduktionsziel von 16% vor. Da es sich um die Sektoren außerhalb des EU-ETS handelt, sind energieintensive Industrien nur am Rande betroffen.<sup>14</sup>

---

<sup>9</sup> Vgl. Das EU-Klimapakets. Web: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+IM-PRESS+20081208BKG44004+0+DOC+XML+V0//DE>, online 2008-12-17, Download am 2014-02-17.

<sup>10</sup> Vgl. S.4, Fahrplan für den Übergang zu einer wettbewerbsfähigen CO<sub>2</sub>-armen Wirtschaft bis 2050. Europäische Kommission KOM(2011) 112 endgültig vom 8.3.2011.

<sup>11</sup> Siehe Das EU-Klimapakets. Web: <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+IM-PRESS+20081208BKG44004+0+DOC+XML+V0//DE>, online 2008-12-17, Download am 2014-02-17, Abschnitt „Richtlinie über die Dritte Phase des Europäischen Emissionshandelssystems“.

<sup>12</sup> Vgl. Artikel 10a Abs. (12) der Richtlinie 2009/29/EG.

<sup>13</sup> Vgl. Beschluss der Kommission vom 24. Dezember 2009 zur Festlegung eines Verzeichnisses der Sektoren und Teilsektoren, von denen angenommen wird, dass sie einem erheblichen Risiko einer Verlagerung von CO<sub>2</sub>-Emissionen ausgesetzt sind, gemäß der Richtlinie 2003/87/EG des Europäischen Parlaments und des Rates.

<sup>14</sup> Vgl. Anhang II, Entscheidung 406/2009/EG.

Mit den aktuellen Politiken werden in den Jahren 2020 bzw. 2030 die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Vergleich zu 1990 um 24% bzw. 32% sinken.<sup>15</sup> Vorgaben bis 2030 sind in Vorbereitung, legal bindend sind über das Jahr 2020 hinaus derzeit noch keine Zielsetzungen. Die „Roadmap 2050“ sieht ein mittelfristiges Ziel von -40% bis 2030 (100% = 1990) vor, das entspricht -1,5%/a zwischen 2020 und 2030.<sup>16</sup> Das begleitende Impact Assessment sieht einen kosteneffektiven Beitrag des Emissionshandels von -45% (43-48%).<sup>17</sup>

Langfristig beschreibt die „Roadmap 2050“ den idealen Zielpfad mit -60% bis 2040 (100% = 1990) und -80% bis 2050 (100% = 1990), wobei in den beiden Jahrzehnten von 2030-2050 jährlich eine Reduktion von -2% erzielt werden sollte.<sup>18</sup>

### **Ziele/Rahmenbedingungen für Erneuerbare Energien auf europäischer Ebene**

Die EU hat sich zum Ziel gesetzt, bis 2020 den Anteil erneuerbarer Energien auf 20% zu steigern. Die Richtlinie 2009/28/EG schafft einen einheitlichen „Rahmen für die Förderung von Energie aus erneuerbaren Quellen“. Dazu werden ein Mindestanteil an erneuerbaren Energien am Bruttoendenergieverbrauch definiert, und weitere Bestimmungen zur Vergleichbarkeit und Handelbarkeit erlassen.<sup>19</sup> Bis 30. Juni 2010 hatte jeder Mitgliedsstaat der Kommission einen Aktionsplan für erneuerbare Energie zu übermitteln (NREAP). Dieser stellt dar, wie und mit welchem Aufwand die im Anhang der Richtlinie definierten Anteile der erneuerbaren Energiequellen in den einzelnen Mitgliedsstaaten erreicht werden sollen bzw. können.<sup>20</sup> Der entsprechende österreichische NREAP gibt einen reduzierten Verbrauch von 13% gegenüber einem Basisszenario und eine Erhöhung der über erneuerbare Quellen bereitgestellten Energiemenge um 18% an (2008 betrug der Anteil erneuerbarer Energien in Österreich bereits 29%).<sup>21</sup>

---

<sup>15</sup> Vgl. S.2., A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030. European Commission COM(2014) 15 final, 22.1.2014.

<sup>16</sup> Vgl. S.4, Fahrplan für den Übergang zu einer wettbewerbsfähigen CO<sub>2</sub>-armen Wirtschaft bis 2050. Europäische Kommission KOM(2011) 112 endgültig vom 8.3.2011.

<sup>17</sup> Vgl. S.23, Commission Staff Working Document – Impact Assessment – Accompanying the Communication A policy framework for climate and energy in the period from 2020 up to 2030.

<sup>18</sup> Vgl. S.4 im Fahrplan für den Übergang zu einer wettbewerbsfähigen CO<sub>2</sub>-armen Wirtschaft bis 2050. Europäische Kommission KOM(2011) 112 endgültig vom 8.3.2011.

<sup>19</sup> Vgl. Artikel 1 der Richtlinie 2009/28/EG.

<sup>20</sup> Vgl. Artikel 4. der Richtlinie 2009/28/EG.

<sup>21</sup> Vgl. S.1, Nationaler Aktionsplan 2010 für erneuerbare Energien für Österreich. WIFO, Juli 2010. Web: [http://www.wifo.ac.at/jart/prj3/wifo/resources/person\\_dokument/person\\_dokument.jart?publikationsid=40224&mime\\_type=application/pdf](http://www.wifo.ac.at/jart/prj3/wifo/resources/person_dokument/person_dokument.jart?publikationsid=40224&mime_type=application/pdf), Download am 2014-02-19.

Mit den aktuellen Politiken wird in den Jahren 2020 bzw. 2030 der Anteil erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch 21% bzw. 24% betragen.<sup>22</sup> Allgemeine Vorgaben bis 2030 sind aktuell in Vorbereitung und werden intensiv diskutiert.

Die europäische Diskussion zum Ziel der Erneuerbaren Energien ist getrieben von regionaler Wertschöpfung, Verminderung der Importabhängigkeit, aber v.a. von der Klimathematik. Dementsprechend ist davon auszugehen, dass sich eventuelle langfristige Ziele bis 2050 für Erneuerbare Energien an den Klimazielen orientieren werden.

### **Ziele/Rahmenbedingungen für Forcierung der Energieeffizienz auf europäischer Ebene**

Die EU hat sich zum Ziel gesetzt, den Primärenergieverbrauch bis 2020 (im Vergleich zu einem Basisszenario mit steigendem Verbrauch) um 20% zu reduzieren.

- Ecodesign und Labelling: sind v.a. für Massenprodukte anzuwenden und daher für Prozesse in der energieintensiven Industrie von nachrangiger Bedeutung.<sup>23</sup>
- Emissionshandel (ETS): Bei gleich bleibender Produktionsmenge kann die Emissionsreduktion im Rahmen des EU ETS durch Erneuerbare oder Energieeffizienz erzielt werden. Es entstehen also (neben den Anreizen aus dem hohen Energiekostenanteil an den Gesamtkosten der energieintensiven Industrie) aus dem CO<sub>2</sub>-Ziel umfangreiche Anreize zur Verbesserung der Energieeffizienz.
- Energieeffizienzrichtlinie (EED): Für den Zeitraum 1.1.2014 bis 31.12.2020 müssen Mitgliedstaaten ein Energieeffizienzverpflichtungssystem implementieren, das jährliche Einsparungen in Höhe von 1,5% des durchschnittlichen Endenergieverbrauchs (exkl. Verkehr) erbringt. In Summe maximal ein Viertel der 1,5% dürfen durch eine Implementierungsphase mit steigendem Zielwert, durch Berücksichtigung des Emissionshandels, durch KWK oder durch Early Actions abgedeckt werden. Der (teilweise) Opt-Out vom EVU-Verpflichtungssystem ist zulässig durch Energie- oder CO<sub>2</sub>-Steuern, Förderungen, Regelungen und freiwillige Vereinbarungen, Standards und Normen, weiterreichende Energiekennzeichnung (Labelling) und berufliche Weiterbildung. Jedenfalls werden zur Sicherung der Qualität dieser alternativen Maßnahmen Kriterien aufgestellt.

Art. 8 Abs. 3 stellt für „Unternehmen, die kein KMU sind“ klar, dass sie sich zumindest alle vier Jahre einem Audit unterziehen müssen. Ausgenommen sind jene Unternehmen, die ein Energie- oder Umweltmanagementsystem anwenden, das ein Audit umfasst. Nach Erwägungsgrund 24 sind für Audits und Managementsysteme die Normen EN 16247-1 oder ISO 50001 einzuhalten bzw. ein Umweltmanagementsystem gemäß EN ISO 14000, bei dem ein Energieaudit enthalten ist, einzuführen.

---

<sup>22</sup> Vgl. S.2., A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030. European Commission COM(2014) 15 final, 22.1.2014.

<sup>23</sup> Vgl. Richtlinien 2005/32/EG und 2009/125/EG.

- Best Available Technologies: Für definierte Industriebranchen oder Produktgruppen („vertikal“) werden Kennzahlen betreffend Energieverbrauch pro Produkteinheit bestimmt und als Stand der Technik definiert. „BREF“-Dokumente liegen im Zuge der IPPC-Richtlinie vor, verbindliche BATC-Dokumente werden im Zuge der IED-Richtlinie ausgearbeitet. Das im Zuge der IPPC-Richtlinie erstellte BREF zu Energieeffizienz gibt umfassende Techniken an, die allgemeingültig („horizontal“) zur Verbesserung der Energieeffizienz in der Industrie herangezogen werden können.

## 2 Funktion und Nutzen von Power-to-Gas im Energiesystem<sup>24</sup>

Basierend auf den beschriebenen energie- und klimapolitischen Zielen und Vorgaben wurde in den letzten Jahren die verstärkte Integration erneuerbarer Energieträger in das Energiesystem beschlossen und bereits teilweise umgesetzt. Neben der Reduktion der Treibhausgasemissionen und der damit verbundenen Eindämmung der globalen Erderwärmung spielen dabei auch Faktoren wie die Reduktion der Importabhängigkeit, die Erhöhung der heimischen Wertschöpfung oder die Preisstabilität eine zentrale Rolle.

Erneuerbare Energiequellen, wie z.B. Wind- oder Solarenergie weisen ein großes Potential zur Senkung der globalen Treibhausgasemissionen im Stromsektor auf. Aufgrund der stark fluktuierenden und intermittierenden Charakteristik ist eine verstärkte Implementierung von Windkraft oder Photovoltaik allerdings auch mit großen Herausforderungen verbunden. Während die erneuerbaren Stromerzeuger mit fluktuierendem Output hinsichtlich der installierten Leistungen in der globalen Stromerzeugung noch eine untergeordnete Rolle spielen, können lokal bereits Probleme auftreten. In Regionen mit hohem Anteil von Windkraft oder Photovoltaik kommt es heute schon zu temporären Abschaltungen bzw. stundenweise negativen Strompreisen. Im Jahr 2012 lag der Anteil aller erneuerbarer Energien an der globalen Stromproduktion bei rund 22%, wobei der größte Teil davon auf die Wasserkraft (16,5%) entfällt.<sup>25</sup> Windkraft und Photovoltaik stellen bislang nur einen kleinen Anteil dar, wobei beide hohe Wachstumsraten verzeichnen und in Zukunft wesentlich zur erneuerbaren Stromerzeugung beitragen werden. Die Boston Consulting Group<sup>26</sup> prognostiziert beispielsweise für die nächsten Jahre (bis 2025) einen starken Anstieg der installierten Leistung von Windkraft und Photovoltaik weltweit. Die Prognosen für ausgewählte Länder in Europa sind in Abbildung 1 dargestellt.<sup>27</sup>

Mit steigendem Anteil fluktuierender erneuerbarer Energiequellen in der Stromerzeugung steigen auch der Bedarf nach Energiespeichertechnologien und die Notwendigkeit des Lastausgleichs. Für die Kompensation von Fluktuationen in der Stromproduktion

---

<sup>24</sup> Teile dieses Kapitels wurden bereits veröffentlicht in Reiter, Lindorfer (2013) Möglichkeiten der Integration von Power-to-Gas in das bestehende Energiesystem. In: Steinmüller H, Hauer A, Schneider F (Hrsg.) Jahrbuch Energiewirtschaft 2013. NWV Verlag, Wien 2013. ISBN 978-3-7083-0954-5 bzw. in Steinmüller, H., Tichler, R., Reiter, G. et. al (2014) Power-to-Gas – eine Systemanalyse. Markt- und Technologiescouting und – analyse. Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz, TU Wien, MU Leoben, JKU Linz; im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend.

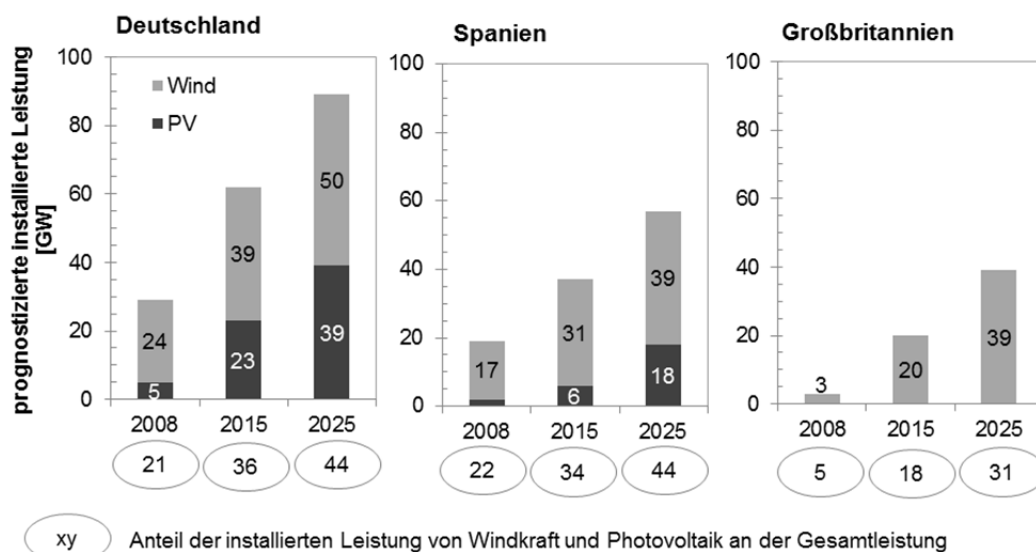
<sup>25</sup> Vgl. REN21 (2013) Renewables 2013 Global Status Report. Paris, REN21 Secretariat. [http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2013/GSR2013\\_lowres.pdf](http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2013/GSR2013_lowres.pdf), Zugriff am 21.05.2012

<sup>26</sup> Vgl. Pieper Cornelius, Rubel Holger. Electricity Storage – Making Large-Scale Adoption of Wind and Solar Energies a Reality. The Boston Consulting Group, 2010.

<sup>27</sup> Vgl. Reiter, Lindorfer (2013) Möglichkeiten der Integration von Power-to-Gas in das bestehende Energiesystem. In: Steinmüller H, Hauer A, Schneider F (Hrsg.) Jahrbuch Energiewirtschaft 2013. NWV Verlag, Wien 2013. ISBN 978-3-7083-0954-5

erneuerbarer Energiequellen gibt es gemäß Pieper et al.<sup>28</sup> vier verschiedene Möglichkeiten. Eine dieser Möglichkeiten ist der Ausbau des öffentlichen Stromnetzes, der zu einem verbesserten regionalen Ausgleich führen soll. Der Ausbau des Stromnetzes ist aufgrund der signifikanten Eingriffe in die Topografie allerdings meist mit politischen Barrieren und Widerstand in der Bevölkerung konfrontiert. Zudem können nur bestimmte Fluktuation, wie zum Beispiel regionale Unterschiede, ausgeglichen werden.

**Abbildung 1: Prognostizierte installierte Leistung von Windkraft und Photovoltaik für ausgewählte Länder Europas bis zum Jahr 2025**



Quelle: Reiter et al.<sup>29</sup>, nach Pieper et al.<sup>30</sup>

Eine weitere Möglichkeit der Kompensation geringer Stromerzeugung aus Erneuerbaren in bestimmten Zeiten stellen fossile Back-Up Kraftwerke dar. Dies geht allerdings mit einer erhöhten Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen und dem Risiko einer geringen Auslastung der Kraftwerke einher. Durch den Einsatz fossiler Back-Up Kraftwerke kann eine Abregelung erneuerbarer Stromerzeuger in Zeiten eines Überangebots an elektrischer Energie nicht verhindert werden. Demand Side Management stellt eine weitere Möglichkeit der Lastverschiebung dar und ist besonders für energieintensive Unternehmen und private Haushalte geeignet. Probleme ergeben sich dabei aufgrund der meist hohen Investitionskosten, nicht geregelten Aspekten hinsichtlich Datenschutz und einem sehr begrenzten Potential.

<sup>28</sup> Vgl. Pieper Cornelius, Rubel Holger. Electricity Storage – Making Large-Scale Adoption of Wind and Solar Energies a Reality. The Boston Consulting Group, 2010.

<sup>29</sup> Reiter, Lindorfer (2013) Möglichkeiten der Integration von Power-to-Gas in das bestehende Energiesystem. In: Steinmüller H, Hauer A, Schneider F (Hrsg.) Jahrbuch Energiewirtschaft 2013. NWV Verlag, Wien 2013. ISBN 978-3-7083-0954-5

<sup>30</sup> Vgl. Pieper Cornelius, Rubel Holger. Electricity Storage – Making Large-Scale Adoption of Wind and Solar Energies a Reality. The Boston Consulting Group, 2010.

Eine entscheidende Rolle bei der Integration erneuerbarer Energieträger mit volatilen Erzeugungsstrukturen werden Energiespeichersysteme einnehmen, da diese Angebotsüberschüsse nutzen und damit Zeiten geringer Produktion aus Erneuerbaren ausgleichen können. Für die Speicherung elektrischer Energie stehen verschiedenste Speichertechnologien mit äußerst heterogenen Entwicklungsstadien zur Verfügung, wobei große Unterschiede hinsichtlich möglicher Skalierung, Speicherdauer, spezifischer Kosten, Dynamik und Effizienz bestehen.

Power-to-Gas kann Erzeugungsschwankungen erneuerbarer Stromerzeuger ausgleichen, indem in Zeiten eines Überangebots aus elektrischem Strom Wasserstoff oder synthetisches Methan hergestellt wird. Diese Energieträger können auf vielfältige Weise zur Wärme- bzw. Stromproduktion, als Kraftstoffe oder in der Industrie eingesetzt werden. Power-to-Gas ermöglicht somit nicht nur im Strom- sondern auch im Transport- und Industriesektor einen höheren Anteil Erneuerbarer und trägt damit potentiell zur Reduktion der globalen Treibhausgasemissionen bei.<sup>31</sup>

Langfristig kann somit durch die Power-to-Gas-Technologie eine signifikante Verlagerung in der Verwendung der erzeugten Energie aus volatilen Quellen von der konventionellen Nutzung der elektrischen Energie hin zur Nutzung in Form von Methan oder Wasserstoff entstehen. Die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten der Energieträger in den Sektoren Industrie, Wärme, Strom und Mobilität wurden bereits in Kapitel 3.2 beschrieben. Neben der ursprünglichen Intention der Speicherung elektrischer Energie aus fluktuierenden erneuerbaren Stromerzeugern ergeben sich also aufgrund der vielfältigen Einsatzmöglichkeiten für Power-to-Gas auch noch andere Funktionen und Nutzen im Energiesystem. Diese reichen von der Verlagerung des Energietransportes, der Schaffung von Hybridnetzen, über die Bereitstellung neuer erneuerbarer Energieträger und Versorgung autarker Energiesysteme bis hin zur Verwertung von Kohlendioxid. Die einzelnen Funktionen, die Power-to-Gas im Energiesystem erfüllen kann, werden in den folgenden Kapiteln näher beschrieben.

### **2.1 Speicherung von elektrischer Energie aus zeitlich volatiler Produktion**

Durch den Ausbau der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien steigen die strukturellen und betrieblichen Anforderungen an das Erzeugungssystem. Vor allem die Integration der schwankenden und nur eingeschränkt prognostizierbaren Stromerzeugung aus Wind- und Solarenergie erfordert eine umfassende Anpassung des Energiesystems, insbesondere auch den Ausbau von Speicherkapazitäten auf lokaler, regionaler, nationaler und transnationaler Ebene. Dabei zeigt sich bereits heute, dass die derzeitigen technischen und organisatorischen Strukturen des Stromversorgungssystems nur bedingt geeignet sind, den

---

<sup>31</sup> Vgl. Reiter, Lindorfer (2013) Möglichkeiten der Integration von Power-to-Gas in das bestehende Energiesystem. In: Steinmüller H, Hauer A, Schneider F (Hrsg.) Jahrbuch Energiewirtschaft 2013. NWV Verlag, Wien 2013. ISBN 978-3-7083-0954-5



rasant wachsenden Anteil fluktuierender erneuerbarer Energien effizient zu integrieren. Um langfristig nicht nur eine nachhaltige, sondern auch eine sichere und kostengünstige Stromversorgung gewährleisten zu können, ist deshalb neben dem Aufbau zusätzlicher neuer Speicherkapazitäten und -technologien eine Anpassung des Systems dahingehend erforderlich, dass die erneuerbaren Energien ihre Erzeugung stärker mit der Nachfrage und den zur Verfügung stehenden Netz- und Speicherkapazitäten koordinieren müssen. Dies kann durch die Einbindung von chemischen Energiespeichern bzw. Power-to-Gas-Anlagen forciert werden.<sup>32</sup>

Der Einsatz von Power-to-Gas als Energiespeichertechnologie generiert zahlreiche systemische Vorteile. Durch die Speicherung volatil anfallender Stromproduktion direkt neben dezentralen Anlagen wie Photovoltaik oder Windkraftanlagen können beispielsweise Investitionen in den Stromnetzausbau substituiert werden. Durch die Einspeisung der Energieträger in das Erdgasnetz kommt es zur Koppelung von Strom- und Gasnetz und die großen bestehenden Speicherstätten in der Erdgasinfrastruktur können genutzt werden. Durch die Speicherung elektrischer Energie mit Power-to-Gas ergeben sich verschiedenste Nutzungsmöglichkeiten wie beispielsweise die Bereitstellung von Regel- und Ausgleichsenergie oder die Optimierung der Betriebsweise von erneuerbaren Stromerzeugern. Durch die Einspeisung und Zwischenspeicherung in der bestehenden Erdgasinfrastruktur können zudem auch saisonale Schwankungen erneuerbarer Stromerzeuger ausgeglichen werden.

Das Energiespeicherpotential von Power-to-Gas-Anlagen in Österreich lässt sich auf Basis von bisher unternommenen Potentialanalysen manifestieren. So etwa analysiert die TU Wien (2011) im Projekt Super-4-Micro-Grid<sup>33</sup> sowie in Steinmüller, Tichler, Reiter et al. (2014)<sup>34</sup> im Falle einer vollständigen Versorgung Österreichs mit elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen ein Speicherpotential von Power-to-Gas-Anlagen in Österreich von bis zu 4 GW<sub>el</sub> an installierter Leistung. Der Planungshorizont des Projektes Super-4-Micro-Grid war hierbei das Jahr 2050, Ausgangspunkt war dabei das aktuell bestehende Elektrizitätsversorgungssystem. Es zeigt sich in den Analysen, dass in den betrachteten Szenarien der Power-to-Gas Ansatz keine Konkurrenz für bestehende Pumpspeicherkraftwerke darstellt, da nur von den Pumpspeicherkraftwerken nicht-verwertbare Erzeugungsüberschüsse eingespeichert werden müssten. Das Zusammenspiel der beiden Speichertechnologien bewirkt eine Verdopplung der Pumpspeicher-volllaststunden, da sich der Einsatz von Pumpspeicher unter den beleuchteten

---

<sup>32</sup> Vgl. Steinmüller, H., Tichler, R., Reiter, G. et. al (2014) Power-to-Gas – eine Systemanalyse. Markt- und Technologiescouting und –analyse. Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz, TU Wien, MU Leoben, JKU Linz; im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend.

<sup>33</sup> Vgl. TU Wien (2011) "Super-4-Micro-Grid" - Nachhaltige Energieversorgung im Klimawandel, Wien: Klima und Energiefonds.

<sup>34</sup> Vgl. Steinmüller, H., Tichler, R., Reiter, G. et. al (2014) Power-to-Gas – eine Systemanalyse. Markt- und Technologiescouting und –analyse. Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz, TU Wien, MU Leoben, JKU Linz; im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend.

Rahmenbedingungen um die Aufgabe erweitert, ein möglichst konstantes Überschussprofil in der Höhe der installierten Power-to-Gas-Leistung zu erzeugen. Es ist insgesamt auf Basis der Analysen durch die Implementierung der Power-to-Gas-Technologien in Österreich eine signifikante Erhöhung des regenerativen Erzeugungsanteils für Österreich auf bis zu 90% erzielbar, dies ist mit einer Speicherkapazität von ca. 4 GW<sub>el</sub> für Power-to-Gas-Anlagen verbunden.<sup>35</sup>

Werden alternativ betrachtet die Ausbaupläne für Windkraftanlagen in Niederösterreich und im Burgenland analysiert, so ist auf Basis dieser Konzepte und Pläne mit einem Energiespeicherbedarf von 2,4 TWh<sub>el</sub> im Jahr zu rechnen (ohne Berücksichtigung etwaiger neuer Zonenpläne). Dies setzt voraus, dass die Pläne zur Gänze realisiert werden und 40% der erzeugten Energiemengen aus den zusätzlich errichteten Windkraftanlagen einer volatilen Erzeugung zuzurechnen sind (ohne Berücksichtigung bereits bestehender Anlagen). Unter diesen Annahmen errechnet sich eine jährliche Wasserstoff-Produktion in Power-to-Gas-Anlagen von ca. 43.000 Tonnen, womit beispielsweise ca. 300.000 Wasserstoff-betriebene PKW versorgt werden können.<sup>36</sup>

## 2.2 Verlagerung des Energietransports

Die immer stärker auftretenden Stromüberschüsse etwa aus Windkraft müssen entweder direkt zu den Nachfragern oder zu den konventionellen Stromspeichern wie Pumpspeichern transportiert werden. Dadurch sind in Zukunft enorme Investitionen in den Ausbau der europäischen Stromnetze zu erwarten. Dieser Ausbau der Stromnetze, etwa für den Transport von elektrischer Energie aus der Nordsee, aus Nordafrika oder aus den Speichergebieten in Skandinavien, wird mit signifikanten Eingriffen in die Topografie verbunden sein, wodurch ein bedeutendes soziodemografisches Problem auftreten wird: ein großer Widerstand in der Bevölkerung gegenüber neuen Stromleitungen. Die Akzeptanz der Bevölkerung gegenüber großen Infrastrukturprojekten, die signifikante Eingriffe in das Landschaftsbild verursachen, ist aktuell als nicht sehr hoch einzuschätzen. Die erforderlichen großen Stromtrassen werden aufgrund des relativ hohen Zersiedelungsgrades in Mitteleuropa zudem höchstwahrscheinlich mit Absiedlungen verbunden sein.<sup>37</sup>

---

<sup>35</sup> Vgl. TU Wien (2011) "Super-4-Micro-Grid" - Nachhaltige Energieversorgung im Klimawandel, Wien: Klima und Energiefonds und Steinmüller, H., Tichler, R., Reiter, G. et. al (2014) Power-to-Gas – eine Systemanalyse. Markt- und Technologiescouting und –analyse. Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz, TU Wien, MU Leoben, JKU Linz; im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend.

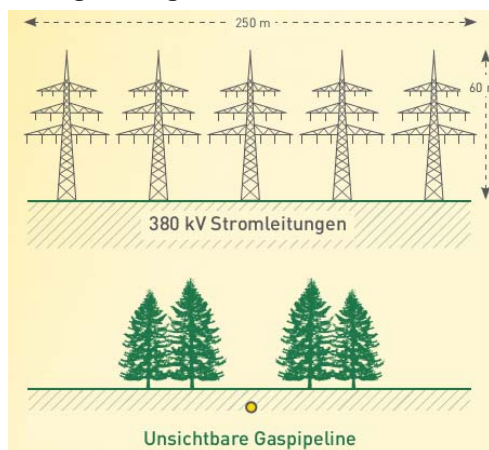
<sup>36</sup> Vgl. Steinmüller, H., Tichler, R., Reiter, G. et. al (2014) Power-to-Gas – eine Systemanalyse. Markt- und Technologiescouting und –analyse. Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz, TU Wien, MU Leoben, JKU Linz; im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend.

<sup>37</sup> Vgl. Steinmüller, H., Tichler, R., Reiter, G. et. al (2014) Power-to-Gas – eine Systemanalyse. Markt- und Technologiescouting und –analyse. Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz, TU Wien, MU Leoben, JKU Linz; im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend.

Durch die Umwandlung von Strom in Wasserstoff oder Methan ergibt sich durch die Einspeisung in die Erdgasinfrastruktur die Möglichkeit, diese für den Transport der Energie zu nutzen. Durch die Verlagerung des Energietransports vom elektrischen Stromnetz auf das Erdgasnetz können ansonsten erforderliche neue Stromleitungen bzw. ein Netzausbau teilweise substituiert werden. Dies ist besonders für Gebiete mit schwacher Stromnetzinfrastruktur und / oder sehr hohem Anteil erneuerbarer Stromerzeuger interessant.<sup>38</sup>

Vorteil eines Energietransportes über die Erdgasinfrastruktur ist die weitaus höhere Energiedichte im Erdgasnetz. Dies wird mit Abbildung 2 verdeutlicht, in der der Platzbedarf von Erdgasleitungen im Vergleich zu Stromleitungen beim Transport gleicher Energiemenge dargestellt ist. Im Erdgasnetz wäre trotz zusätzlicher Einspeisung signifikanter Kapazitäten kein großvolumiger Ausbau der Leitungsnetze erforderlich und Infrastrukturinvestition könnten reduziert werden. Auch ein Ausbau des Erdgasnetzes hätte in Relation zu einem Ausbau des Stromnetzes einen weitaus geringeren topografischen Eingriff zur Folge, wodurch die Akzeptanz der Bevölkerung erhöht sowie die Grundstückskosten gesenkt werden können. Dieser Vorteil ist in der zukünftigen Energiepolitik und in der Strukturierung und Konzeptionierung der Energieinfrastruktur eine nicht zu vernachlässigende Größe. Hierbei ist neben den Kosten zur Erweiterung der Stromnetzinfrastruktur auch die Umsetzungswahrscheinlichkeit der einzelnen breiten Stromtrassen zu berücksichtigen.<sup>39</sup>

**Abbildung 2: Vergleich des Platzbedarfs von Erdgasleitungen im Vergleich zu Stromleitungen beim Transport der gleichen Energiemenge**



Quelle: Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz GmbH<sup>40</sup>

<sup>38</sup> Vgl. Reiter, Lindorfer (2013) Möglichkeiten der Integration von Power-to-Gas in das bestehende Energiesystem. In: Steinmüller H, Hauer A, Schneider F (Hrsg.) Jahrbuch Energiewirtschaft 2013. NWV Verlag, Wien 2013. ISBN 978-3-7083-0954-5

<sup>39</sup> Vgl. Steinmüller, H., Tichler, R., Reiter, G. et. al (2014) Power-to-Gas – eine Systemanalyse. Markt- und Technologiescouting und –analyse. Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz, TU Wien, MU Leoben, JKU Linz; im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend.

<sup>40</sup> Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz GmbH. Technologiekonzept Power to Gas. Broschüre, 2012.

### 2.3 Koppelung von Energienetzen (Hybridnetze)

Power-to-Gas kann auch einen zentralen Baustein zur Weiterentwicklung von Hybridnetzen darstellen. Ein Hybridnetz ist hierbei ein über (neue) Schnittstellentechnologien stark verbundenes Netzsystem aus verschiedenen Energienetzen, die bidirektional gekoppelt sind. Die Implementierung von Hybridnetzen ist aus energiesystemischer Sicht sowohl aus der Perspektive der Versorgungssicherheit als auch aus ökonomischer Sicht für die Zukunft des Energiesystems von entscheidender Bedeutung. Im Bereich der Versorgungssicherheit können Hybridnetze vor allem für ein verbessertes Lastmanagement und für Energieträger-übergreifende Speicherungen von Energie in andere Netze sorgen. Aus ökonomischer Sicht sind vor allem die Bausteine der Erhöhung der Ressourceneffizienz sowie die Reduktion der Intensität eines singulären Netzausbaus und somit die Reduktion des Infrastrukturausbaus zu nennen. Wärme-, Strom- und Gasnetze verlaufen oftmals parallel und ohne starke Verschneidung. Bestehende Verknüpfungen existieren bislang zwischen dem Strom- und Wärmenetz in Form von KWK-Technologien, vom Strom- zum Wärmenetz mittels Wärmepumpen, vom Gas- zum Stromnetz und zum Fernwärmenetz mittels Kraftwerken und Brennstoffzellen. Erst die Entwicklung der Power-to-Gas-Technologie ermöglicht auch die Verknüpfung vom Strom- zum Gasnetz und somit die Realisierung eines vollständigen Hybridnetzes (mit Ausnahme der Verknüpfung vom Wärme- zum Gasnetz). Dadurch wird eine engere Koppelung der Netze ermöglicht. Stark volatile Energieträger wie z.B. Windkraft können mit Hybridnetzen effizienter in das Energiesystem integriert werden, da die Verknüpfungen zwischen den Netzen auch neue Speicherformen zulassen.<sup>41</sup> Durch die Koppelung von Strom- und Gasnetz kann elektrische Energie in Zeiten eines Angebotsüberschusses in Wasserstoff oder Methan umgewandelt und in das Erdgasnetz eingespeist werden. Energie kann so in der Gasinfrastruktur zwischengespeichert und in Zeiten bzw. Gebieten mit höherem Energiebedarf wieder genutzt werden.

### 2.4 Neue erneuerbare Energieträger ohne Flächenkonkurrenz

Neben der Speicherung elektrischer Energie kann Power-to-Gas auch zur Herstellung eines erneuerbaren Produkts zum Einsatz in den Sektoren Wärme, Mobilität oder Industrie genutzt werden. Die verschiedenen Einsatzmöglichkeiten werden in Kapitel 3.2 näher beschrieben. Der primäre Nutzen ist dabei nicht überschüssig erzeugte Energie zu verwenden, sondern erneuerbare Energieträger bereitzustellen. Dies hat einen entscheidenden Einfluss auf die Betriebsweise der Power-to-Gas Anlage und somit auch auf die Wirtschaftlichkeit. Durch den Bezug von Grundlaststrom können deutlich höhere Volllaststunden erreicht werden, im Sinne einer Reduktion der Treibhausgasemissionen muss allerdings auch die Art des Strominputs

---

<sup>41</sup> Vgl. Steinmüller, H., Tichler, R., Reiter, G. et. al (2014) Power-to-Gas – eine Systemanalyse. Markt- und Technologiescouting und –analyse. Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz, TU Wien, MU Leoben, JKU Linz; im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend.

bewertet werden.<sup>42</sup>

Durch die Herstellung erneuerbarer Produkte für die unterschiedlichen Sektoren können bei Einsatz von erneuerbarem Strom fossile Rohstoffe eingespart und die Primärenergieeffizienz in bestimmten Segmenten des Energiesystems erhöht werden.

Besonders im Mobilitätsbereich, wo der überwiegende Teil der Antriebskonzepte auf fossilen Rohstoffen basiert, haben Wasserstoff, synthetisches Methan oder andere Kohlenwasserstoffe auf Basis erneuerbarer Energien (und in Power-to-Gas-Anlagen erzeugt) großes Potential zur Reduktion von Treibhausgasemissionen und Primärenergieeinsatz. Die Nutzung von Wasserstoff führt zudem zur Dekarbonisierung, da im Betrieb keinerlei CO<sub>2</sub>-Emissionen entstehen. Anders als bei Methan oder bestimmten flüssigen Kohlenwasserstoffen (Power-to-Liquids) steht allerdings für die flächendeckende Nutzung von Wasserstoff derzeit keine Infrastruktur zur Verfügung. Erneuerbare Treibstoffe wie Wasserstoff oder Methan aus elektrischer Energie basierend auf Windkraft, Photovoltaik, Geothermie oder Wasserkraft, weisen im Gegensatz zu Biotreibstoffen der ersten Generation keine Ressourcenkonkurrenz zu alternativen Nutzungsformen biogener Ressourcen wie zur Lebensmittelproduktion auf.

Der Einsatz von erneuerbarem Wasserstoff aus Power-to-Gas in der Industrie weist ebenfalls ein enormes Reduktionspotential für Primärenergie und Treibhausgasemissionen auf, da die derzeit üblichen Wasserstoff-Produktionstechnologien vorwiegend fossile Rohstoffe wie Kohle, Erdöl oder Erdgas einsetzen. Da dieser Verwertungspfad im Vergleich zu anderen Power-to-Gas Anwendungen eine hohe Gesamteffizienz aufweist, sollte eine Verwendung von erneuerbarem Wasserstoff in der Industrie forciert werden (Vgl. Tabelle 4: Effizienz einzelner Prozessschritte im Power-to-Gas System).

Die Rückverstromung von Wasserstoff oder auch Methan aus Power-to-Gas ist mit hohen Wirkungsgradeinbußen behaftet, weshalb die Energieträger vorrangig direkt für Mobilitätszwecke oder in der Industrie eingesetzt werden sollten.

## 2.5 Versorgung autarker Energiesysteme

Power-to-Gas Systeme können neben der Speicherung elektrischer Energie auch zur Wärmeerzeugung und zur Herstellung von Kraftstoffen für Mobilitätszwecke dienen und eignen sich daher auch für die Eigenversorgung autarker Systeme. In entlegenen Gebieten ohne Zugang zum öffentlichen Strom- oder Gasnetz wird die Energieversorgung derzeit oft mit Dieselgeneratoren realisiert, was mit sehr hohen Energiekosten verbunden ist.<sup>43</sup> Der Einsatz von Power-to-Gas kann zur Speicherung elektrischer Energie aus erneuerbaren

---

<sup>42</sup> Vgl. Reiter, Lindorfer (2013) Möglichkeiten der Integration von Power-to-Gas in das bestehende Energiesystem. In: Steinmüller H, Hauer A, Schneider F (Hrsg.) Jahrbuch Energiewirtschaft 2013. NWV Verlag, Wien 2013. ISBN 978-3-7083-0954-5

<sup>43</sup> Vgl. Miles S, Gillie M. Benefits and Barriers of the Development of Renewable Hydrogen Systems in Remote and Island Communities. International Energy Agency, Hydrogen Implementing Agreement Task 18. <http://ieahia.org/pdfs/RemotelandBenefits.pdf>, Zugriff am 17.12.2012.

Stromerzeugungsanlagen in Zeiten geringer Nachfrage dienen. Die so erzeugten Energieträger werden dann bei hohem Strombedarf rückverstromt oder für Wärmebereitstellung bzw. als Kraftstoff für Mobilitätszwecke eingesetzt.<sup>44</sup>

Autarke Energielösungen sind allerdings nicht nur für entlegene Gebiete ohne Zugang zur Energieinfrastruktur interessant, sondern können auch für eine freiwillige Eigenversorgung für Unternehmen oder Haushalte relevant sein. In diesem Zusammenhang stellt die Weiterentwicklung von Speicheroptionen die zentrale Herausforderung dar.<sup>45</sup> Power-to-Gas kann hier einerseits zur Speicherung des eigens erzeugten Stroms aus erneuerbaren Quellen und andererseits zur Bereitstellung von Kraftstoffen dienen. Die Eigenversorgung mit erneuerbarer Energie wird in diesem Fall zum „Statussymbol“ mit hoher Zahlungsbereitschaft.

### 2.6 Verwertung von Kohlendioxid (Carbon Capture and Utilization)

Für die Methanisierung wird neben Wasserstoff auch Kohlendioxid benötigt. Power-to-Gas kann also auch zur Verwertung von Kohlendioxid (Carbon Capture and Utilization) eingesetzt werden, das in Industrie- oder Fermentationsprozessen als Nebenprodukt anfällt (etwa in Biogasanlagen). Das CO<sub>2</sub> wird in der späteren Anwendung zwar wieder freigesetzt, es kann allerdings ein Zusatznutzen je Tonne Treibhausgas durch die Einbindung in einen erneuerbaren Produktlebenszyklus generiert werden.<sup>46</sup>

Durch die Verwertung von CO<sub>2</sub> können somit auch Emissionszertifikate eingespart bzw. vorhandene Zertifikate verkauft werden. Der Fokus liegt hierbei natürlich auf Unternehmen, die zur Teilnahme am CO<sub>2</sub>-Handel verpflichtet sind. Als Konsequenz ist Power-to-Gas somit auch eine mögliche Anwendungsstrategie für Industriebetriebe mit einer Verpflichtung an CO<sub>2</sub>-Zertifikaten, um das alternativ eingesetzte fossile Methan durch Wasserstoff oder erneuerbares Methan bzw. Wasserstoff aus fossilen Quellen durch Wasserstoff aus erneuerbaren Quellen zu ersetzen und dadurch eine Reduktion der Kosten für CO<sub>2</sub>-Zertifikate zu bewirken. Alternativ dazu kann ein Produktionsbetrieb mit einer Verpflichtung an CO<sub>2</sub>-Zertifikaten auch das ansonsten emittierte Kohlendioxid im synthetischen Methan binden, dadurch die Effizienz zu erhöhen und die Erzeugungskapazität mit vorhandenen Ressourcen steigern.

---

<sup>44</sup> Vgl. Reiter, Lindorfer (2013) Möglichkeiten der Integration von Power-to-Gas in das bestehende Energiesystem. In: Steinmüller H, Hauer A, Schneider F (Hrsg.) Jahrbuch Energiewirtschaft 2013. NWV Verlag, Wien 2013. ISBN 978-3-7083-0954-5

<sup>45</sup> Vgl. Hoppmann, J. et al. (2014) The economic viability of battery storage for residential solar photovoltaik systems – A review and simulation model, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 39, pp. 1101-1118.

<sup>46</sup> Vgl. Reiter, Lindorfer (2013) Möglichkeiten der Integration von Power-to-Gas in das bestehende Energiesystem. In: Steinmüller H, Hauer A, Schneider F (Hrsg.) Jahrbuch Energiewirtschaft 2013. NWV Verlag, Wien 2013. ISBN 978-3-7083-0954-5

### 3 Der Status quo des Systems Power-to-Gas <sup>47</sup>

Unter dem Begriff Power-to-Gas versteht man die Nutzung von (überschüssiger) elektrischer Energie aus erneuerbaren Energieträgern zur Produktion von Wasserstoff in einem Elektrolyseur und optional auch die Synthese dieses erzeugten Wasserstoffs mit Kohlendioxid zu Methan oder zu anderen Kohlenwasserstoffen. Durch den zusätzlichen Prozessschritt der Methanisierung ist der Wirkungsgrad für CH<sub>4</sub> geringer als jener von H<sub>2</sub> als Produktoutput. Dennoch ergeben sich in der weiteren Verwertung Vorteile für Methan, welche den Wirkungsgradverlust rechtfertigen können. Da das synthetisch erzeugte Methan dem Erdgas sehr ähnlich ist, kann es beispielsweise einfach in die vorhandene Gasnetzinfrastruktur eingespeist werden. Neben Methan kann der Wasserstoff auch zu anderen Kohlenwasserstoffen, wie beispielsweise zu Methanol, Ethanol, Dimethylether oder Ameisensäure synthetisiert werden. Diese flüssigen Energieträger sind wertvolle Grundstoffe in der chemischen Industrie und könnten auch als Kraftstoffersatz für Mobilitätszwecke eingesetzt werden. Die Produktion von flüssigen Kohlenwasserstoffen wird auch unter dem Begriff Power-to-Liquids zusammengefasst und in dieser Roadmap ebenfalls mitberücksichtigt.

Die folgende Abbildung zeigt die Prozessschritte und möglichen Energieträger im Rahmen des Systems Power-to-Gas bzw. Power-to-Liquids. Aus der folgenden Abbildung können drei Varianten dargestellt werden, für die sich unterschiedliche Anwendungsmöglichkeiten ergeben:

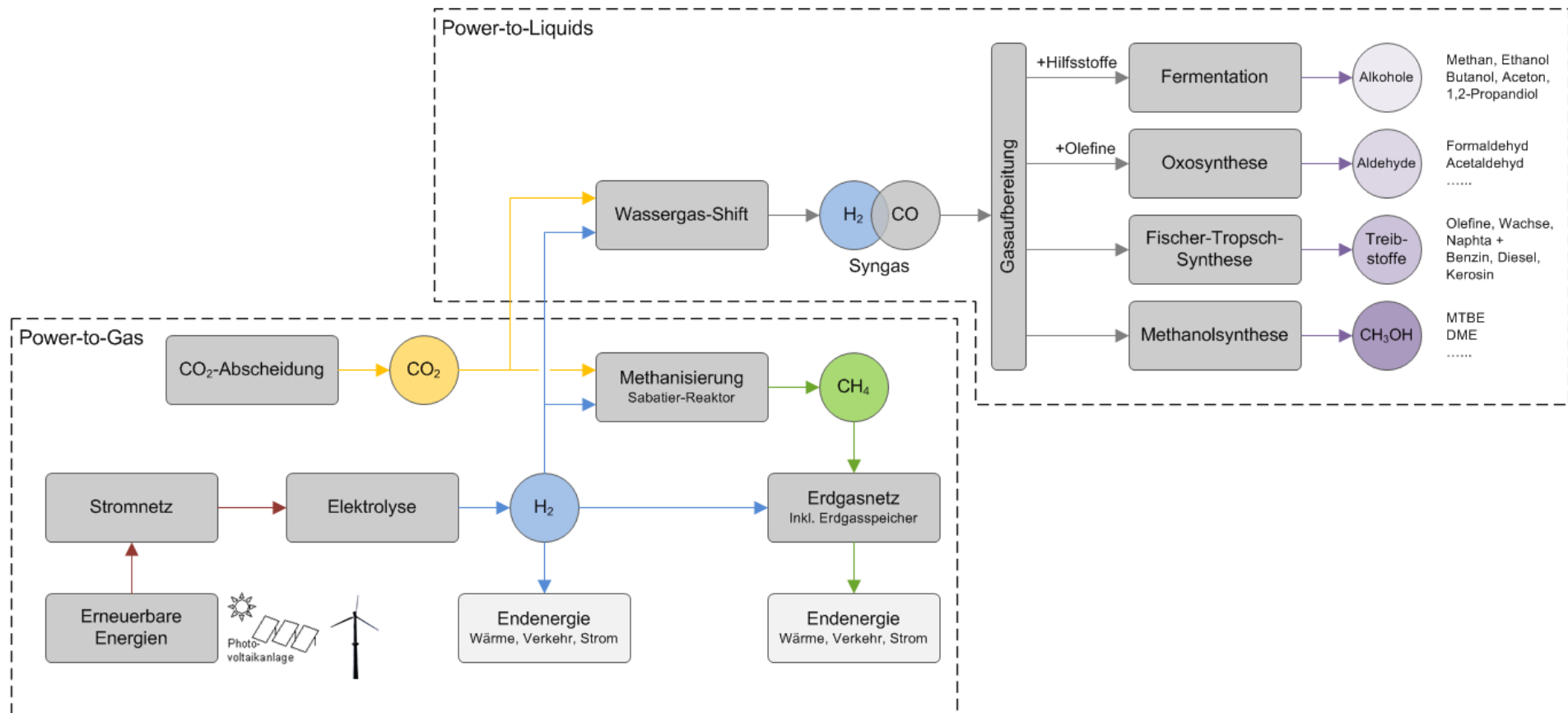
1. **Wasserstoff** wird aus (überschüssiger) elektrischer Energie hergestellt und im Mobilitätsbereich oder als chemischer Grundstoff in der Industrie eingesetzt. Auch die Einspeisung in das Erdgasnetz ist bis zu einem gewissen Anteil (aktuell bis zu 4 Vol-%) möglich und so kann der Wasserstoff auch für die Bereitstellung von Endenergie (Wärme, Strom, Transport) verwendet werden.
2. Aus dem Wasserstoff wird in weiterer Folge mit Kohlendioxid **synthetisches Methan** hergestellt. Dieses kann bei entsprechender Qualität ohne besondere Restriktionen in das Erdgasnetz eingespeist und so zur Bereitstellung von Endenergie (Wärme, Strom, Transport) genutzt werden.
3. Aus Wasserstoff und Kohlendioxid können aber auch Synthesegas und in weiterer Folge **andere Kohlenwasserstoffe** (wie beispielsweise zu Methanol, Ethanol, Dimethylether oder Ameisensäure) hergestellt werden. Diese können im Mobilitätsbereich oder auch als chemische Grundstoffe in der Industrie eingesetzt werden.

In weiterer Folge werden die einzelnen Prozessschritte charakterisiert sowie die Anwendungsmöglichkeiten aufgezeigt. Zusätzlich wird kurz auf die volkswirtschaftliche Relevanz von Power-to-Gas (bzw. Power-to-Liquids) eingegangen und eine Übersicht zu österreichischen Projekten gegeben.

---

<sup>47</sup> Teile dieses Kapitels wurden bereits veröffentlicht in Reiter, Lindorfer (2013) bzw. in Tichler, Gahleitner (2012)

Abbildung 3: Darstellung des Systems Power-to-Gas mit der Erweiterung Power-to-Liquids



Quelle: Energieinstitut an der JKU Linz

Definition von Power-to-Gas und technologische Systemgrenze im Rahmen der gegenständlichen FTI-Roadmap:

Unter dem Begriff Power-to-Gas versteht man die Nutzung von (überschüssiger) elektrischer Energie aus erneuerbaren Energieträgern zur Produktion von Wasserstoff in einem Elektrolyseur und optional auch die Synthese dieses erzeugten Wasserstoffs mit Kohlendioxid zu Methan oder zu anderen Kohlenwasserstoffen.

Der technologische Fokus im Rahmen der gegenständlichen FTI-Roadmap liegt in der Umwandlung von elektrischer Energie in einer elektrolytischen Wasserstoffbereitstellung ohne zusätzlichen Primärenergieträgereinsatz über Biomasse oder fossiler Rohstoffe außerhalb der Stromproduktion, in der optionalen Synthese dieses erzeugten Wasserstoffs mit Kohlendioxid zu Methan oder anderen flüssigen oder gasförmigen Kohlenwasserstoffen, aber nicht auf der technologischen Option einer Rückverstromung in Brennstoffzellen oder anderen Technologien – allerdings wird die Möglichkeit einer Rückverstromung aus systemischer Sicht berücksichtigt.



### 3.1 Technologien zur Produktion der Energieträger

Je nach Anwendung von Power-to-Gas Systemen werden unterschiedliche Komponenten mit verschiedenen Vor- und Nachteilen bzw. technologischer Reife eingesetzt. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass sich das Power-to-Gas Konzept im Jahr 2014 im Anfangsstadium der Entwicklung befindet (aktuell werden erste Anlagen mit signifikanten Leistungsgrößen vor allem in Deutschland errichtet).

#### 3.1.1 Elektrolyse (Power-to-Gas)

Die Hauptkomponente in einem Power-to-Gas System stellt der Elektrolyseur dar. Dieser nutzt elektrischen Strom zur Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff, gemäß der Reaktionsgleichung (1). Je nach eingesetztem Elektrolyt kann zwischen alkalischen (AEC), Protonen-Austausch-Membran (PEMEC) und Festoxid-Elektrolyseuren (SOEC) unterschieden werden. Eine nähere Beschreibung von Stand der Technik, aktuellen Entwicklungen und Charakteristik der verschiedenen Elektrolyse-Typen findet sich beispielsweise in Ursua et al.<sup>48</sup> oder Smolinka et al.<sup>49</sup>



SOEC ist jene Elektrolysetechnologie mit dem höchsten Entwicklungsbedarf. Der Betrieb dieses Elektrolyseurs erfolgt mit dem Einsatz hoher thermischer Energie von einer externen Wärmequelle. Die hohen Temperaturen führen zu einer beschleunigten Reaktionskinetik, wodurch hochpreisige Edelmetallkatalysatoren vermieden werden können.<sup>50</sup> Durch den Einsatz von Wärme verringert sich der erforderliche Strominput und der elektrische Wirkungsgrad steigt. Herausforderungen bestehen allerdings hinsichtlich Materialbeanspruchung aufgrund der hohen Temperaturen und SOEC haben aufgrund des aufwändigen Systemdesigns einen hohen Platzbedarf.<sup>51</sup>

Alkalische Elektrolyseure verwenden einen wässrigen alkalischen Elektrolyten und stellen die am weitesten verbreitete Technologie mit den geringsten Investitionskosten dar.<sup>52</sup> AEC gelten als robust und sind bereits in hohen Leistungsklassen verfügbar. Herausforderungen

---

<sup>48</sup> Vgl. Ursua A, Gandia LM, Sanchis P. Hydrogen Production from water electrolysis: current status and future trends. Proceedings of the IEEE 2012; Vol. 100, No. 2: 410-426. DOI 10.1109/JPROC.2011.2156750

<sup>49</sup> Vgl. Smolinka T, Günther M, Garcke J. Stand und Entwicklungspotenzial der Wasserelektrolyse zur Herstellung von Wasserstoff aus regenerativen Energien. Kurzfassung NOW-Studie. Fraunhofer ISE, FCBAT: 2011. [http://www.now-gmbh.de/fileadmin/user\\_upload/RE-Mediathek/RE\\_Publikationen\\_NOW/NOW-Studie-Wasserelektrolyse-2011.pdf](http://www.now-gmbh.de/fileadmin/user_upload/RE-Mediathek/RE_Publikationen_NOW/NOW-Studie-Wasserelektrolyse-2011.pdf), Zugriff am 17.12.2012

<sup>50</sup> Vgl. Ursua A, Gandia LM, Sanchis P. Hydrogen Production from water electrolysis: current status and future trends. Proceedings of the IEEE 2012; Vol. 100, No. 2: 410-426. DOI 10.1109/JPROC.2011.2156750

<sup>51</sup> Vgl. Carmo M, Fritz DL, Mergel J, Stolten D. A comprehensive review on PEM water electrolysis. International Journal of Hydrogen Energy 2013. Doi: 10.1016/j.ijhydene.2013.01.151

<sup>52</sup> Vgl. Holladay JD, Hu J, King DL, Wang Y. An overview of hydrogen production technologies. Catal Today 2009; 139:244-260. DOI 10.1016/j.cattod.2008.08.039

bestehen vor allem bei dynamischer Betriebsweise, da Effizienz und Wasserstoffqualität im Teillastbetrieb stark beeinträchtigt sind.<sup>53</sup> Alkalische Elektrolyseure haben außerdem einen hohen Platzbedarf im Vergleich zu PEM-Elektrolyseuren.<sup>54</sup> Eine Weiterentwicklung von klassischen alkalischen Elektrolyseuren ist die Druckelektrolyse, mit der ein besseres dynamisches Verhalten erreicht werden soll. Probleme ergeben sich dabei allerdings bei Undichtheiten im System und den damit verbundenen Austritt des korrosiven Elektrolyts.<sup>55</sup>

PEM-Elektrolyseure nutzen eine Polymer-Elektrolyt-Membran und sind deutlich kompakter als AEC. Mit einem besseren Start-Up Verhalten, schnellerer Reaktion auf Laständerungen und höherer Wasserstoffqualität sind PEMEC besser für eine dynamische Betriebsweise geeignet.<sup>56</sup> Herausforderungen bestehen allerdings noch hinsichtlich Lebensdauer der Membran und hoher Investitionskosten aufgrund des Einsatzes von Edelmetall-Katalysatoren wie Platin.<sup>57</sup> Zudem sind die verfügbaren Leistungsklassen von PEM-Elektrolyseuren noch deutlich kleiner als bei AEC.

Die wichtigsten technischen Parameter von alkalischen und PEM-Elektrolyseuren sind in Tabelle 2 dargestellt.

**Tabelle 2: Typische Eigenschaften von alkalischen und PEM-Elektrolyseuren**

	AEC	PEMEC
Verfügbare Nennleistung	mehrere MW <sub>el</sub>	Bis zu 1 MW <sub>el</sub>
Leistungsbereich	20 -100 % der Nennleistung	0 -100 % der Nennleistung
Betriebsdruck	1 bis 30 bar	bis zu 100 bar
Betriebstemperatur	60 – 90°C	~ 80°C
Lebensdauer	10 bis 20 Jahre (stark abhängig von der jeweiligen Betriebsweise)	6 bis 15 Jahre
Platzbedarf	PEMEC sind um einen Faktor 5 bis 10 kleiner als AEC	

Quelle: Energieinstitut an der JKU Linz basierend auf Ursua et al.<sup>58</sup>, Smolinka et al.<sup>59</sup>, Maclay et al.<sup>60</sup>

<sup>53</sup> Vgl. Smolinka et al. (2011) Stand und Entwicklungspotenzial der Wasserelektrolyse zur Herstellung von Wasserstoff aus regenerativen Energien. Kurzfassung NOW-Studie. Fraunhofer ISE, FCBAT: 2011. [http://www.now-gmbh.de/fileadmin/user\\_upload/RE-](http://www.now-gmbh.de/fileadmin/user_upload/RE-)

<sup>54</sup> Vgl. Carmo et al. (2013) A comprehensive review on PEM water electrolysis. International Journal of Hydrogen Energy 2013. Doi: 10.1016/j.ijhydene.2013.01.151

<sup>55</sup> Vgl. Zeng K, Zhang D. Recent progress in alkaline water electrolysis for hydrogen production and applications. Progress in Energy and Combustion Scienc 36 (2010): 307-326. DOI 10.1016/j.pecs.2009.11.002

<sup>56</sup> Vgl. Smolinka et al. (2011) Stand und Entwicklungspotenzial der Wasserelektrolyse zur Herstellung von Wasserstoff aus regenerativen Energien. Kurzfassung NOW-Studie. Fraunhofer ISE, FCBAT: 2011. [http://www.now-gmbh.de/fileadmin/user\\_upload/RE-](http://www.now-gmbh.de/fileadmin/user_upload/RE-)

<sup>57</sup> Vgl. Graves C, Ebbesen SD, Mogensen M, Lackner KS. Sustainable hydrocarbon fuels by recycling CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O with renewable or nuclear energy. Renew Sust Energy Rev 2011; 15:1-23. DOI 10.1016/j.rser.2010.07.014

<sup>58</sup> Vgl. Ursua A, Gandia LM, Sanchis P. Hydrogen Production from water electrolysis: current status and future trends. Proceedings of the IEEE 2012; Vol. 100, No. 2: 410-426. DOI 10.1109/JPROC.2011.2156750

Sowohl mit alkalischen als auch PEM-Elektrolyseuren wird eine Systemeffizienz zwischen 60% und 70% erreicht. Zentrale Herausforderungen für beide Elektrolyse-Technologien sind vor allem der Umgang mit fluktuierendem Strominput (aus erneuerbaren Energiequellen) und die derzeit, auf Basis des aktuellen Entwicklungsstandes, damit verbundene geringere Effizienz und Wasserstoffqualität im Teillastbetrieb. Eine hochdynamische Betriebsweise hat zudem negative Effekte auf die Haltbarkeit der Systeme. Um die Power-to-Gas Technologie auch wirtschaftlich attraktiv zu machen, müssen die derzeit noch hohen Investitionskosten für Elektrolyseure deutlich gesenkt werden.

### 3.1.2 Methanisierung (Power-to-Gas)

Bei der Methanisierung wird in einem Synthesereaktor durch Einsatz von Wasserstoff H<sub>2</sub> und Kohlenmonoxid CO bzw. Kohlendioxid CO<sub>2</sub> das Produktgas Methan (CH<sub>4</sub>) erzeugt. Dieser katalytische Prozess wird als Sabatier-Prozess bezeichnet, siehe Reaktionsgleichung (2).<sup>61,62</sup> Während die CO-Methanisierung eine bereits bewährte Technologie in der Kohlevergasung ist, befindet sich die CO<sub>2</sub>-Methanisierung noch in Entwicklung. Die erreichbaren Wirkungsgrade liegen mit rund 80% zwar bereits im Bereich der CO-Methanisierung, es bestehen aber noch Herausforderungen hinsichtlich Wärmemanagement und Langzeitstabilität des Katalysators.<sup>63</sup>



Typische Parameter der CO und der CO<sub>2</sub>-Methanisierung sind in Tabelle 3 dargestellt. Der Einsatz von CO<sub>2</sub> in der Methansynthese ist besonders in Hinblick auf die Wiederverwertung des Treibhausgases Kohlendioxid interessant.

Für die Methansynthese kommen verschiedene Reaktorsysteme in Frage, wobei zwischen 2-Phasen und 3-Phasen-Systemen unterschieden werden kann. In 2-Phasen-Systemen wie

---

<sup>59</sup> Vgl. Smolinka T, Günther M, Garche J. Stand und Entwicklungspotenzial der Wasserelektrolyse zur Herstellung von Wasserstoff aus regenerativen Energien. Kurzfassung NOW-Studie. Fraunhofer ISE, FCBAT: 2011. [http://www.now-gmbh.de/fileadmin/user\\_upload/RE-Mediathek/RE\\_Publikationen\\_NOW/NOW-Studie-Wasserelektrolyse-2011.pdf](http://www.now-gmbh.de/fileadmin/user_upload/RE-Mediathek/RE_Publikationen_NOW/NOW-Studie-Wasserelektrolyse-2011.pdf), Zugriff am 17.12.2012

<sup>60</sup> Vgl. Maclay JD, Brouwer J, Samuelsen GS (2011) Experimental results for hybrid energy storage systems coupled to photovoltaic generation in residential applications. *Int J Hydrogen Energy* 36(19):12130-12140. doi:10.1016/j.ijhydene.2011.06.089

<sup>61</sup> Vgl. Müller B, Müller K, Teichmann D, Arlt W. Energiespeicherung mittels Methan und energietragenden Stoffen – ein thermodynamischer Vergleich. *Chemie Ingenieur Technik* 2011, 83, No. II, 2002-2013. DOI 10.1002/cite.201100113

<sup>62</sup> Vgl. Sterner M, Jentsch M, Holzhammer U. Energiewirtschaftliche und ökologische Bewertung eines Windgas-Angebotes. Fraunhofer IWES 2011. [http://michaelwenzl.de/wiki/\\_media/ee:greenpeace\\_energy\\_gutachten\\_windgas\\_fraunhofer\\_sterner.pdf](http://michaelwenzl.de/wiki/_media/ee:greenpeace_energy_gutachten_windgas_fraunhofer_sterner.pdf), Zugriff am 18.12.2012

<sup>63</sup> Vgl. Project homepage iC4 – Integrated Carbon Capture, Conversion and Cycling. <http://www.ic4.tum.de/index.php?id=1235>, Zugriff am 17.12.2012

z.B. Festbett- und Wirbelschichtreaktoren sowie beschichteten Waben sind die Edukte gasförmig und der Katalysator fest. Bei 3-Phasen-Systemen (z.B. Blasensäule) wird zusätzlich noch ein flüssiges Wärmeträgermedium eingesetzt.

Festbettreaktoren zeichnen sich durch geringe mechanische Katalysatorbelastung aus und sind schnell betriebsbereit. In den Reaktoren besteht allerdings die Gefahr der Bildung sogenannter HotSpots, die den Katalysator beschädigen können und die Investitionskosten von Festbettreaktoren sind sehr hoch. In einem Wirbelschichtreaktor ist aufgrund der kleineren Partikel eine hohe spezifische Katalysatoroberfläche vorhanden und die Temperaturverteilung ist durch die gute Wärmeabfuhr gleichmäßig. Es kommt allerdings zu einer höheren mechanischen Beanspruchung und es muss ein Mindestvolumenstrom eingehalten werden, der zu Problemen im dynamischen Betrieb führen kann. In strukturierten Packungen wird der Katalysator auf eine Wabenstruktur aufgebracht, wodurch der radiale Wärmetransport erhöht werden kann. Eine großtechnische Einsetzbarkeit konnte allerdings noch nicht demonstriert werden.<sup>64</sup>

**Tabelle 3: Parameter der CO und CO<sub>2</sub>-Methanisierung**

	CO Methanisierung	CO <sub>2</sub> Methanisierung
Leistungsbereich	80 bis 110 % der Nennleistung	
Betriebsdruck	13 bis 60 bar	6 bis 8 bar
Betriebstemperatur	300 bis 700 °C	180 bis 350°C
Platzbedarf	Abhängig von der Anlagengröße, wobei eine Verdoppelung der Kapazität nicht mit doppeltem Flächenbedarf einhergeht	

Quelle: *Energieinstitut an der JKU Linz basierend auf Angaben von Cover et al.<sup>65</sup>, Sterner et al.<sup>66</sup> und Breyer et al.<sup>67</sup>*

### 3.1.3 Kohlendioxidabtrennung

Sowohl für die Methansynthese (Power-to-Gas) aber auch für die Produktion von Synthesegas und in weiterer Folge flüssigen Kohlenwasserstoffen (Power-to-Liquids) wird Kohlendioxid benötigt. Für die Bereitstellung von CO<sub>2</sub> stehen dabei zahlreiche Quellen sowie

---

<sup>64</sup> Vgl. DVGW Innovationsoffensive Energiespeicherkonzepte

<sup>65</sup> Vgl. Cover AE, Hubbard DA, Jain SK, Shah KV, Koneru PB, Wong EW (1985) Review of selected shift and methanation processes for SNG production, Kellogg Rust Synfuels Inc., Texas.

<sup>66</sup> Vgl. Sterner M (2009) Bioenergy and renewable power methane in integrated 100% renewable energy systems. Dissertation, Kassel University.

<sup>67</sup> Vgl. Breyer CH, Rieke S, Sterner M, Schmid J. Hybrid PV-Wind-Renewable Methane Power Plants. European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany; 2011. [http://www.q-cells.com/uploads/tx\\_abdownloads/files/](http://www.q-cells.com/uploads/tx_abdownloads/files/)

6CV.1.31\_Breyer2011\_HybPV-Wind-RPM-Plants\_paper\_PVSEC\_preprint.pdf, Zugriff am 17.12.2012

Abtrennungstechnologien zur Verfügung, welche in IPCC<sup>68</sup> oder Li et al.<sup>69</sup> näher beschrieben sind.

Eine große Menge CO<sub>2</sub> fällt in der Verbrennung von fossilen oder erneuerbaren Rohstoffen in Kraftwerken an. Für die Abtrennung kommen Post-Combustion, Pre-Combustion, Oxyfuel oder Chemical Looping-Verfahren zum Einsatz. Je nach Abtrennungstechnologie wird ein bestimmter Anteil der Wärme aus dem Kraftwerk benötigt und so der Primärenergieverbrauch erhöht. Dadurch sinkt die Gesamteffizienz des Kraftwerks um rund 7 bis 10%-Punkte und es wird zwischen 20 und 40% mehr Primärenergie je erzeugter kWh<sub>el</sub> benötigt.<sup>70,71</sup>

In industriellen Prozessen wie der Zement- oder Kalkproduktion, in der chemischen Industrie sowie in verschiedensten Fermentationsprozessen fällt ebenfalls Kohlendioxid in unterschiedlicher Reinheit an.<sup>72</sup> Für die Abtrennung des Kohlendioxids kommen verschiedenste physikalische und chemische Absorptions- und Adsorptions- sowie Membrantrennverfahren zur Anwendung, welche z.B. in Ryckebosch et al.<sup>73</sup> genauer beschrieben werden. Für den Einsatz in Power-to-Gas-Anlagen ist vor allem auch Kohlendioxid aus biogenen Quellen, wie der Aufbereitung von Biogas oder der Biomassevergasung interessant.<sup>74</sup>

Theoretisch kann das CO<sub>2</sub> auch aus der Umgebungsluft abgetrennt werden, wobei dies aufgrund der geringen Konzentrationen in der Atmosphäre (ca. 370 ppm<sup>75</sup>) mit einem sehr hohen Energieaufwand und hohen Kosten verbunden ist.<sup>76</sup> Je nach verwendeter Abtrennungstechnologie werden zwischen 320 und 440 kJ/mol CO<sub>2</sub> benötigt.<sup>77,78</sup>

---

<sup>68</sup> Vgl. IPCC (2005) Carbon dioxide capture and storage. Cambridge University Press 2005.

<sup>69</sup> Vgl. Li B, Duan Y, Luebke D, Morreale B. Advances in CO<sub>2</sub> capture technology: A patent review. Appl Energ 2013; 102: 1439 – 1447. DOI 10.1016/j.apenergy.2012.09.009.

<sup>70</sup> Vgl. Rubin E S, Mantripragada H, Marks A, Versteeg P, Kitchin J (2012) The outlook for improved carbon capture technology. Progress in Energy and Combustion Science 2012: 38, 630-671. Doi: 10.1016/j.pecs.2012.03.003

<sup>71</sup> Vgl. Trost T, Horn S, Jentsch M, Sterner M (2012) Erneuerbares Methan: Analyse der CO<sub>2</sub>-Potenziale für Power-to-Gas Anlagen in Deutschland

<sup>72</sup> Vgl. Breyer et al. (2011) Hybrid PV-Wind-Renewable Methane Power Plants. European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany; 2011.

<sup>73</sup> Vgl. Ryckebosch E, Drouillon M, Vervaeren H (2011) Techniques for transformation of biogas to biomethane. Biomass and Bioenergy 2011: 35, 1633-1645. Doi: 10.1016/j.biombioe.2011.02.033

<sup>74</sup> Vgl. Trost et al. (2012) Erneuerbares Methan: Analyse der CO<sub>2</sub>-Potenziale für Power-to-Gas Anlagen in Deutschland

<sup>75</sup> Vgl. Baciocchi R., Storti, G., Mazzotti, M., (2006) Process design and energy requirements for the capture of carbon dioxide from air, Chemical Engineering and Processing 45, pp. 1047–1058.

<sup>76</sup> Vgl. Breyer et al. (2011) Hybrid PV-Wind-Renewable Methane Power Plants. European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany; 2011.

<sup>77</sup> Vgl. Gattrell M, Gupta N, Co A. Electrochemical reduction of CO<sub>2</sub> to hydrocarbons to store renewable electrical energy and upgrade biogas. Energy Conversion and Management 48 (2007) 1255-1265. doi:10.1016/j.enconman.2006.09.019

### 3.1.4 Flüssige Kohlenwasserstoffe (Power-to-Liquids)

Neben der Methansynthese aus Kohlendioxid (bzw. Kohlenmonoxid) und Wasserstoff können auch andere (flüssige) Kohlenwasserstoffe hergestellt werden, wie bereits in Abbildung 3 dargestellt. Dazu wird aus dem im Elektrolyseur produzierten Wasserstoff und Kohlendioxid ein Synthesegas ( $\text{H}_2 + \text{CO}$ ) hergestellt. Das Verhältnis von  $\text{H}_2$  zu  $\text{CO}$  wird dabei mittels Wassergas-Shift Reaktion in Reaktionsgleichung (3) eingestellt.



Für die Umwandlung von Synthesegas in flüssige Kohlenwasserstoffe gibt es verschiedene Möglichkeiten die von der Methanolsynthese und der Fischer-Tropsch Synthese über die Oxosynthese bis hin zur Fermentation reichen.

Die Methanolsynthese erfolgt anhand von Reaktionsgleichung (4) bei Temperaturen zwischen 230 und 270°C. Methanol ist ein wichtiger chemischer Grundstoff in der Industrie und es werden jährlich (2013) rund 65 Mio. Tonnen weltweit hergestellt.<sup>79</sup>



Methanol kann entweder direkt (z.B. in einer Brennstoffzelle) als Treibstoff eingesetzt werden, oder als Ausgangsstoff für zahlreiche andere Produkte, wie beispielsweise Dimethylether verwendet werden. Dieser Prozess wird bereits kommerziell v.a. in den Ländern Japan, China und Korea eingesetzt.<sup>80</sup> Des Weiteren können auch Methyl-tertiär-butylether (MTBE), Formaldehyde, Essigsäure, oder Ethylen bzw. Propylen hergestellt werden.

Die Fischer-Tropsch Synthese ist ein bereits großindustriell angewandtes Verfahren zur Produktion von flüssigen Kohlenwasserstoffen aus Synthesegas und kann ganz allgemein mit Reaktionsgleichung (5) beschrieben werden.<sup>81</sup>



Die Synthese erfolgt in Festbett oder Dreiphasen-Reaktoren (Slurry) und je nach gewünschten Produkten wird zwischen Hoch-Temperatur (300 bis 250°C) und Nieder-Temperatur (200 bis 220°C) unterschieden. Die Hauptprodukte werden durch die Auswahl

---

<sup>78</sup> Vgl. Pearson RJ, Eisaman MD, Turner JWG, Edwards PP, Jiang Z, Kuznetsov VL, Littau KA, Di Marco L, Tylor SRG. Energy Storage via Carbon-Neutral Fuels Made from CO<sub>2</sub>, Water and Renewable Energy. Proceedings of the IEEE, Vol.100 (2), 2012. doi:10.1109/JPROC.2011.2168369

<sup>79</sup> <http://www.methanol.org>, Zugriff am 10. März 2014

<sup>80</sup> Vgl. Olah GA, Goeppert A, Prakash GKS. Chemical Recycling of Carbon Dioxide to Methanol and Dimethyl Ether: From greenhouse Gas to Renewable, Environmentally Carbon Neutral Fuels and Synthetic Hydrocarbons. J.Org.Chem. 2009, 74, 487-498. Doi:10.1021/jo801260f

<sup>81</sup> Vgl. Pearson et al. (2012) Energy Storage via Carbon-Neutral Fuels Made from CO<sub>2</sub>, Water and Renewable Energy. Proceedings of the IEEE, Vol.100 (2), 2012.

der Katalysatoren bestimmt, welche vorwiegend auf Eisen, Cobalt, Ruthenium oder Nickel basieren.<sup>82</sup> Neben der Produktion von Olefinen, Wachsen und Naphtha werden mit der Fischer-Tropsch-Synthese vor allem die Treibstoffe Benzin, Diesel und Kerosin hergestellt.

In der Oxosynthese (oder auch Hydroformylierung) werden aus Olefinen und Synthesegas verschiedene Aldehyde wie z.B. Formaldehyd, Acetaldehyd hergestellt. An einem Cobalt-Katalysator bei einer Temperatur von 120 bis 300 °C und einem Druck von mindestens 150 bar greifen die entstehenden Wasserstoff- und COH-Radikale an der Doppelbindung von Alkenen an und es entsteht ein Isomergemisch von Aldehyden. Die Aldehyde können z.B. durch Hydrierung zu Alkoholen weiterverarbeitet werden.

Eine weitere Möglichkeit für die Verwendung von Synthesegas stellt die biotechnologische Fermentation dar, die zur Produktion von Alkoholen (Ethanol, Butanol, Aceton, 1,2-Propandiol etc.) eingesetzt wird. Die Fermentation erfolgt bei niedrigeren Temperaturen und Drücken als beispielsweise die Fischer-Tropsch-Synthese und es können Gas mit höheren Verunreinigungen (Schwefel) sowie unterschiedlichen CO/H<sub>2</sub> Verhältnissen eingesetzt werden. Nachteile ergeben sich unter anderem aufgrund der niedrigen volumetrischen Produktivität.<sup>83</sup>

Neben der Herstellung von Synthesegas als Ausgangsstoff für die flüssigen Kohlenwasserstoffe, können diese auch auf direktem Weg aus CO<sub>2</sub> und Wasserstoff (bzw. Wasser) synthetisiert werden. Die Herstellung von Methanol aus CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub> wird beispielsweise von Olah et al.<sup>84</sup> beschrieben und eine Pilotanlage zur Anwendung dieses Verfahrens wurde bereits von der Firma Carbon Recycling Int. in Island errichtet.<sup>85</sup>

Eine weitere Möglichkeit ist die elektrochemische Produktion von Methanol (und anderen Kohlenwasserstoffen) direkt aus elektrischer Energie, CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O, welche sich allerdings im frühen Entwicklungsstadium befindet. Die möglichen Verfahren werden z.B. in Graves et al. (2011)<sup>86</sup> oder Beck et al. (2010)<sup>87</sup> beschrieben.

---

<sup>82</sup> Vgl. Bacovsky D, Dallos M, Wörgetter M. Status of 2nd Generation Biofuels Demonstration Facilities in June 2010. Report to the IEA Bioenergy Task 39. <http://task39.org/files/2013/05/Status-of-2nd-gen-Biofuel-Demonstration-Facilities-IEA-Bioenergy-Task-39.pdf>, Zugriff am 10. März 2014

<sup>83</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Synthesegas-Fermentation>, Zugriff am 12. März 2014

<sup>84</sup> Vgl. Olah (2009) Chemical Recycling of Carbon Dioxide to Methanol and Dimethyl Ether: From greenhouse Gas to Renewable, Environmentally Carbon Neutral Fuels and Synthetic Hydrocarbons. *J.Org.Chem.* 2009, 74, 487-498

<sup>85</sup> Siehe <http://www.carbonrecycling.is/>, Zugriff am 10. März 2014

<sup>86</sup> Vgl. Graves et al. (2011) Sustainable hydrocarbon fuels by recycling CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O with renewable or nuclear energy. *Renew Sust Energy Rev* 2011

<sup>87</sup> Vgl. Beck J, Johnson R, Naya T. Electrochemical conversion of Carbon Dioxide to Hydrocarbon Fuels. EME 580. [http://www.ems.psu.edu/~elsworth/courses/egee580/2010/Final%20Reports/co2\\_electrochem.pdf](http://www.ems.psu.edu/~elsworth/courses/egee580/2010/Final%20Reports/co2_electrochem.pdf), Zugriff am 10. März 2014

### 3.2 Einsatzmöglichkeiten der Produkte

Werden Wasserstoff, Methan bzw. die flüssigen Kohlenwasserstoffe nicht am Ort der Anwendung erzeugt, so müssen diese transportiert werden. Dafür gibt es verschiedene Möglichkeiten, die sich vor allem hinsichtlich Aggregatzustand (flüssig oder gasförmig) grundlegend unterscheiden.

Für die gasförmigen Produkte  $H_2$  bzw.  $CH_4$  besteht die Möglichkeit der Einspeisung in das bestehende Erdgasnetz, sofern die lokalen Qualitätskriterien wie z.B. der ISO 13868<sup>88</sup> eingehalten werden. Die Energieträger können so in die Nachfragezentren transportiert werden und stehen dort für Wärme- und Stromerzeugung oder als Kraftstoff für Mobilitätszwecke zur Verfügung. Während Methan ohne Begrenzung in das Erdgasnetz eingespeist werden kann, müssen hinsichtlich der Einspeisung von Wasserstoff bestimmte Grenzen für den volumetrischen Anteil im Erdgas eingehalten werden.

Eine weitere Transportmöglichkeit für  $H_2$  ist die Verwendung von Wasserstoffpipelines, welche allerdings noch nicht sehr weit verbreitet sind. Wasserstoffpipelines existieren meist in Industriegebieten oder werden von Unternehmen im Firmengelände intern genutzt. Der Aufbau einer eigenen flächendeckenden Wasserstoffinfrastruktur ist zwar denkbar, allerdings mit hohen Kosten und Aufwand verbunden.

Der Transport mittels Lastwagen oder Schiff kann grundsätzlich sowohl für Wasserstoff, Methan als auch für alle flüssigen Kohlenwasserstoffe erfolgen. Da die gasförmigen Energieträger ( $H_2$  und  $CH_4$ ) eine deutlich geringere volumetrische Energiedichte aufweisen, als flüssige Kohlenwasserstoffe, müssen diese verdichtet bzw. verflüssigt und in Drucktanks gespeichert werden. Die Verdichtung und vor allem die Verflüssigung von Wasserstoff und Methan ist allerdings mit einem hohen Energieaufwand verbunden.<sup>89</sup>

Die Integration von Power-to-Gas (bzw. Power-to-Liquids) in das bestehende Energiesystem ermöglicht viele verschiedene Verwertungspfade und erfüllt unterschiedliche Funktionen, welche in Kapitel 4 näher erläutert werden. Zusammengefasst können folgende Nutzen von Power-to-Gas für das Energiesystem identifiziert werden:

1. Bereitstellung eines Langzeitspeichers für elektrische Energie und das damit verbundene verbesserte Management einer stark volatilen (erneuerbaren) Stromproduktion
2. Verlagerung des Energietransportes vom Stromnetz zum Gasnetz und die damit verbundene geringere Intensität des Ausbaus der Netz-Infrastruktur
3. Möglichkeit zur Anhebung des Anteils erneuerbarer Energieträger (insbesondere in den Sektoren Verkehr und Industrie) durch die Nutzung von Wasserstoff, Methan oder anderen flüssigen Kohlenwasserstoffen aus erneuerbaren Quellen

---

<sup>88</sup> Vgl. ISO 13686:1998 Natural gas – Quality designation. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

<sup>89</sup> Vgl. Pickard, W.F. (2013) Transporting the terajoules: Efficient energy distribution in a post-carbon world. Energy Policy, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.07.064i>.



4. Schaffung von autarken Energielösungen in topografisch schwierigen und abgelegenen Regionen für alle relevanten Energiesegmente: Strom, Wärme und Verkehr.

Für die Energieträger aus Power-to-Gas bzw. Power-to-Liquids bestehen verschiedene Anwendungsmöglichkeiten in den Sektoren Mobilität, Strom, Wärme und Industrie. Die Effizienz der jeweiligen Verwertungspfade hängt einerseits von den eingesetzten Komponenten und andererseits von der jeweiligen Betriebsweise ab. Die Effizienz der wichtigsten Prozessschritte im Power-to-Gas System ist in Tabelle 4 dargestellt. Mögliche Verbesserungen der Gesamtenergieeffizienz können durch Abwärmenutzung bzw. Nutzung des O<sub>2</sub> aus der Elektrolyse erzielt werden (in Tabelle 4 nicht berücksichtigt). Die größten Verluste in der Prozesskette werden durch die Hauptkomponenten Elektrolyse und Methanisierung verursacht. Die Weiterentwicklung dieser Prozessschritte hat somit bedeutenden Einfluss auf die Gesamteffizienz von Power-to-Gas Systemen und sollte forciert werden.

**Tabelle 4: Effizienz einzelner Prozessschritte im Power-to-Gas System**

Prozessschritt	Umwandlungseffizienz*	Anmerkungen
Elektrolyse	55 % - 70 %	Elektrolyseur inkl. Peripherie (PEMEC, AEC)
Methanisierung	72 % - 85 %	Abwärmenutzung möglich
Einspeisung in das Erdgasnetz	98,5 %	Verdichtung und Einspeisung
H <sub>2</sub> -Tankstelle	93 %	Verdichtung und Abfüllung von H <sub>2</sub> bei 350 bar
CNG Tankstelle	95 %	Verdichtung und Abfüllung von CH <sub>4</sub> bei 250 bar
Brennstoffzelle	48 % - 70 %	PEM-Brennstoffzelle
Gas- und Dampfkraftwerk	50 % - 60 %	

\* energetischer Prozessinput zu –output bezogen auf LHV (unterer Heizwert)

Quelle: Reiter et al.<sup>90</sup> - Zusammenstellung nach Ursua et al.<sup>91</sup>, Smolinka et al.<sup>92</sup>, Rieke<sup>93</sup>, Mueller-Syring et al.<sup>94</sup>, Lee et al.<sup>95</sup>, Ulleberg et al.<sup>96</sup> und Edwards et al.<sup>97</sup>

<sup>90</sup> Reiter G., Lindorfer J. (2014) Ökonomische und ökologische Prozessbewertung des Technologiekonzeptes Power-to-Gas. 10. Minisymposium der Verfahrenstechnik, 17.-18. Juni 2014, Wien.

<sup>91</sup> Vgl. Ursua A, Gandia LM, Sanchis P. Hydrogen Production from water electrolysis: current status and future trends. Proceedings of the IEEE 2012; 100(2): 410-426.

<sup>92</sup> Vgl. Smolinka T, Günther M, Garche J. Stand und Entwicklungspotenzial der Wasserelektrolyse zur Herstellung von Wasserstoff aus regenerativen Energien. Kurzfassung NOW-Studie. Fraunhofer ISE, FCBAT, 2011.

<sup>93</sup> Vgl. Rieke S. Regenerative Vollversorgung – von der Vision zur Praxis. Hannover, 2011. [http://www.bee-ev.de/\\_downloads/bee/2011/HannoverMesse/20110404\\_HMI\\_SolarFuel\\_Rieke\\_Vollversorgung.pdf](http://www.bee-ev.de/_downloads/bee/2011/HannoverMesse/20110404_HMI_SolarFuel_Rieke_Vollversorgung.pdf), Zugriff am 17.Dezember 2012.

<sup>94</sup> Vgl. Mueller-Syring G, Henel M. Power-to-Gas: Konzepte, Kosten, Potenziale. DBI Fachforum: Energiespeicherkonzepte und Wasserstoff, 2011. [http://www.dbi-gti.de/fileadmin/downloads/5\\_Veroeffentlichungen/Tagungen\\_Workshops/2011/H2-FF/07\\_Mueller-Syring\\_DBI\\_GUT.pdf](http://www.dbi-gti.de/fileadmin/downloads/5_Veroeffentlichungen/Tagungen_Workshops/2011/H2-FF/07_Mueller-Syring_DBI_GUT.pdf), Zugriff am 17.Dezember 2012

Grundsätzlich sinkt die Effizienz eines Verwertungspfadens mit jeder zusätzlichen Komponente und so sollten die Systeme so einfach wie möglich gehalten werden. Wenn möglich sollte der produzierte Energieträger also direkt einer Verwendung zugeführt werden da beispielsweise eine Rückverstromung wiederum mit Umwandlungsverlusten behaftet ist. Die Effizienz der Rückverstromung von eingespeistem H<sub>2</sub> liegt beispielsweise bei 26 % bis 48 %. Ist für die Einspeisung in das Erdgasnetz eine Methanisierung erforderlich, verringert sich die Effizienz bei Rückverstromung auf 19 % bis 41 %. Verwertungspfade, die H<sub>2</sub> nutzen haben grundsätzlich eine höhere Effizienz als jene mit CH<sub>4</sub>. Da der Volumenanteil von H<sub>2</sub> im Erdgas aber begrenzt ist, kann je nach Standort eine Methanisierung erforderlich sein.<sup>98</sup>

Die Vorteile der Energieträger Wasserstoff und Methan aus Power-to-Gas werden hier in einem kurzen Überblick zusammengefasst. Eine Gesamtbewertung im Sinne der Determinierung eines eindeutigen Vorteils kann allerdings nur für den Einzelfall erfolgen. Die Summe der Entscheidungsfaktoren ist somit von Fall zu Fall zu bewerten und hinsichtlich der Vorteile und Nachteile von Wasserstoff oder synthetischem Methan zu analysieren. Eine pauschale Bewertung ist aus Sicht der Autoren nicht zulässig. Das flexible System Power-to-Gas ermöglicht die Nutzung beider Energieträger.

### Vorteile von Wasserstoff gegenüber synthetischem Methan aus Power-to-Gas-Anlagen:

1. Wasserstoff weist geringere Herstellungskosten als synthetisches Methan auf
2. Ohne zusätzliche Zwischenspeicherungsmodul erlaubt die Produktion von Wasserstoff eine insgesamt dynamischere Fahrweise des Gesamtprozesses
3. Die Produktion von Wasserstoff beinhaltet geringere Umwandlungsverluste, der Wirkungsgrad ist somit höher ausgeprägt als bei synthetischem Methan
4. Autarke Systeme zur Energiespeicherung können mit Wasserstoff einfacher realisiert werden als mit synthetischem Methan
5. Für die Wasserstoffproduktion wird keine Kohlenstoffdioxidquelle benötigt, somit ist die Produktion ortsunabhängiger
6. Die Verbrennung von Wasserstoff verursacht nahezu keine direkten Emissionen, wohingegen synthetisches Methan direkte Emissionen freisetzt

---

<sup>95</sup> Vgl. Lee J-Y, Cha K-H, Lim T-W, Hur T. Eco-efficiency of H<sub>2</sub> and fuel cell buses. Int J Hydrogen Energ 2011; 36: 1754-1765.

<sup>96</sup> Vgl. Ulleberg O, Nakken T, Ete A. The wind/hydrogen demonstration system at Utsira in Norway: Evaluation of system performance using operational data and updated hydrogen energy system modeling tools. Int J Hydrogen Energ 2010; 35:1841-1852.

<sup>97</sup> Vgl. Edwards PP, Kuznetsov VL, David WIF, Brandon NP. Hydrogen and fuel cells: Towards a sustainable energy future. Energy Policy 2008; 36:4356-4362.

<sup>98</sup> Reiter G., Lindorfer J. (2014) Ökonomische und ökologische Prozessbewertung des Technologiekonzeptes Power-to-Gas. 10. Minisymposium der Verfahrenstechnik, 17.-18. Juni 2014, Wien.

### Vorteile von synthetischem Methan gegenüber Wasserstoff aus Power-to-Gas-Anlagen:

1. Die Speicherung von Methan ist weniger aufwändig als die direkte Speicherung von Wasserstoff – diese ist kostenintensiver und technologisch anspruchsvoller
2. Die Verwendung bzw. der Transport von Methan kann auf eine bestehende Infrastruktur zurückgreifen, während reine Wasserstoffnetze nur begrenzt existieren
3. Die Produktion und Nutzung von synthetischem Methan besitzt geringere Restriktionen beim Endverbraucher im Sinne einer Technologieverträglichkeit und der Gewährung von Garantien als ein dem Erdgasnetz zugeführter Wasserstoff
4. Die Abrechnung von synthetischem Methan ist aufgrund des ähnlichen Brennwertes wie bei konventionellem Erdgas weniger komplex – es bestehen geringere Abweichungen in Abrechnungssystemen als bei höheren H<sub>2</sub>-Anteilen im Erdgas
5. Synthetisches Methan kann unter Einhaltung der Normen problemlos in das Erdgasnetz eingespeist werden – der Ort der Einspeisung ist weniger problematisch als bei einer H<sub>2</sub>-Einspeisung, bei der auf eine exakte Durchmischung zu achten ist
6. Die Produktion von synthetischem Methan löst die Problemstellung einer potentiellen Abhängigkeit von anderen Marktteilnehmern, die bereits dem Gasnetz die maximale Wasserstoffmenge beigemischt haben

### **3.2.1 Einsatzmöglichkeiten im Mobilitätsbereich**

Im Mobilitätsbereich besteht ein großes Potential für erneuerbare Treibstoffe und neuartige Antriebskonzepte, da aktuell der Großteil der verwendeten Treibstoffe aus fossilen Quellen stammt. Flüssige Biokraftstoffe machen hingegen nur rund 3% der global verwendeten Kraftstoffe aus.<sup>99</sup> Sowohl die gasförmigen Treibstoffe H<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> aus Power-to-Gas als auch die flüssigen Kohlenwasserstoffe (Power-to-Liquids) können als alternative Treibstoffe im Mobilitätsbereich eingesetzt werden und so herkömmliche fossile Kraftstoffe ersetzen.

Methan aus Power-to-Gas Anlagen ist dem bereits häufig verwendeten Erdgas oder CNG (Compressed Natural Gas) äquivalent und kann bei Erfüllung der Qualitätskriterien auch in bestehenden CNG-Tankstellen und Fahrzeugen verwendet werden. Die Tankstelleninfrastruktur ist bereits relativ weit verbreitet und wird kontinuierlich ausgebaut. Die Methanisierung in der Power-to-Gas Anlage führt allerdings zu einer reduzierten Gesamtenergieeffizienz und das gebundene CO<sub>2</sub> wird im Fahrzeugbetrieb wieder emittiert.

Ein emissionsfreier Betrieb kann hingegen bei der Nutzung von Wasserstoff erreicht werden. Der Einsatz von Wasserstoff in der Mobilität und die damit verbundene Fahrzeugtechnologie sowie die gesamte Infrastruktur (Wasserstofftransport und Tankstellen) sind allerdings

---

<sup>99</sup> Vgl. REN21. (2013) Renewables 2013 Global Status Report. Paris, REN21 Secretariat. [http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2013/GSR2013\\_lowres.pdf](http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2013/GSR2013_lowres.pdf), Zugriff am 21.05.2012

deutlich weniger verbreitet. Es wurden zwar in den letzten zehn Jahren weltweit zahlreiche Wasserstofftankstellen errichtet<sup>100</sup>, ein durchgehendes Tankstellennetz ist aber nicht vorhanden. Ob sich diese Technologie durchsetzt, hängt unter anderem von der zukünftigen Verfügbarkeit von Fahrzeugen und des Ausbaus der Wasserstoffinfrastruktur ab. Sowohl für Wasserstoff als auch Methan besteht zusätzlich auch die Möglichkeit der Verflüssigung, welche allerdings mit hohem Energieaufwand verbunden ist. Flüssige Kohlenwasserstoffe (Power-to-Liquids) können als Diesel- oder Benzin-Ersatz dienen bzw. in ganz neuen Antriebskonzepten eingesetzt werden, bei denen beispielsweise eine Brennstoffzelle verwendet wird. Diese neuen Antriebskonzepte befinden sich in der Entwicklung.

Alternativ könnte der Strom aus erneuerbaren Energiequellen auch direkt für Mobilitätszwecke eingesetzt werden (Elektromobilität). Der Gesamtwirkungsgrad entlang der Prozesskette ist dabei deutlich höher, da die Umwandlung von elektrischem Strom in Wasserstoff bzw. Methan oder andere Kohlenwasserstoffe gänzlich entfällt. Hürden für die Elektromobilität ergeben sich hinsichtlich der Speicherung der elektrischen Energie im Auto sowie dem nötigen Transport über die Stromleitungen und die damit verbundene zusätzliche Belastung des Stromnetzes.

Auch Biotreibstoffe tragen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen im Transportsektor bei, sind jedoch mit einer laufenden Diskussion hinsichtlich Flächenbedarf oder Nahrungsmittelkonkurrenz konfrontiert.

### 3.2.2 Einsatzmöglichkeiten in den Segmenten Strom und Wärme

Wasserstoff aus Power-to-Gas Systemen kann in einer Brennstoffzelle oder einem Verbrennungsmotor wieder in elektrische Energie umgewandelt werden. Das System Power-to-Gas stellt im Falle der Rückverstromung des erzeugten Wasserstoffs demnach einen klassischen Speicher für elektrische Energie dar. Auch das synthetisch erzeugte Methan kann rückverstromt werden, wobei die gleichen Technologien wie für Erdgas zum Einsatz kommen. Vorteil der gasförmigen Energieträger ( $H_2$  und  $CH_4$ ) ist, dass diese in das Erdgasnetz eingespeist und zu den Nachfragezentren transportiert werden können.

Das Erdgasnetz verfügt außerdem über große Speicherkapazitäten in Untergrundspeichern, welche sich auch für die saisonale Speicherung erneuerbarer Energie eignen. Einige der flüssigen Kohlenwasserstoffe können ebenfalls in Brennstoffzellen rückverstromt werden, wobei sich diese größtenteils noch in der frühen Entwicklungsphase befinden.

Da der Wirkungsgrad entlang der gesamten Prozesskette bei der Rückverstromung aller Energieträger (Power-to-Gas und Power-to-Liquids) sehr gering ist, sollten diese vorrangig für Mobilitätszwecke oder in der Industrie eingesetzt werden.

---

<sup>100</sup> Vgl. Ludwig Bölkow Systemtechnik. Hydrogen Filling Stations Worldwide. <http://www.h2stations.org>; Zugriff am 17.12.2012

Die Nutzung der erzeugten Energieträger zur Wärmebereitstellung ist grundsätzlich ebenfalls möglich, wobei im Sinne der Gesamtenergieeffizienz das Augenmerk auf der Verstromung und gleichzeitigen Abwärmenutzung in Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK) liegen sollte.

### 3.2.3 Einsatzmöglichkeit als Rohstoff für industrielle Prozesse

Wasserstoff wird derzeit überwiegend als Rohstoff für die chemische Industrie oder in der Materialverarbeitung eingesetzt. Beispiele sind die Herstellung von Aldehyden und Ketonen, hochfesten Polyäthylenen und Polypropylenen, Alkoholen aus Aldehyden und Ketonen, Chlorkohlenwasserstoff usw. Weiters kommt Wasserstoff z.B. zum Einsatz bei der Methanolsynthese, Hydrierung von Ölen und Fetten, oder als Hilfsstoff in der Elektronik und Halbleiterindustrie. Die Produktion flüssiger Kohlenwasserstoffe aus H<sub>2</sub> ist in der Industrie also bereits jetzt weit verbreitet. Der Wasserstoff wird allerdings vorwiegend auf Basis fossiler Rohstoffe mittels Dampfreformierung erzeugt und nur ein sehr geringer Anteil (<5%) wird lt. Abbasi et al.<sup>101</sup> durch Elektrolyse hergestellt, da die damit verbundenen Kosten vergleichsweise hoch sind. Die elektrolytische Herstellung von Wasserstoff ist derzeit zumindest um den Faktor 2 teurer verglichen mit konventionellen Methoden wie der Dampfreformierung von Erdgas.<sup>102</sup> Gemäß Grond et al.<sup>103</sup> ist für alkalische Elektrolyseure von einer jährlichen Senkung der Kosten durch verbesserte Technologie von 0,4% auszugehen. Bei PEM-Elektrolyseuren wird das Verbesserungspotential mit 2,2% jährlich deutlich höher eingeschätzt.

Die globale Wasserstoff-Produktion für die industrielle Nutzung beläuft sich auf rund 50 Millionen Tonnen pro Jahr<sup>104</sup> Für die industrielle Nutzung von Wasserstoff aus Power-to-Gas besteht demnach ein enormes Potential und es könnten in Zukunft große Mengen an fossilen Rohstoffen ersetzt und somit Treibhausgasemissionen eingespart werden.

## 3.3 Status Quo der F&E-Aktivitäten im Bereich der Power-to-Gas-Technologie

Weltweit wurden in den letzten Jahren zahlreiche Projekte zum Thema Power-to-Gas durchgeführt und erste Pilotanlagen in unterschiedlichen Leistungsgrößen errichtet. Die Pilotanlagen konzentrieren sich dabei vor allem auf den europäischen und

---

<sup>101</sup> Vgl. Abbasi T, Abbasi SA. Renewable Hydrogen: Prospects and Challenges. *Renew Sust Energy Rev* 2011; 15(6):3034-3040. DOI 10.1016/j.rser.2011.02.026

<sup>102</sup> Vgl. Steinmüller, H., Tichler, R., Reiter, G. et. al (2014) Power-to-Gas – eine Systemanalyse. Markt- und Technologiescouting und –analyse.

<sup>103</sup> Vgl. Grond L, Schulze P, Holstein J. Systems analyses Power to Gas: A technology review. Groningen, 2013. [http://www.dnv.com/binaries/dnv%20kema%20\(2013\)%20-%20systems%20analyses%20power%20to%20gas%20-%20technology%20review\\_tcm4-567461.pdf](http://www.dnv.com/binaries/dnv%20kema%20(2013)%20-%20systems%20analyses%20power%20to%20gas%20-%20technology%20review_tcm4-567461.pdf), Zugriff am 30.01.2014.

<sup>104</sup> Vgl. Raman V. Hydrogen Production and Supply Infrastructure for Transportation – Discussion Paper; 2004. [http://www.c2es.org/docUploads/10-50\\_Raman.pdf](http://www.c2es.org/docUploads/10-50_Raman.pdf), Zugriff am 17.12.2012

nordamerikanischen Raum. Ein starker Fokus auf die Weiterentwicklung von Power-to-Gas wird vor allem in Deutschland gelegt. Informationen zu den realisierten bzw. geplanten Pilotanlagen können Gahleitner (2013)<sup>105</sup> entnommen werden. Die relevanten Power-to-Gas Projekte in Deutschland sind auf einer interaktiven Projektkarte der Power-to-Gas-Plattform der Dena dargestellt.<sup>106</sup>

Die Herstellung von flüssigen Kohlenwasserstoffen aus Synthesegas wird teilweise bereits großtechnisch in industriellen Prozessen eingesetzt, wobei das Synthesegas aus fossilen Rohstoffen mittels Dampfreformierung hergestellt wird. Des Weiteren gibt es zahlreiche Projekte zur Nutzung von Biomasse für die Herstellung flüssiger Kohlenwasserstoffe (Biomass-to-Liquids). Diese Verfahren unterscheiden sich meist nur in der Herstellung des Synthesegases (über Biomassevergasung), die nachgeschalteten Prozesse sind vergleichbar. Pilotanlagen, die elektrische Energie zur Herstellung von Wasserstoff und in weiterer Folge flüssigen Kohlenwasserstoffen nutzen (Power-to-Liquids) sind noch kaum vorhanden. Carbon Recycling Int. errichtete 2012 in Island die erste kommerzielle Anlage zur Produktion von Methanol aus Kohlendioxid und Wasserstoff.<sup>107</sup> Auch das britische Unternehmen Air Fuel Synthesis<sup>108</sup> beschäftigt sich mit der Herstellung von Kohlenwasserstoffen aus Wasserstoff und Kohlendioxid. In Deutschland ist vor allem das Projekt CO<sub>2</sub>RRECT (CO<sub>2</sub> Reaction Using Regenerative Energies and Catalytic Technologies) hervorzuheben, im Zuge dessen ebenfalls eine Pilotanlage errichtet wurde.<sup>109</sup> Das deutsche Unternehmen Sunfire<sup>110</sup> beschäftigt sich mit der Entwicklung der Hochtemperatur-Dampfelektrolyse zur Erzeugung flüssiger Kohlenwasserstoffe aus elektrischer Energie, Wasser und Kohlendioxid.

Abbildung 4 gibt einen Überblick über die aktuell laufenden bzw. bereits abgeschlossenen Projekte im Themengebiet Power-to-Gas bzw. Power-to-Liquids in Österreich. Ein bereits vorliegendes nationales Projekt-Screening wurde dazu aktualisiert und so sind zum Zeitpunkt des Projektabschlusses alle bekannten Aktivitäten bzw. Forschungsprojekte (ohne Anspruch auf Vollständigkeit) integriert. Zusätzlich wurden auch themenverwandte Projekte dargestellt, welche keine direkte Umwandlung von elektrischem Strom in Wasserstoff bzw. in weiterer Folge in Kohlenwasserstoffe beinhalten. Diese sind in der Darstellung grau hinterlegt.

---

<sup>105</sup> Vgl. Gahleitner G. Hydrogen from renewable electricity: An international review of Power-to-Gas pilot plants for stationary applications. *International Journal of Hydrogen Energy* 38 (2013) 2039-2061.

<sup>106</sup> Siehe <http://www.powertogas.info/power-to-gas/interaktive-projektkarte.html>, Zugriff am 11. März 2014

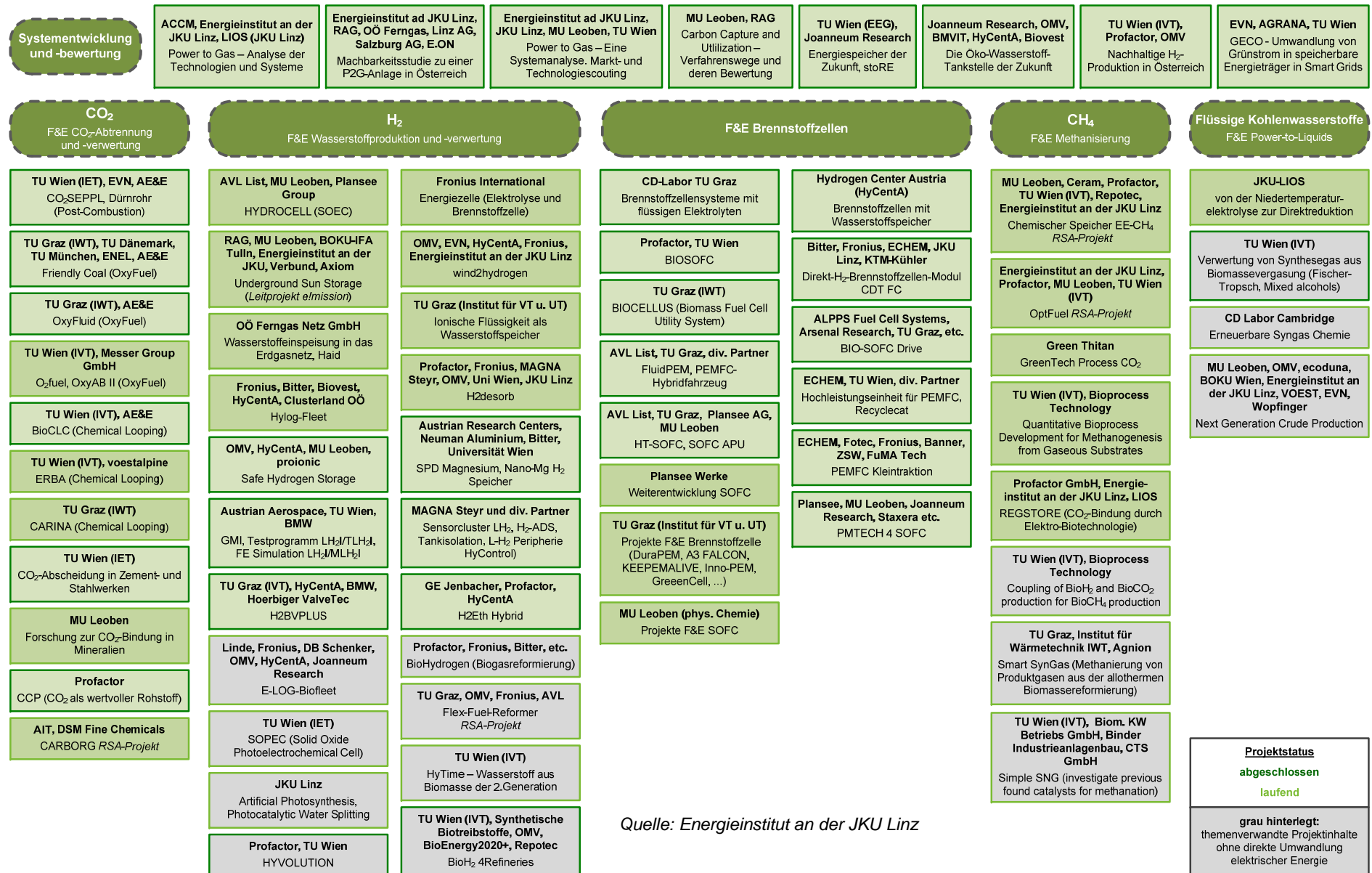
<sup>107</sup> <http://www.carbonrecycling.is/>, Zugriff am 11. März 2014

<sup>108</sup> <http://www.airfuelsynthesis.com/>, Zugriff am 11. März 2014

<sup>109</sup> <http://www.powertogas.info/power-to-gas/interaktive-projektkarte/co2rrect.html>, Zugriff am 11. März 2014

<sup>110</sup> <http://www.sunfire.de/>, Zugriff am 11. März 2014

Abbildung 4: Überblick zu den Aktivitäten im Bereich der Power-to-Gas bzw. Power-to-Liquids in Österreich (Stand März 2014).



Quelle: Energieinstitut an der JKU Linz

<b>Projektstatus</b> abgeschlossen laufend
<b>grau hinterlegt:</b> themenverwandte Projektinhalte ohne direkte Umwandlung elektrischer Energie

## 4 Die FTI-Roadmap als Fahrplan für die Zukunft

Generell kann eine Roadmap als Synonym für eine Strategie oder einen Projektplan verwendet werden. Der Begriff wird in verschiedensten Forschungs- und Entwicklungsbereichen verwendet, dazu gehören z.B. Forschungs-Roadmaps oder auch szenariobasierte Roadmaps. Roadmaps stecken dabei Trends und Bedürfnisse klar ab, sollen Unternehmen zielorientiert an einem Strang ziehen lassen, um dabei auch Fehlinvestitionen zu vermeiden. Damit werden Bedürfnisse der Industrie gedeckt und innovative Technologien vom österreichischen Markt aus kreiert. Beides trägt zu einer Kostensenkung der innovativen Technologien bei, verhilft zu einem Ausbau der Technologieführerschaft und unterstützt die internationale Wettbewerbsfähigkeit sowohl der energieintensiven Industrie als auch der nationalen Anlagenbauer. Aufgrund der erreichten Energieeffizienz verringern sich die Energiekosten und damit auch die Kosten nachhaltiger Energien.

Kennzeichnend für eine Roadmap sind der vorbereitende Charakter und die grobe Planung der auszuführenden Schritte über einen längeren Zeithorizont. Die Roadmap dient dazu, langfristige Projekte in einzelne, leichter zu bewältigende Schritte zu strukturieren, wobei hier auch auf Unsicherheiten und mögliche Szenarien zur Zielerreichung zu achten ist.

Eine Roadmap mündet in eine grafische Darstellung mit einer Abfolge von Schritten auf mehreren Ebenen. Sie umfasst kurz-, mittel- und langfristige Schritte sowie Meilensteine, Indikatoren und Verbindungen der Ebenen. Man unterscheidet explorative Roadmaps, die eine voraussichtliche Entwicklung skizzieren und Planungs-Roadmaps, die aufzeigen, wie ein bestimmtes Ziel erreicht wird.<sup>111</sup> Weiters werden Roadmaps nach Adressaten (Unternehmen, Sektor, Staat etc.) und Gegenstand (Forschung, Markt, Technologie etc.) differenziert. In einer Technologie Roadmap findet eine grafische Aufbereitung und Repräsentation von Technologien und ihren zeitlichen Verknüpfungen statt.<sup>112</sup>

**Eine FTI- Roadmap hat die zukünftige Technologieentwicklung und deren Innovationspotential im Fokus, die mit entsprechenden Forschungssystemen und -programmen sowie Maßnahmen systematisch in einem bestimmten Zeithorizont erforscht und umgesetzt werden soll.**

---

<sup>111</sup> Vgl. Möhrle, M., Isenmann (Hrsg.) (2008) Technologie-Roadmapping. Zukunftsstrategien für Technologieunternehmen

<sup>112</sup> Vgl. ebenda.



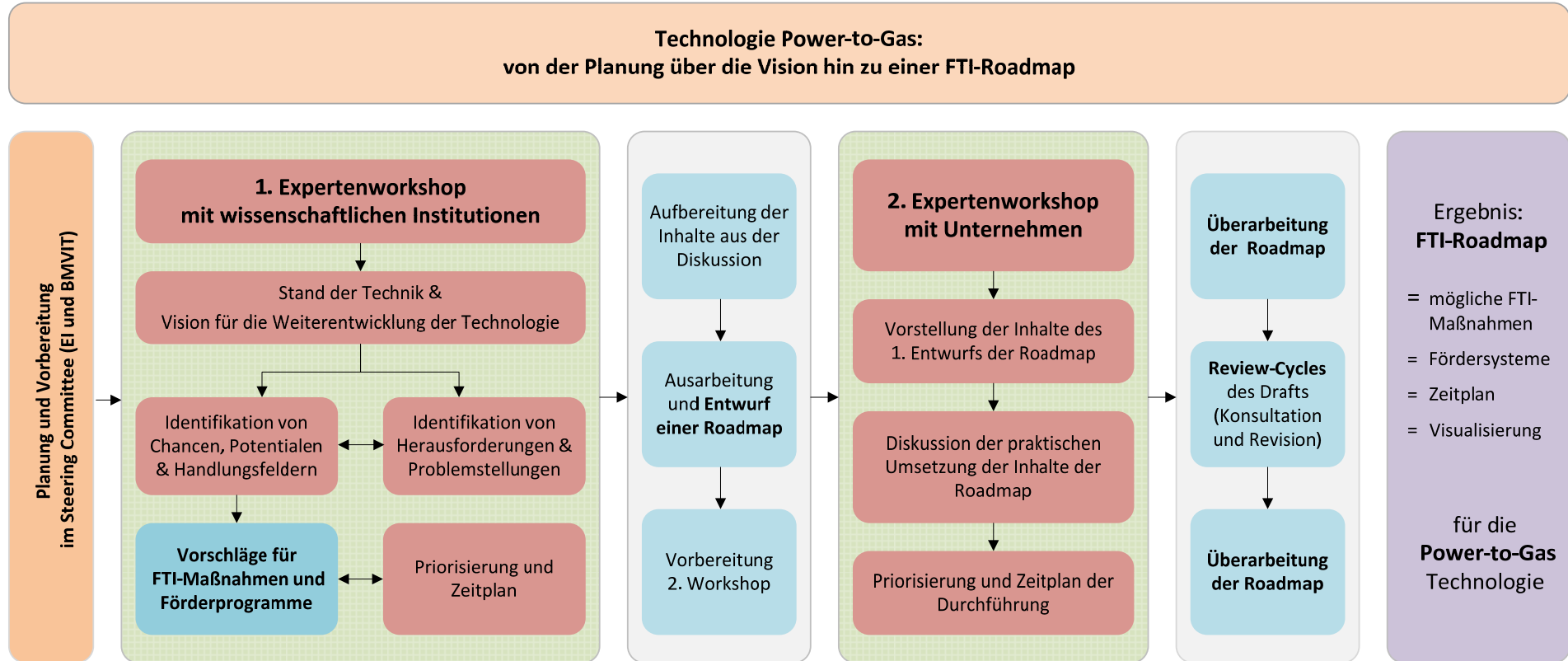
**In der vorliegenden Studie handelt es sich um eine FTI-Roadmap für Power-to-Gas Systeme mit dem Ziel der Forcierung von Forschung, Entwicklung und Technologieinnovation von Power-to-Gas Systemen in Österreich. Diese Form der Roadmap inkludiert auch den spezifischen Handlungsbedarf in den unterschiedlichen Segmenten und resultiert in Vorschlägen für entsprechende Förderprogramme und Maßnahmen.**

Die vorliegende FTI-Roadmap für den Technologiebereich Power-to-Gas, die für mehrere Wirtschaftszweige und Forschungsdisziplinen Wirksamkeit entfalten soll, wurde in einem interaktiven Prozess mit beteiligten AkteurInnen und Stakeholdern in Rahmen von zwei Workshops mit ExpertInnen aus wissenschaftlichen Institutionen und aus Unternehmen erstellt, bei denen insgesamt 31 ExpertInnen teilnahmen.

Im ersten Workshop mit den wissenschaftlichen Institutionen wurde eine konkrete gemeinsame Zielvorstellung – die „Vision“ und der Handlungsbedarf für Power-to-Gas aus technologischer und systemischer (ökonomischer, rechtlicher und systemintegrativer) Sicht erarbeitet. Im Anschluss erfolgte ein strukturierter Diskussionsprozess zur Bestimmung der Schritte zur Erreichung der Ziele und entsprechenden FTI-Maßnahmen. Aus den Ergebnissen des ersten durchgeführten Workshops findet die Erstellung eines Drafts für die FTI-Roadmap Power-to-Gas statt. Die FTI-Roadmap beschreibt dabei den Beitrag von F&E zur Erreichung der in der Vision formulierten Ziele und zeigt den wesentlichen Handlungsbedarf auf. Eine Feedbackschleife und erneute Diskussion wurde im zweiten Workshop mit VertreterInnen von Unternehmen im Frühjahr 2014 durchgeführt. Ziel war es, die aufbereiteten Inhalte des ersten Workshops und damit den Entwurf der Roadmap zu präsentieren, die praktische Umsetzung der Inhalte zu beleuchten und mögliche Ergänzungen zu integrieren. Nach diesem abgeschlossenen Feedbackprozess wurden die erlangten Erkenntnisse diskursiv, kooperativ und kritisch beleuchtet und in die Roadmap eingearbeitet.

Aus den Ergebnissen der Workshops wurde schlussendlich die Roadmap als wesentlicher Output erstellt und entsprechende Empfehlungen für FTI-Maßnahmen für die Technologie Power-to-Gas in Österreich abgeleitet. Die FTI-Roadmap inkludiert die Handlungsfelder und beschreibt den Beitrag von F&E zur Erreichung der in der Vision formulierten Ziele. Gemäß der IEA Roadmap Methodik wird die Roadmap in ihrer Forschungsagenda die kurz-, mittel- und langfristige Aktivitäten umfassen. Dazu gehören die damit verknüpften Forschungs-, Entwicklungs- und Innovationsthemen in Hinblick auf Power-to-Gas und die entsprechenden FTI-Instrumente inklusive Begleitmaßnahmen. Durch eine entsprechende Visualisierung werden die wichtigsten Details der Roadmap hervorgehoben und übersichtlich dargestellt (vgl. Kapitel 8). Die folgende Abbildung zeigt den beschriebenen Entwicklungsprozess von der Planung über die Vision hin zu einer FTI-Roadmap für Power-to-Gas-Technologien in Österreich.

Abbildung 5: Prozess für die Entwicklung einer FTI-Roadmap für Power-to-Gas-Technologien in Österreich



Quelle: Energieinstitut an der JKU Linz

## **5 Eine Vision für die Technologie und das System Power-to-Gas bis zum Jahr 2030**

Die Erstellung einer Vision bildet einen wesentlichen Bestandteil der Roadmap und ist Ausgangspunkt für den weiteren Entwicklungsprozess der FTI-Roadmap Power-to-Gas. Unter einer Vision wird generell ein idealer bzw. wünschenswerter Stand der Technologie und den damit verknüpften Zielen in der Zukunft verstanden, wobei im vorliegenden Kontext langfristig auf das Jahr 2030 fokussiert wird.

Mit der Etablierung der Vision für Power-to-Gas in Österreich inklusive der entsprechenden Zielsetzungen wird die Methodik für die Erstellung von „Energy Technology Roadmaps“ nach der IEA (2011) angewandt. Die IEA (2011) versteht unter der Festlegung einer Vision „*The process of analysing future scenarios and identifying objectives*“. In einem gemeinsamen Prozess im Rahmen des Workshops mit den Expertinnen und Experten aus österreichischen wissenschaftlichen Institutionen sowie im Rahmen des zweiten Workshops mit österreichischen Unternehmen wurden Aspekte einer Vision für die Technologie Power-to-Gas in einem Brainstorming und Diskussionsprozess erarbeitet. Fokus dieses interaktiven Prozesses waren einerseits Überlegungen zum zukünftigen Energiesystem im Kontext Power-to-Gas und andererseits Visionen sowie Ziele hinsichtlich der Technologieentwicklung von Power-to-Gas selbst. Die einzelnen Komponenten der FTI-Roadmap für die Technologie Power-to-Gas werden vor dem Hintergrund dieser konzeptionierten Vision aufgebaut.

Die Aspekte der Vision für die Technologie Power-to-Gas aus dem Diskussionsprozess der ExpertInnenworkshops werden im Folgenden in einzelnen Punkten zusammengefasst und beschrieben.

### **5.1 Vision von Power-to-Gas in Österreich aus der Perspektive des gesamten Energiesystems bis zum Jahr 2030**

Power-to-Gas stellt eine flexible Technologie dar, die für verschiedene spezifische Anwendungen innerhalb des Energiesystems eingesetzt werden kann. Eine FTI-Roadmap für Power-to-Gas für Österreich kann somit nicht unabhängig von der Struktur bzw. der Ausgestaltung des Energiesystems an sich entwickelt werden. Es ist daher unbedingt notwendig, zusätzlich zur Vision für die Technologie an sich auch eine Vision für das zukünftige Energiesystem zu entwerfen. Dadurch ergeben sich wiederum zentrale Rückschlüsse für die Entwicklung der Technologie an sich.

Aus Sicht des ExpertInnenkonsortiums muss die technologische Forschung und Entwicklung bereits zu Beginn mit systemischen<sup>113</sup> Analysen einhergehen, da das System Power-to-Gas einen übergeordneten Nutzen für das gesamte Energiesystem schaffen kann. Vor diesem Hintergrund stellt die Weiterentwicklung und Existenz eines adäquaten und nachhaltigen Energiesystems eine wesentliche Rahmenbedingung dar, die die Etablierung und Weiterentwicklung von Power-to-Gas in einem solchen Umfeld erlaubt.

Auf Basis eines breiten Diskussionsprozesses innerhalb des ExpertInnenkonsortiums können die nachfolgend charakterisierten Vorstellungen hinsichtlich des zukünftigen Energiesystems als Rahmen für die Entwicklung von Power-to-Gas Technologien bis 2030 zusammengefasst werden. Werden zentrale Komponenten der folgenden Parameter nicht weiterverfolgt, so wird die Technologie Power-to-Gas mit erheblichen Problemstellungen konfrontiert sein. Dies ist im weiteren Verlauf der FTI-Roadmap zu berücksichtigen.

### **I. Hoher Anteil (>50 %) erneuerbarer Energie im Energiesystem**

Zukünftig sollte ein möglichst hoher Anteil erneuerbarer Energieträger sowohl in der Strom- und Wärmeerzeugung aber auch im Mobilitätsbereich angestrebt werden. Besonders die verstärkte Nutzung von erneuerbaren Energietechnologien wie Solarenergie oder Windkraft mit stark volatiler Erzeugungsstruktur erfordert dabei neue Speichertechnologien wie etwa Power-to-Gas.

Bis zum Jahr 2030 sollte vor allem in der Stromproduktion der Anteil erneuerbarer Energieträger weiter erhöht werden. Durch den verstärkten Ausbau von Photovoltaik und Windkraft kommt es allerdings zu starken zeitlichen Schwankungen im Stromangebot, die vor allem lokal deutlich über 50% liegen können. Dies bedingt die Entwicklung hybrider und smarter Energienetze mit einer forcierten Einbindung von funktionalen Stromspeichern. Die erneuerbare Stromerzeugung wird mittels der Technologie Power-to-Gas zukünftig aber auch andere Sektoren wie Mobilität und Industrie über die Konvertierung von Strom hin zu gasförmigen Energieträgern sowie flüssigen Treibstoffen (Power-to-Liquids) bedienen.

Ziel ist es, gemäß den ExpertInnenmeinungen, dass ein signifikanter Anteil der erneuerbaren fluktuierenden Stromerzeugung (ca. 10% der Stromerzeugung aus Photovoltaik und Wind) in speicherbare Energieträger übergeführt wird. Zusätzlich kann zukünftig insbesondere im gesamten Mobilitätsbereich der Anteil von Wasserstoff bzw. synthetischem Methan erheblich gesteigert werden.

---

<sup>113</sup> Unter systemischer Analyse werden im Folgenden Untersuchungen, Konzepte, Analysen verstanden, die eine optimale Einbindungen von Technologien in das Energiesystem unter Heranziehung von technoökonomischen, sozioökonomischen, soziotechnischen und rechtlichen Methoden im Fokus haben. Als Konsequenz steht nicht die (Weiter-)Entwicklung der reinen technologischen Komponente im Vordergrund.

### **II. Starke Verschränkung der Energienetze**

In einem für die Technologie Power-to-Gas optimalen Energiesystem existiert - neben dem hohen Anteil an erneuerbaren Energieträgern an der Strom-, Wärme- und Treibstoffherzeugung - eine starke Verschränkung aller Teilbereiche des Energiesystems (insbesondere der leistungsgebundenen Energieträger). Die in den Roadmap-Prozess involvierten ExpertInnen sind der Ansicht, dass Strom- und Gasnetze zukünftig stärker interagieren bzw. zusammenwachsen werden, sodass über die aktuellen Prozesse hinaus eine starke Symbiose zwischen den Übertragungsnetzen entsteht. Dabei sind die Netze der Zukunft im Bereich Strom, Gas und Wärme nicht – wie im gegenwärtigen System – auf maximale Kapazitäten ausgelegt, sondern tendenziell auf eine durchschnittliche Kapazität, wodurch eine bessere Verschränkung von Angebot und Nachfrage ermöglicht wird.

Das hybride Energiesystem der Zukunft aus Strom-, Gas- und Wärmenetzen wird tendenziell auf urbane und suburbane Regionen fokussiert sein, wobei die Schnittstellen von Strom- und Gasnetzen auch in ruralen Gebieten vorhanden sein werden. Aufgrund des steigenden Energiebedarfs im Transportsektor wird es außerdem auch zu einer Verschränkung mit der Infrastruktur im Mobilitätsbereich kommen.

Die Vision eines optimalen Energiesystems beinhaltet hier auch die verstärkte Berücksichtigung der sozialen Komponente, da eine intelligente Gestaltung des Energiesystems keine Einschränkungen für die Mobilität der Menschen, das wirtschaftliche Wachstum und die finanzielle Belastung der privaten Haushalte mit sich bringen soll.

### **III. Dezentrale und zentrale Erzeugung und Speicherung von Energie**

Die Vision eines zukünftigen Energiesystems mit einem hohen Anteil an erneuerbaren Energieträgern und der intelligenten Verschränkung der unterschiedlichen Energienetze weist auch unterschiedliche Anforderungen an die Power-to-Gas Technologien hinsichtlich der räumlichen Komponenten – und somit hinsichtlich der Dimension „Zentralität und Dezentralität“ – auf. Bis zum Jahr 2030 werden weiterhin sowohl zentrale als auch dezentrale Energieversorgungseinheiten von den involvierten ExpertInnen erwartet, und somit auch zentrale und dezentrale Energiespeichereinheiten, wie etwa Power-to-Gas Anlagen, benötigt.

Besonders im Bereich von Inselfösungen wird eine verstärkte Implementierung von dezentralen Einheiten stattfinden. Die Versorgung im Mobilitätsbereich (z.B. mit Wasserstoff) wird primär im urbanen Umfeld mit dichteren Strukturen erfolgen und zur Zunahme von zentralen Power-to-Gas Einheiten im Energiesystem der Zukunft führen. Zudem werden zukünftig besonders im Bereich großer Windkraft- bzw. Photovoltaikanlagen auch Power-to-Gas-Anlagen mit hoher installierter Nennleistung implementiert werden.

### IV. Verwendung der Energieträger für unterschiedliche Anwendung

Der Ausbau erneuerbarer Energien hin zu einem nachhaltigen Energiesystem impliziert auch die Verwendung dieser Energieträger für unterschiedlichste Anwendungen, was sowohl die energetische aber auch stoffliche („nicht-energetische“) Verwendung inkludiert.

In energetischen Anwendungen ist die zentrale Herausforderung, neben der Strom- und Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Primärenergieträgern auch einen signifikant höheren Anteil an erneuerbaren Treibstoffen in der Mobilität anzustreben. Besonders im Mobilitätsbereich sind neben den gasförmigen Energieträgern Wasserstoff und Methan auch flüssige Kohlenwasserstoffe (Power-to-Liquids) interessant. Nach Meinung der ExpertInnen soll das Energiesystem dabei u.a. darauf ausgerichtet sein, dass die Herstellung von Treibstoff auch aus Strom erfolgt. Diese Änderungen im Energiesystem vollziehen sich unter der Annahme von wesentlich höheren Energiepreisen als dies heute der Fall ist, was sich auch in einer entsprechenden Bewusstseinsänderung und Veränderung im Nutzerverhalten in der Bevölkerung (z.B. in einer Reduktion des Individualverkehrs) bemerkbar machen wird.

Darüber hinaus besteht auch die Möglichkeit einer stofflichen Verwendung von Wasserstoff ( $H_2$ ), Methan ( $CH_4$ ) und flüssigen Kohlenwasserstoffen (Power-to-Liquids) jenseits des Energiemarktes als Grundstoffe der chemischen Industrie. Die stoffliche Verwertung bietet ein enormes Potential, da für die Herstellung aktuell fast ausschließlich fossile Rohstoffe herangezogen werden. Das bereits namentlich patentierte Konzept von „Power-to-Chemistry“ stellt in diesem Zusammenhang auch eine Alternative der chemischen Energiespeicherung dar und bietet über die Synthesegaserzeugung aus fluktuierendem Überschussstrom eine breit einsetzbare Rohstoffbasis.

### V. Hocheffizientes Gesamtsystem

Zentrale Zielvorstellung in der vorliegenden Vision zur Weiterentwicklung der Technologie Power-to-Gas ist die Etablierung eines hocheffizienten Gesamtsystems mit einem verstärkten Fokus auf die Primärenergieeffizienz. Energiespeichertechnologien wie Power-to-Gas werden deshalb verstärkt benötigt, da bereits in der ersten kaskadischen Nutzungsstufe – in der Erzeugung der Primärenergie durch Windkraft oder Photovoltaik – zusätzlich Energie gespeichert und dem Energiesystem additiv zugeführt werden kann. Die Primärenergie wird dabei entweder direkt gespeichert und dann rückverstromt (z.B. durch den Einsatz von Brennstoffzellen) oder in das Erdgasnetz eingespeist. Ein hocheffizientes Gesamtsystem beinhaltet aber auch die Erschließung von Energieeffizienzpotentialen im Power-to-Gas System bis hin zur Entwicklung einer sogenannten „Wasserstoffwirtschaft“.

Einen weiteren Aspekt hinsichtlich eines hocheffizienten Gesamtsystems stellt auch die Vernetzung unterschiedlicher Technologien im Sinne einer breiten Technologiestreuung dar. So wird keine ausschließliche Verwendung einer einzigen technologischen Lösung in der Zukunft erwartet, sondern eine Kombination einzelner Technologien, die in einem gesamten System effizient zusammenwirken. Eine wesentliche Rolle spielen dabei auch ökonomische und ökologische Aspekte.

## 5.2 Vision von Power-to-Gas aus der technologischen Perspektive bis zum Jahr 2030

Aufgrund der großen Bandbreite an Nutzungsmöglichkeiten von Power-to-Gas für verschiedene Anwendungen innerhalb des Energiesystems kann das System Power-to-Gas als sehr flexibles technologisches Instrument bezeichnet werden. Die eigentliche Intention der Weiterentwicklung des Systems Power-to-Gas entspringt der Herausforderung einer steigenden Stromerzeugung aus volatilen Erzeugungsquellen. Aufgrund der unterschiedlichen spezifischen Einsatzmöglichkeiten im zukünftigen Energiesystem werden sich aber auch divergente Anwendungsfelder für verschiedene Marktakteure entwickeln. Das ExpertInnenkonsortium der wissenschaftlichen Institutionen und österreichischen Unternehmen sieht folgende Aspekte als zentral für die Vision für Power-to-Gas aus technologischer Sicht bis 2030.

### I. Effiziente und flexibel fahrbare Elektrolysesysteme

Generell beinhaltet die Vision für die Technologie Power-to-Gas in Österreich für 2030 zum einen die großtechnische Verwendung elektrischer Energie aus Windkraftanlagen und zum anderen die dezentrale Verwendung elektrischer Energie aus Photovoltaik zur Erzeugung von Wasserstoff. Das Verfahren der Elektrolyse stellt dabei die zentrale Komponente im Power-to-Gas System dar. Aufgrund der primären Intention der Speicherung elektrischer Energie aus volatiler Produktion sind im Kontext Power-to-Gas vor allem Elektrolyseure mit dynamischer Betriebsweise bedeutend. Konventionelle Elektrolyseure mit konstanter Fahrweise und hoher Auslastung (v.a. alkalische Elektrolyseure) werden in der chemischen Industrie bereits seit Jahrzehnten erfolgreich betrieben. Die Weiterentwicklung von dynamischen Elektrolysesystemen (PEM-Elektrolyse, alkalische Druckelektrolyse, Hochtemperaturelektrolyse) ist ein zentraler technologischer Schritt, damit das ganze System Power-to-Gas in seiner Technologiebreite etabliert werden kann. Neben der Umstellung auf Druckelektrolyse wird die Serienfertigung, stärkere Automatisierung und kompaktere Bauweisen (z.B. 1 MWel-Anlage in containerbauweise inklusive Steuerungselektronik, Wasseraufbereitung, Gasreinigung) als Technologiesprung erwartet.

Ein wesentlicher Bestandteil der Vision für die zukünftige Entwicklung von Power-to-Gas stellt somit die Optimierung dynamischer Elektrolyseverfahren dar. Dabei sind vor allem die Kostenreduktion und die Effizienzsteigerung im Teillastbetrieb bedeutend. Sowohl die Niedertemperatur- als auch die Hochtemperaturelektrolyse wird zukünftig bei der Gewinnung von H<sub>2</sub> eine bedeutende Rolle spielen. Technologisch werden Elektrolysesysteme sowohl im dezentralen als auch im zentralen Kontext unter hoher Ausschöpfung der Kosten und Lebenszeitpotentiale sowie der Kapazitätspotentiale als bedeutsam angesehen.

Eine Methanisierung des Wasserstoffs mit Kohlendioxid sollte aus Sicht der ExpertInnen vor allem dann erfolgen, wenn wirklich prioritär CH<sub>4</sub> benötigt wird – zum einen aufgrund direkter

Nachfrage in verschiedenen Segmenten und zum anderen auch dort, wo die Einspeisung von Wasserstoff in das Erdgasnetz sowie in Erdgasspeicher Probleme hervorruft.

Zusätzlich zur Produktion von Wasserstoff sind auch elektrolytische Verfahren von Interesse, in denen Kohlenwasserstoffe unterschiedlichster Art direkt elektrochemisch (ohne Umweg über Wasserstoff) hergestellt werden. Die verschiedenen – meist flüssigen - Kohlenwasserstoffe können als Treibstoffe oder Chemikalien in der Industrie eingesetzt werden.

## II. Signifikante Kostendegression über die gesamte Prozesskette

Als zukünftige Herausforderung im Kontext von neuen Technologien und somit auch von Power-to-Gas kann die Reduktion der betriebswirtschaftlichen Kosten der Wasserstoff- und Methanherzeugung genannt werden. Neben der Kostenreduktion von Elektrolyseursystemen ist hierbei auch die notwendige signifikante Kostenreduktion der Methanisierungsanlagen zu nennen, die derzeit noch nicht preislich konkurrenzfähig sind.<sup>114</sup>

Vor dem Hintergrund des derzeitigen Entwicklungsstandes der Technologien und Anlagen im Bereich Power-to-Gas wird ein Potential bei der Kostendegression in der Gesamtkette aber auch in den spezifischen Bereichen CO<sub>2</sub>-Abtrennung, Elektrolyse und Methanisierung gesehen. Neben der Erhöhung der Wirkungsgrade der Einzelkomponenten bzw. des Gesamtsystems sind vor allem auch direkte Kostensenkungen über Lernkurven und Skaleneffekte anzustreben. Es ist davon auszugehen, dass in den Verfahren und Anwendungen noch erhebliche Fortschritte im Sinne einer Kostendegression (z.B. Materialinnovation) realisiert werden.

Neben einer erforderlichen Kostendegression bei den Power-to-Gas-Anlagen ist allerdings auch eine Kostendegression in den verschiedenen Anwendungen, wie beispielsweise bei Wasserstofffahrzeugen, Brennstoffzellen oder Speichersystemen im Mobilitätsbereich erforderlich.

## III. (Weiter-)entwickelte Wasserstoff- und Methan-Infrastruktur

Bei einem zukünftig verstärkten Einsatz von Power-to-Gas Anwendungen und einem entsprechenden Output an Wasserstoff als Endprodukt ist auch die Entwicklung einer geeigneten Transport- und Speicherinfrastruktur erforderlich.

Zum einen besteht die Möglichkeit einer Einspeisung des Wasserstoffs in die bestehende Erdgasinfrastruktur. Da einige Komponenten im Erdgasnetz aber nur einen bestimmten Volumenanteil Wasserstoff zulassen, sollte in Zukunft beim Bau neuer Anlagen und

---

<sup>114</sup> Vgl. Tichler (2013a) „Volkswirtschaftliche Relevanz von Power-to-Gas für das zukünftige Energiesystem“. In: IEWT 2013, „Erneuerbare Energien: überforderte Energiemärkte?“



Abschnitte auf eine höhere Verträglichkeit von Wasserstoff geachtet werden. Ein generell höherer erlaubter Volumenanteil Wasserstoff im Erdgas ist anzustreben.

Zum anderen kann auch eine eigene Wasserstoffinfrastruktur parallel zum Erdgasnetz aufgebaut werden. Hier besteht im Vorfeld allerdings die Notwendigkeit, die Ausgestaltung sowie Kosten und Nutzen eines solchen Vorhabens abzuklären. Es ist zudem zu differenzieren, welche Technologien und Endanwendungen eine zusätzliche Wasserstoffinfrastruktur bedient (meist Hochdruckanwendungen wie z.B. in der Mobilität). Zudem sind (flächendeckende) Infrastrukturen zur Bereitstellung von Wasserstoff für dessen Endnutzung in der Mobilität wie z.B. Wasserstofftankstellen notwendig.

#### **IV. Chemische Speicherung elektrischer Energie als zentrale Anwendung**

Im Mittelpunkt der Vision bis zum Jahr 2030 steht bei der Anwendung von Power-to-Gas die chemische Speicherung von elektrischer Energie - dies stellt auch die ursprüngliche Intention bzw. Idee des Systems Power-to-Gas dar. Im aktuellen Stromsystem existiert derzeit kein Langzeitspeicher für elektrische Energie, der neben Minuten-, Stunden- und Tagesspeicherung auch saisonale Speicherung ermöglicht. Das System Power-to-Gas bietet eine Möglichkeit der Langzeitspeicherung von elektrischer Energie in Form von Wasserstoff, Methan, oder flüssigen Kohlenwasserstoffen (Power-to-Liquids) und kann so zur Entlastung der Stromnetze beitragen.<sup>115</sup> Das flexible System Power-to-Gas, das etwa auch die Produktion eines neuen erneuerbaren Produktes im Fokus haben kann, sollte somit immer auch die eigentliche Intention der Technologie integrieren: die Speicherung von elektrischer Energie, insbesondere aus volatilen Erzeugungsquellen.

#### **V. Entwicklung von Informations- und Kommunikationssystemen (IKT) für vernetzte Systeme**

Da Power-to-Gas einen prioritären Nutzen für das übergeordnete Energiesystem stiftet, ist für die Weiterentwicklung auch eine optimale Einbettung der Technologien in das Gesamtsystem bedeutend. Die positive Wirkung von Power-to-Gas als flexibles Speicher-, Transport- und Produktionselement im Energiesystem kann durch die Einbindung intelligenter Informations- und Kommunikationssysteme (IKT-Systeme) erhöht werden.

Dadurch wird in Zukunft die Energieraumplanung durch Power-to-Gas-Systeme zusätzlich verbessert, in dem exemplarisch Programme zur Verknüpfung singulärer Leitungsnetze - durch Kopplungsprodukte wie Power-to-Gas – im Sinne einer forcierten Integration in Form von Hybridnetzen beitragen, wodurch das Energiesystem prioritär auch im regionalen

---

<sup>115</sup> Tichler (2013b) Spezifische chemische Energiespeicher als volkswirtschaftlich relevanter Beitrag zur Energiewende.

Kontext weiterentwickelt wird und somit auch im überregionalen Kontext entscheidende positive Beiträge liefert.

### **VI. Weiterentwickelte Materialien**

Der Einsatz von neuen Werkstoffen in der gesamten Prozesskette Power-to-Gas verbessert in der Vision die Effizienz signifikant. Ein zentrales Element ist hier die Materialforschung, da mit derzeitigen Materialien zwar eine hohe Effizienz der Umsetzung möglich ist, aber weder das Kostenziel noch die Kapazität für eine breite Marktdurchdringung erreicht werden kann. Die Vision der zukünftigen Werkstoffe für den Elektrolysebereich liegt bei hohen erreichbaren Betriebstemperaturen bei gleichzeitig geringfügiger Degradation der möglichst kostengünstigen Materialien. Die Elektrolysestack-Materialien verfügen nach Weiterentwicklung über eine verbesserte Korrosionsbeständigkeit bei höheren Temperaturen, Drücken und chemischer Beanspruchung. Edelmetallfreie Katalysatoren und verbesserte Membranen halten der gegebenen Materialbeanspruchung durch häufige An- und Abfahrzyklen stand. Für den Bereich der Produkthanwendung gibt es vor allem zur Wasserstoffsicherheit Fragen und Lücken in der Wissensbasis welche in der Vision geschlossen werden. Die Materialforschung wird damit als Schlüsseldisziplin zur Optimierung von Prozessen und Verfahren hinsichtlich Effizienz, Temperatur, Laufzeiten etc. eingeschätzt. Betreffend der zeitlichen Perspektive sind die Anstrengungen in der Materialforschung langfristig und konsequent zu verfolgen um ihr gesamtes Potential auszuschöpfen.

## 6 Zentrale Herausforderungen in der Weiterentwicklung von Power-to-Gas in Österreich

Auf Basis des aktuellen Forschungs- und Entwicklungsstandes bzw. des Status Quo von Power-to-Gas sowie der definierten zukünftigen Vision für die Technologie Power-to-Gas (als auch deren notwendigen Rahmenbedingungen im Sinne der Vision für das gesamte Energiesystem) lassen sich zentrale Herausforderungen für die Weiterentwicklung des Systems Power-to-Gas und Power-to-Liquids ableiten.

Die zentralen Herausforderungen und Probleme im Kontext Power-to-Gas in Österreich wurden auch in den abgehaltenen Workshops mit den Expertinnen und Experten der wissenschaftlichen Institutionen und der österreichischen Unternehmen ausführlich diskutiert. Die (zukünftigen) Herausforderungen und Probleme im Kontext der Entwicklung und Erforschung der Technologie Power-to-Gas entlang der gesamten Chain-of-Innovation (Entwicklung, Anwendung, Materialforschung) in Österreich werden in diesem Kapitel zusammengefasst dargestellt. Dabei erfolgt wiederum eine Unterteilung in Herausforderungen aus systemischer und technologischer Sicht.

Es ist zudem in diesem Kontext auch darauf hinzuweisen, dass es für die Entwicklung einer Technologie sowie eines Systems viele Herausforderungen mit unterschiedlicher Intensität und Priorität gibt. Die vorliegende Roadmap beinhaltet auch für die Analyse der Herausforderungen eine Priorisierung der Parameter; nur dadurch kann auch in den abzuleitenden Handlungsfeldern eine Schwerpunktsetzung erfolgen. Für eine detaillierte Analyse der technologischen, systemischen und ökonomischen Herausforderungen sei an dieser Stelle auf Steinmüller, Tichler, Reiter et al. (2014) verwiesen.

### 6.1 Herausforderungen und Problemstellung aus systemischer Sicht <sup>116</sup>

Wie bereits erläutert, werden nachstehend die zentralen Herausforderungen und Probleme im Kontext der Entwicklung und Erforschung der Technologie Power-to-Gas entlang der gesamten Chain-of-Innovation (Entwicklung, Anwendung, Materialforschung) in Österreich zusammengefasst dargestellt. Dabei erfolgt eine Unterteilung in Herausforderungen aus systemischer und technologischer Sicht.

Die Unterteilung in systemisch und technologisch ermöglicht die verständlichere Darstellung von Herausforderungen auch aus der nicht ausschließlich technologischen Perspektive. Systemische Herausforderungen sind somit nicht prioritär von der (Weiter-)Entwicklung technischer Komponenten abhängig, sondern mit ökonomischen und strukturellen

---

<sup>116</sup> Definition von „systemisch“ im vorliegenden Kontext: Untersuchungen, Konzepte, Analysen, die eine optimale Einbindungen von Technologien in das Energiesystem unter Heranziehung von technoökonomischen, sozioökonomischen, soziotechnischen und rechtlichen Methoden im Fokus haben. Als Konsequenz steht nicht die (Weiter-)Entwicklung der reinen technologischen Komponente im Vordergrund.

Gegebenheiten konfrontiert.

Basierend auf den im Rahmen des Entwicklungsprozesses der FTI-Roadmap Power-to-Gas abgehaltenen ExpertInnenworkshops konnten aus systemischer Sicht folgende zentrale Herausforderungen identifiziert werden:

### **A) Steigerung der Kostendegression und der Wirtschaftlichkeit**

Die Kostendegression von Power-to-Gas Systemen und eine damit einhergehende Erhöhung der Wirtschaftlichkeit stellt eine zentrale Herausforderung in der zukünftigen Entwicklung von Power-to-Gas dar. Diese Herausforderung ist von der technologischen Entwicklung aber auch zu einem bedeutenden Teil von den übergeordneten ökonomischen Strukturen und Förderbedingungen, von den Betriebsweisen und der spezifischen ökonomischen Auslegung und Dimensionierung sowie von den Technologiekosten abhängig.

Die Umsetzung und Realisierung von Power-to-Gas Anlagen in Österreich wird aktuell nicht primär durch technische Probleme, sondern aufgrund der Wirtschaftlichkeit verhindert. Die Wirtschaftlichkeit des Systems hängt selbstverständlich auch von den Herstellungskosten der Technologiekomponenten, insbesondere der Elektrolysestacks sowie der Methanisierungsmodule, ab. In diesem Bereich ist eine Abhängigkeit auch vom globalen Markt gegeben. Ein österreichischer Eingriff hierbei ist im Moment ausschließlich durch Grundlagenforschung (siehe hierzu v.a. Materialforschung) gegeben und somit nur langfristig vorstellbar.

Eine aus Österreich auch beeinflussbare und sehr signifikante Kostendegression kann durch die Optimierung der Betriebsweisen sowie durch die Optimierung der Standort-spezifischen Auslegungen der Anlagen erreicht werden. Die Verringerung der Kosten je erzeugter kWh in diesem Zusammenhang kann somit vor allem durch geringere Betriebskosten (z.B. Nutzung von Überschussstrom aus Windparks), durch intelligente Anwendungsstrategien etwa durch eine höhere Anzahl an Volllaststunden erreicht werden. Es bestehen demnach in Österreich vor allem – im kurz- und mittelfristigen Kontext – aus systemischer Sicht lösbare Herausforderungen hinsichtlich Kostendegressionen.

Um eine Wirtschaftlichkeit der Power-to-Gas Technologie zu erreichen, sollten hierbei prioritär Anwendungsstrategien bzw. Einsatzkonzepte für unterschiedliche Betriebsweisen und Marktteilnehmer – sowohl mit einer allgemeinen als auch mit einer Standort-spezifischen Priorisierung – entwickelt werden. Zudem kann die Technologie Power-to-Gas auch durch geeignete regulatorische Maßnahmen forciert werden.

Österreich wird – um es nochmals zu betonen – in diesem Zusammenhang nach Meinung der ExpertInnen mittelfristig nicht als zentraler Player bei einer signifikanten Kostendegression hinsichtlich der Technologiekomponenten (z.B. Elektrolysestack) gesehen.

### **B) Schaffung neuer Finanzierungsmöglichkeiten & Fördersysteme**

Gemäß aktueller Analysen (siehe Steinmüller, Tichler, Reiter et al. (2014)) sowie der Meinung der involvierten ExpertInnen stellen die finanziellen Aspekte eine größere Herausforderung dar, als die Lösung technologischer und technischer Herausforderungen.

Das Entwicklungsstadium der einzelnen Technologiekomponenten – hier sind vor allem die dynamische Elektrolyse und die Elektrolyseperipherie sowie die Methanisierung zu nennen – lässt aufgrund des Standes der Lernkurven sowie der Skaleneffekte per se noch keine betriebswirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit des Gesamtsystems Power-to-Gas zu.

Wie bereits in einer Vielzahl an Studien gezeigt werden konnte (vgl. hierzu exemplarisch etwa Steinmüller, Tichler, Reiter et al. (2014)), beinhaltet Power-to-Gas einen essentiellen Nutzen für das gesamte Energiesystem und für die Volkswirtschaft. In aller Kürze sei an dieser Stelle vor allem auf die Integration der volatilen Stromproduktion durch die Speicherfunktion und die Unterstützung des Lastmanagements, die Option auf einen alternativen Energietransport mittels vorhandener Leitungsinfrastruktur sowie die Erhöhung der Primärenergieeffizienz u.a. auch durch Nutzung von Kohlendioxid genannt. Die Technologie Power-to-Gas kann aufgrund der übergeordneten Nutzenfunktion gemäß ökonomischer Theorie aber auch auf Basis von realer Wirtschafts- und Energiepolitik durch Unterstützung der öffentlichen Hand hin zu einer auch betriebswirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit geführt werden. Die Herausforderung ergibt sich somit in diesem Kontext auch durch die Definition und die Implementierung einer öffentlichen Unterstützung.

Im Hinblick auf die Umsetzung und Errichtung von Power-to-Gas Anlagen wird von den ExpertInnen die Notwendigkeit einer Investitionsförderung in Österreich betont (siehe hierzu C)).

Generell muss beim Einsatz finanzieller Mittel nach einer zeitlichen Dimension entlang der Implementierungskette von Power-to-Gas differenziert werden. Kurz- und mittelfristig sind vor allem systemische Analysen gemäß A) von Bedeutung, indem v.a. auch intelligente Anwendungsstrategien bzw. Einsatzkonzepte implementiert werden, die u.a. auch Kombinationen von Nutzenfunktionen integriert haben. Es gilt somit auch zentral, nach neuen Finanzierungsformen zu suchen, um eine ökonomische Weiterentwicklung umzusetzen.

### **C) Umsetzung von Demoprojekten in Österreich**

Um in bestimmten Segmenten entscheidende Weiterentwicklungen des Systems Power-to-Gas zu realisieren und um Top-Innovationen (wie z.B. im Bereich der Hochdruckelektrolyse) von einzelnen Komponenten oder auch von Systemen zu entwickeln, bedarf es der Errichtung von Power-to-Gas Anlagen in Österreich. Zwar bestehen vor allem auch in Deutschland bereits einige Pilotanlagen und Demonstrationsprojekte, jedoch ist – insbesondere mit Bezug auf A) – die weitere Entwicklung des Systems und der Technologien auch stark standortabhängig sowie stark abhängig von den spezifischen Betriebsweisen und Anwendungsstrategien bzw. Einsatzkonzepten, sodass entscheidende Entwicklungen nur mit

eigenen Anlagen in Form von Demonstrationsprojekten oder in Form von Pilotanlagen realisiert werden können.

Eine der Herausforderungen bei der Errichtung von Power-to-Gas Pilot- bzw. Demonstrationsanlagen besteht in der Einbindung internationaler Partner im Bereich der Produktion des Anlagenkomponente des Elektrolysestacks, welche für die Realisierung von Anlagen in einer überwiegenden Anzahl der Fälle in Österreich benötigt werden. Durch eine Förderung von Demonstrationsprojekten in Österreich könnten internationale Partner nach Österreich geholt werden. Einen großen Vorteil sehen die ExpertInnen dabei einerseits in dem eingebrachten Know-how der internationalen Partner im Bereich des Elektrolysestacks, aber auch im Aufbau von Know-how vor Ort. Der Schwerpunkt der Pilotprojekte sollte dabei in Österreich auf systemischen Fragestellungen liegen – dies beinhaltet neben Anlagenauslegung und -Steuerung, Betriebsweisen und Anwendungsstrategien bzw. Einsatzkonzepten auch das optimale Zusammenspiel von Technologiekomponenten.

Für die konkrete Umsetzung von Demonstrations- und Pilotprojekten im Themenbereich Power-to-Gas sind einerseits ein gemeinsamer Standort für F&E im Sinne eines Power-to-Gas-Zentrums (wie dies etwa Güssing für Biomasse darstellt), aber auch verschiedene Standorte für unterschiedliche Fragestellungen denkbar. Vorteile eines gemeinsamen Standorts wären die erhöhte Aufmerksamkeit und die hohe Flexibilität, durch die verschiedene Unternehmen und wissenschaftliche Institutionen ihre Fragestellungen an einem Standort bearbeiten könnten. Nachteile sind allerdings, dass für spezifische Forschungsfragen eine örtliche Gebundenheit vorliegt (wie z.B. bei Untertagespeicherung von H<sub>2</sub> in Porenspeichern) und dass besonders Unternehmen die praktischen Erfahrungen mit einer Power-to-Gas-Anlage für sich selbst sammeln wollen. Als Alternativen wäre eine verstärkte Plattform denkbar, bei der mehrere Standorte unter einem gemeinsamen Namen zusammenarbeiten. Aktuell existiert in Österreich die informelle Plattform Power-to-Gas, die vom Energieinstitut an der JKU Linz koordiniert wird oder im möglichen Anwendungsfeld Mobilität die Österreichische Plattform zur Förderung von alternativen Antriebssystemen (A3PS).

### **D) Identifikation von relevanten Playern/Akteuren**

Die Identifikation und Verortung relevanter Player im Zusammenhang mit Angebot und Nutzung der Power-to-Gas Technologie wird als Herausforderung angesehen, wobei eine Vielzahl an Akteuren erforderlich sein wird. Dazu sollte eine Analyse der relevanten Player / Stakeholder / Akteure entlang der gesamten Technologiekette Power-to-Gas erfolgen (z.B. Windkraftanlagen-, Gasnetz- und Stromnetzbetreiber) und Kooperationen sowie Austausch von Know-how entlang der Technologiekette forciert werden. Eine erste umfassende Analyse für Österreich wurde bereits in Steinmüller, Tichler, Reiter et. al (2014) realisiert. Es gilt jedoch, insbesondere auch für spezifische Themenbereiche diese Analysen permanent zu aktualisieren, um auch die nationalen Stärken bündeln zu können. Dadurch gelingt es, die Technologie auch für die lokalen, regionalen und nationalen Systeminteressen zu forcieren.

Obwohl Österreich – mit Ausnahme etwa von SOEC sowie der Weiterentwicklung der Elektrolyseperipherie und der Anlagenkonzepte – vorwiegend Zulieferindustrie im Bereich der Power-to-Gas-Technologiekomponenten besitzt, können österreichische Unternehmen nicht nur Nutzer sondern auch Anbieter von Power-to-Gas-Anlagen sein. Dazu bedarf es allerdings einer Kooperation mit Forschungs- sowie Produktionsunternehmen. Potentielle Kooperationen können dabei vor allem mit deutschen Partnern eingegangen werden, da dort bereits viele Akteure vorhanden sind.

Eine Definition der Rollen bzw. Akteure ist auch in Hinblick auf die Integration von Power-to-Gas in das Energiesystem erforderlich. Die Technologie Power-to-Gas ermöglicht die Koppelung von Energienetzen zu sogenannten Hybridnetzen, was wiederum viele offene Fragen bezüglich der Rollenverteilung im nationalen zukünftigen Energiesystem aufwirft. Es ist als zentrale Herausforderung zu betrachten, dass entlang der gesamten Wertschöpfungskette, somit vom Produzenten der elektrischen Energie bis zum Endverbraucher der Energie die zentralen österreichischen Player verstärkt in die Forschung und Entwicklung eingebunden werden.

### **E) Forcierung von Human Resources und Bewusstseinsbildung**

Zentralen Einfluss auf die Möglichkeit der zukünftigen Entwicklung und Erforschung der Technologie Power-to-Gas in Österreich hat vor allem die Verfügbarkeit von Human Resources im Themenbereich Power-to-Gas. Ausbildungsmaßnahmen für die Entwicklung der Technologien sowie für den Umgang mit dem System Power-to-Gas sind daher notwendig. Zudem sollte die Vernetzung unterschiedlicher Disziplinen im Rahmen von Ausbildungen gefördert werden. Bewusstsein, Ausbildung und entsprechende Human Resources werden als Kompetenzfeld in Österreich für die Weiterentwicklung von Power-to-Gas gesehen.

Hier existiert vor allem die Herausforderung, neben Workshops für wissenschaftliche Institutionen und für Unternehmen, die bereits auch außerhalb der internen Projektlandschaft realisiert werden, Ausbildungsangebote zu institutionalisieren. Dies ist insbesondere als Modul in bestehenden Programmen denkbar.

### **F) Schärfung der strategischen Ausrichtung (von Forschungsförderungsprogrammen) zur Weiterentwicklung der Technologie**

Aus Sicht der ExpertInnen ist in Österreich im Kontext Power-to-Gas vor allem ein Bedarf an Systemforschung in den Bereichen Technologie, Recht und Ökonomie gegeben. Für eine längerfristige Weiterentwicklung und Umsetzung der Technologie Power-to-Gas bedarf es demnach einer kontinuierlichen Entwicklung sowie stabiler Perspektiven und Finanzierungen.

Forschungsförderung zur Erreichung von Kostendegression (Reduzierung der Stückkosten) ist auch Österreich verstärkt zu forcieren und in den Energieforschungsprogrammen

verstärkt zu implementieren – dies wäre eine entscheidende Komponente für die Weiterentwicklung von Power-to-Gas in Österreich.

Unter Berücksichtigung der jeweiligen Rahmenbedingungen an verschiedenen Standorten (bzw. Ländern) für Power-to-Gas Anlagen können sich auch bei ähnlicher technologischer Ausprägung ganz unterschiedliche Fragestellungen ergeben. Dies sollte in der Förderung von Pilot- und Demonstrationsanlagen in Österreich berücksichtigt werden.

### **G) Adäquate Infrastruktur für Transport und Speicherung der Energieträger**

Bei einem zukünftig verstärkten Einsatz von Power-to-Gas im Energiesystem bedarf es auch der Anpassung bzw. Weiterentwicklung der Transport- und Speicherinfrastruktur für die erzeugten Energieträger Wasserstoff und Methan, sowie zum Teil auch von Power-to-Liquids.

Bei der Einspeisung von Wasserstoff in das Erdgasnetz bestehen vor allem hinsichtlich der Wasserstofftoleranz verschiedene Fragestellungen, welche zu einem großen Teil bereits in Deutschland behandelt wurden. Eine noch fehlende Komponente des Know-hows zur Wasserstofftoleranz von Infrastruktur und Technologien wird aktuell in Österreich in Form der Analyse der Wasserstofftoleranz von Porenspeichern untersucht. Zudem besteht im Rahmen der Beimischung von Wasserstoff zum Erdgas auch noch Forschungsbedarf hinsichtlich Mischertechnologien und Gasmessgeräten sowie im Umgang mit verschiedenen Brennwerten von Gasgemischen im Erdgasnetz.

Zu den Herausforderungen gehört auch die Entwicklung einer eigenen Wasserstoffinfrastruktur, die speziell für Hochdruckanwendungen, wie z.B. in der Mobilität, benötigt werden kann.

## **6.2 Herausforderungen und Problemstellung aus technologischer Sicht**

Nachfolgend werden die zentralen technologischen Herausforderungen im Kontext der Entwicklung und Erforschung der Technologie Power-to-Gas entlang der gesamten Chain-of-Innovation (Entwicklung, Anwendung, Materialforschung) in Österreich zusammengefasst dargestellt. Basierend auf den, im Rahmen des Entwicklungsprozesses der FTI-Roadmap Power-to-Gas abgehaltenen ExpertInnenworkshops konnten aus systemischer Sicht folgende zentrale Herausforderungen identifiziert werden:

### **H) Forcierung der Materialforschung**

Eine der zentralen Herausforderungen in der Materialforschung ist die Entwicklung von Materialien mit hoher Langzeitstabilität und Zuverlässigkeit vor allem bei den Hochtemperaturanwendungen in SOEC. Mit bestehenden Materialien können die erforderlichen Elektrolysekapazitäten nicht in großem Maßstab angeboten werden, die



Herausforderung in diesem Bereich liegt in der Erhöhung der Betriebstemperatur bei gleichzeitiger Verringerung der Degradation von möglichst kostengünstigen Materialien. Um beispielsweise die Überspannungsverluste auf der Wasserstoff- sowie der Sauerstoffseite weiter zu verringern sind Entwicklungen bei Elektroden (Vergrößerung aktiver Oberfläche, Verbesserung katalytischer Eigenschaften,...) gefordert. Bei der Entwicklung neuer edelmetallfreier Katalysatoren oder verbesserter Membranen sind geringere Dicken gleichzusetzen mit geringerem elektrischen Widerstand und damit geringeren Verlusten. Die Stack-Materialien bedürfen einer verbesserten Korrosionsbeständigkeit bei höheren Temperaturen, Drücken und chemischer Beanspruchung. Begleitend ist dazu eine Untersuchung und Interpretation der Materialbeanspruchung durch häufige An- und Abfahrzyklen gefordert. Für den Bereich der Produktanwendung gibt es vor allem zur Wasserstoffsicherheit Fragen und Lücken in der Wissensbasis (z.B. Versagensmechanismus von Verbundmaterialtanks und anwendbare Sicherheitsfaktoren, Spannungsrisskorrosion, Materialverträglichkeiten, Messsysteme) die eine Herausforderung für die Materialforschung darstellen. Die Materialforschung wird damit als Schlüsseldisziplin zur Optimierung von Prozessen und Verfahren hinsichtlich Effizienz, Temperatur, Laufzeiten etc. eingeschätzt. Betreffend die zeitliche Perspektive sind die Anstrengungen in der Materialforschung langfristig und konsequent zu verfolgen um ihr gesamtes Potential auszuschöpfen.

### **I) Forcierung der Elektrolyseforschung**

Eine zentrale Herausforderung im Zusammenhang mit der Elektrolyse stellt die komplexe dynamische Form des Strombezugs und somit auch die Betriebsweise dar. Wird der Elektrolyseur nur mit (überschüssigem) Strom aus erneuerbaren Technologien mit volatiler Erzeugungsstruktur betrieben, so können nur geringe Volllaststunden erreicht werden - die Anforderungen hinsichtlich dynamischer Betriebsweise sind hoch. Wird hingegen Grundlast für den Betrieb des Elektrolyseurs verwendet, so führt dies zu geringeren spezifischen Energieträgerkosten, bringt aber keine systemische Entlastung für das Stromnetz. Gerade die Weiterentwicklung der Robustheit der Elektrolysestacks für die dynamische Fahrweise ist als besondere technologische Herausforderung zu betrachten. Herausforderungen bei der Entwicklung der Elektrolysetechnologie stellen zudem auch die Erhöhung der Effizienz der elektrochemischen Reaktion und die Kostendegression dar.

Da allerdings in Österreich kurz- bis mittelfristig keine Hersteller der Elektrolysestacks zu erwarten sind, wird die Technologieentwicklung an sich von den ExpertInnen auch weiterhin nicht in Österreich gesehen. Die Herausforderung ist somit die Sicherstellung des Know-how-Transfers nach Österreich sowie die Verfolgung der internationalen Entwicklung in der Erzeugung der Elektrolyseeinheit. Eine Ausnahme stellt hier die Hochtemperaturelektrolyse (SOEC) dar, wo besonders auf der Materialforschungsebene Know-how vorhanden ist.

PEM-Elektrolyseure sind im Vergleich zu alkalischen Elektrolyseuren aktuell nur mit deutlich kleineren Nennleistungen verfügbar, weshalb ein Up-Scaling der Systeme vorangetrieben werden sollte. Für bestimmte Anwendungen wird Wasserstoff auf hohem Druckniveau benötigt (z.B. Mobilität), weshalb Elektrolysesysteme auch in Richtung höhere

Betriebsdrücke optimiert werden sollten – hier existiert auch zentrales Know-how in Österreich aus dem Automobilzuliefer- und verwandtem Brennstoffzellenbereich.

Die zentralen Möglichkeiten der Weiterentwicklung von Power-to-Gas in Österreich ergeben sich vor allem in Richtung der intelligenten Verschaltung von einzelnen Elektrolysesystemen, um eine flexiblere Betriebsweise und höhere Effizienz zu erreichen. Dies bedingt somit wiederum ein umfassendes Verständnis der Betriebsformen und Betriebsweisen von Power-to-Gas-Anlagen, wodurch systemisches Forschen auf Basis realer Demonstrations- und Pilotprojekte essentiell ist.

### **J) Weiterentwicklung des Methanisierungsprozesses**

Synthetisches Methan aus Power-to-Gas-Anlagen hat gegenüber Wasserstoff den Vorteil, dass es vergleichsweise einfach in die vorhandene Erdgasinfrastruktur eingespeist werden kann. Effiziente Methanisierungstechnologien für Kohlendioxid sind allerdings gegenwärtig noch nicht standardmäßig verfügbar. Sowohl zur biologischen als auch chemischen / katalytischen Methanisierung gibt es in Österreich vorhandenes Know-how, sodass auch aus volkswirtschaftlichen Gründen die Weiterentwicklung der Methanisierung vorangetrieben werden sollte.

Eine weitere Herausforderung hinsichtlich Methanisierung ist die ausreichende Verfügbarkeit von CO<sub>2</sub> in geeigneter Qualität. Durch die Reduktion fossiler Kraftwerke in der Stromproduktion fällt weniger CO<sub>2</sub> an, welches für die Methanisierung allerdings benötigt wird. Dies ist auch für die Herstellung von flüssigen Kohlenwasserstoffen im Rahmen von Power-to-Liquids relevant. In anderen Produktionsbereichen (Zement, Eisen- und Stahl, anaerobe Fermentationen) fallen jedoch CO<sub>2</sub>-Ströme in hoher Konzentration an. Es gilt somit als Herausforderung, die vorhandenen Kohlendioxid-Quellen sowohl systemisch als auch technologisch optimiert in das System zu integrieren.

### **K) Weiterentwicklung der technologischen Lernkurven und der Skaleneffekte**

Die Steigerung der Wirtschaftlichkeit und somit auch der Kostendegression wurde bereits in A) erläutert. Die technologische Komponente dieser Weiterentwicklung ist die Forcierung der Umsetzung von Lernkurven zur Entwicklung marktreifer Technologien. Dies betrifft vor allem die Fertigung der Elektrolysestacks und die Erhöhung der technischen Wirkungsgrade. Beide Systemkomponenten liegen – mit Ausnahme der SOEC – nicht in österreichischer Kompetenz, sodass hier eine Abhängigkeit vom internationalen Markt gegeben ist. Zudem sind auch die insgesamt produzierten Stückzahlen von Elektrolysesystemen noch sehr gering. Aus Sicht der ExpertInnen wird allerdings auch nicht erwartet, dass in absehbarer Zeit größere Stückzahlen in Österreich produziert werden.

Der Schwerpunkt der Forschung und Entwicklung sollte daher auf der Systemintegration und Optimierung des Betriebs von Power-to-Gas Anlagen mit besonderem Augenmerk auf einer

dynamischen Fahrweise liegen. Für die Power-to-Gas Technologie besteht ein enormer Forschungsbedarf bei der Entwicklung von Komponenten mit diskontinuierlichen Laufzeiten.

Nur bei Erreichung einer signifikanten Kostendegression kann Power-to-Gas auf langfristige Sicht zum eigentlichen Nutzen der Technologie – der Speicherung elektrischer Energie aus volatiler Erzeugung – eingesetzt werden.

### **L) Weiterentwicklung von Power-to-Liquids**

Zu den Herausforderungen im Themenbereich Power-to-Liquids zählt vor allem die Forschung im Bereich elektrolytischer Verfahren, die verschiedene Kohlenwasserstoffe direkt elektrochemisch herstellen. Die direkte Umsetzung von Kohlendioxid und Wasser zu flüssigen Treibstoffen bzw. Grundstoffen der chemischen Industrie über beispielsweise bioelektrische Wasserstoffproduktion ist der Grundlagenforschung zuzuordnen. Im Bereich dieser sogenannten MEC-Technologie (Microbial Electrolysis Cell) wurde in Österreich in den vergangenen Jahren im Rahmen nationaler Projekte bereits geforscht. Neben der Weiterentwicklung des Set-ups betreffend Elektrodenmaterial und erreichbarer Stromdichten ist vor allem die produktseitige Erhöhung der Raum-/Zeitausbeute zu verbessern.

Bei der Nutzung von Synthesegas, welches ebenfalls aus elektrolytisch produziertem Wasserstoff hergestellt werden kann, über Fischer-Tropsch-Synthese, Methanolsynthese oder Fermentation ist bereits Know-how in Österreich aus dem Bereich Biomass-to-Liquids vorhanden, welches in Kooperationen auch genutzt werden kann. Die Herausforderung ist in diesem Kontext somit die Realisierung des Wissenstransfers.

## 7 Handlungsbedarf zur Forcierung von F&E für Power-to-Gas-Systeme in Österreich

Auf Basis der identifizierten Probleme und Herausforderungen können Chancen und Potentiale als Handlungsbedarf für mögliche FTI-Maßnahmen im Bereich der Technologie von Power-to-Gas (bzw. Power-to-Liquids) abgeleitet werden. Hier ergeben sich laut ExpertInnenmeinungen spezifische Handlungsfelder im Bereich Forschung und Innovation für Power-to-Gas-Technologien und -systeme.

Die Forcierung von Forschung und Entwicklung wird hierbei als vorgelagertes Handlungsfeld vor dem Hintergrund der Erreichung von energiewirtschaftlichen Zielen (Wirtschaftlichkeit, Energieeffizienz) gesehen. Dabei steht nicht nur die Erforschung von technischen und technologischen Aspekten zu einem erfolgreichen Einsatz von Power-to-Gas, sondern auch der Zusammenhang mit der Energiewirtschaft und den Erfordernissen nach der jeweiligen Marktsituation im Fokus.

Parallel dazu finden Überlegungen in Richtung Ausgestaltung von Forschungsinnovationen statt, wobei thematische Schwerpunkte in Hinblick auf mögliche FTI-Maßnahmen und Förderprogramme identifiziert werden. Diese jeweiligen Handlungsfelder und die damit verknüpften Zeithorizonte (kurz-, mittel- und langfristig) werden wiederum nach den Bereichen „System“<sup>117</sup> und „Technologie“ eingeordnet. Dabei ist auch auf die enge Verknüpfung zwischen „System“ und „Technologie“ als Handlungsfeld für Forschung und Innovation hinzuweisen.

Aus den thematischen Schwerpunkten heraus können maßgeschneiderte Förderprogramme abgeleitet werden, sodass die identifizierten Handlungsfelder mit entsprechenden FTI-Maßnahmen und Förderprogrammen in Verbindung gebracht werden können. Die Zeithorizonte der einzelnen Handlungsfelder beziehen sich, ausgehend vom Jahr 2015 auf eine kurzfristige (bis 2020), eine mittelfristige (bis 2025) und eine langfristige (bis 2030) Dimension.

---

<sup>117</sup> Definition von „Systemanalysen“ im vorliegenden Kontext: Untersuchungen, Konzepte, Analysen, die eine optimale Einbindungen von Technologien in das Energiesystem unter Heranziehung von technoökonomischen, sozioökonomischen, soziotechnischen und rechtlichen Methoden im Fokus haben. Als Konsequenz steht nicht die (Weiter-)Entwicklung der reinen technologischen Komponente im Vordergrund.

**a. Identifizierter Handlungsbedarf der Systemintegration und -entwicklung von Power-to-Gas<sup>118</sup>**

- (1) **Umsetzung von Demonstrations- und Pilotprojekten in Österreich:** Um in bestimmten Segmenten entscheidende Weiterentwicklungen des Systems Power-to-Gas zu realisieren und um Top-Innovationen (wie z.B. im Bereich der Hochdruckelektrolyse) zu entwickeln, bedarf es der Förderung der Errichtung und des Betriebs von Power-to-Gas Anlagen in Österreich. Zwar bestehen vor allem auch in Deutschland bereits einige Pilotanlagen und Demonstrationsprojekte, jedoch ist – insbesondere mit Bezug auf Systemforschung – die weitere Entwicklung des Systems und der Technologien auch stark standortabhängig sowie stark abhängig von den spezifischen Betriebsweisen und Anwendungsstrategien bzw. Einsatzkonzepten, sodass entscheidende Entwicklungen nur mit eigenen Anlagen in Form von Demonstrationsprojekten oder in Form von Pilotanlagen realisiert werden können. Durch eine Förderung von Demonstrationsprojekten in Österreich könnten auch internationale Partner nach Österreich geholt werden.

Der Schwerpunkt der Pilotprojekte sollte dabei in Österreich auf systemischen Fragestellungen liegen – dies beinhaltet neben Betriebsweisen und Anwendungsstrategien bzw. Einsatzkonzepten auch das optimale Zusammenspiel von Technologiekomponenten, da die Effizienz hier nicht nur technologie- sondern insbesondere auch systemspezifisch bestimmt wird.

Einen großen Vorteil sehen die ExpertInnen dabei einerseits in dem eingebrachten Know-how der internationalen Partner im Bereich des Elektrolysestacks, aber auch im Aufbau von Know-how vor Ort. Die Steigerung der Lebenszeit der Kernkomponenten auf zumindest 80.000 – 100.000 h bzw. die Aufrechterhaltung bereits erreichbarer Niveaus im dynamischen Betrieb als wichtiges Entwicklungsziel kann unter Einbindung der Materialentwicklung (insbesondere Membranen und Katalysatoren) nur in Demonstrationsvorhaben erreicht und getestet werden.

Ausgehend von den beiden bereits laufenden österreichischen Forschungsprojekten wind2hydrogen und Underground Sun.Storage (Projektkronyme), die jeweils eine Realisierung einer konkreten Power-to-Gas-Anwendung beinhalten, wird ein virtuelles Power-to-Gas-Zentrum in Österreich mit realen Umsetzung mit Pilot- und/oder Demonstrationscharakter – und somit eine Power-to-Gas-Modellregion - vorgeschlagen. Eine Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Projekten zur Generierung von Synergien sowie zur Stärkung der österreichischen Power-to-Gas-

---

<sup>118</sup> Definition von „Systemanalysen“ im vorliegenden Kontext: Untersuchungen, Konzepte, Analysen, die optimale Einbindungen von Technologien in das Energiesystem unter Heranziehung von technoökonomischen, sozioökonomischen, soziotechnischen und rechtlichen Methoden im Fokus haben. Als Konsequenz steht nicht die (Weiter-)Entwicklung der reinen technologischen Komponente im Vordergrund

Forschung ist hierbei essentiell. Projekte für ein virtuelles Forschungszentrum und somit für eine Power-to-Gas-Modellregion sollten als Konsequenz die Vernetzung mit bestehenden Projekten per se beinhalten.

Zudem sind permanente Analysen der nationalen und internationalen Marktteilnehmer und der damit verknüpften divergenten Perspektiven entlang der gesamten Technologie- bzw. Wertschöpfungskette Power-to-Gas notwendig, um intelligente Gesamtlösungen mit optimalem Systemnutzen zu generieren. Weitere Definition der Rollen bzw. Akteure ist auch in Hinblick auf die Integration von Power-to-Gas in das Energiesystem erforderlich. Die Technologie Power-to-Gas ermöglicht die Koppelung von Energienetzen zu sogenannten Hybridnetzen, was wiederum viele offene Fragen bezüglich der Rollenverteilung im nationalen zukünftigen Energiesystem aufwirft. Es ist als zentraler Handlungsbedarf zu betrachten, dass entlang der gesamten Wertschöpfungskette, somit vom Produzenten der elektrischen Energie bis zum Endverbraucher der Energie die zentralen österreichischen Player verstärkt in die Forschung und Entwicklung und auch in die Umsetzung realer Anlagen eingebunden werden.

(2) **Handlungsbedarf der Umsetzung von ökonomischer und systemischer Forschung für optimale Anwendungsstrategien zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit:**

Eine Erhöhung der Wirtschaftlichkeit stellt eine zentrale Herausforderung in der zukünftigen Entwicklung von Power-to-Gas dar. Die Kostendegression von Power-to-Gas Systemen ist neben den Technologiekosten zu einem bedeutenden Teil von den übergeordneten ökonomischen Strukturen, den Betriebsweisen und der spezifischen ökonomischen Auslegung und Dimensionierung abhängig. Die Umsetzung und Realisierung von Power-to-Gas Anlagen in Österreich wird aktuell nicht primär durch technische Probleme, sondern vor allem aufgrund der Wirtschaftlichkeit verhindert. Eine aus Österreich auch beeinflussbare und sehr signifikante Kostendegression kann durch die Optimierung der Betriebsweisen sowie der Optimierung der standort-spezifischen Auslegungen der Anlagen erreicht werden. Darunter fällt die Verschaltung von Elektrolysestacks um einen möglichst flachen Verlauf der Effizienzkurve über einen breiten Lastbereich zu erzielen, die Reduktion der Energieverbräuche der Systemkomponenten (z.B. AC/DC-Wandler, Kompressoren, ...), die Nutzung von Koppelprodukten wie Sauerstoff und Abwärme, usw.

Die Verringerung der Kosten je erzeugter kWh in diesem Zusammenhang kann somit vor allem durch geringere Betriebskosten und durch intelligente Anwendungsstrategien bzw. Einsatzkonzepte erreicht werden. Es besteht demnach in Österreich vor allem – im kurz- und mittelfristigen Kontext – ein Handlungsbedarf für ökonomische und systemische Forschung zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit. Ein Fokus hierbei gilt der Entwicklung neuer Anwendungsstrategien für unterschiedliche Betriebsweisen und Marktteilnehmer – sowohl mit einer allgemeinen als auch mit einer standortspezifischen Priorisierung.

- (3) **Handlungsbedarf der Durchführung von Analysen zur optimalen Systemintegration**: In diesem Zusammenhang bedarf es der Lösung von Fragestellungen zur optimalen Einbindung des Technologiekonzeptes Power-to-Gas in das Energiesystem wie etwa der Entwicklung von IKT für vernetzte Systeme. Es ist somit Forschung und Entwicklung zu forcieren, die eine optimale Einbindung des Systems bzw. der Technologie Power-to-Gas in das Energiesystem bzw. in die Volkswirtschaft im Fokus hat. Hierzu ist auch die Forschung und Entwicklung zur rechtlichen Anpassung von Power-to-Gas an das Energiesystem und vice versa zu zählen. Hierbei ist vor allem auch die verstärkte Einbindung von Power-to-Gas-Anlagen in die Konzeptionierung und Entwicklung von Hybridnetzen im städtischen aber auch im ländlichen Räumen vorzunehmen. Dies reicht von grundlegenden Konzeptionierungen bis hin zu Softwarelösungen für Netzbetreiber.
- (4) **Handlungsbedarf zur Entwicklung neuer Finanzierungsformen**: Das Entwicklungsstadium der einzelnen Technologiekomponenten lässt aufgrund des Standes der Lernkurven sowie der Skaleneffekte per se noch keine betriebswirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit des Gesamtsystems Power-to-Gas zu. Wie bereits in einer Vielzahl an Studien gezeigt werden konnte (vgl. hierzu exemplarisch etwa Steinmüller, Tichler, Reiter et al. (2014)), beinhaltet Power-to-Gas allerdings einen essentiellen Nutzen für das gesamte Energiesystem und für die Volkswirtschaft. Auf Basis dieser Gegebenheit besteht auch ein Handlungsbedarf zur weiteren Forschung und Analyse einer optimalen Finanzierungsform der Power-to-Gas-Anlagen über die direkte betriebswirtschaftliche Komponente hinaus. Dies integriert volkswirtschaftliche und rechtliche Forschung zur Entwicklung neuer Finanzierungsformen, um eine ökonomische Weiterentwicklung umzusetzen.
- (5) **Handlungsbedarf der Schärfung und Erweiterung bestehender strategischer Programme**: Aus Sicht der ExpertInnen ist in Österreich im Kontext Power-to-Gas vor allem ein Bedarf an Systemforschung<sup>119</sup> in den Bereichen Technologie, Recht und Ökonomie gegeben. Für eine längerfristige Weiterentwicklung und Umsetzung der Technologie Power-to-Gas bedarf es demnach einer kontinuierlichen Entwicklung sowie stabiler Perspektiven und Finanzierungen. Forschungsförderung zur Erreichung von Kostendegression (Reduzierung der Stückkosten) ist in den Energieforschungsprogrammen zu forcieren – dies wäre eine entscheidende Komponente für die Weiterentwicklung von Power-to-Gas in Österreich.

---

<sup>119</sup> Definition von „Systemforschung“ im vorliegenden Kontext: Untersuchungen, Konzepte, Analysen, die optimale Einbindungen von Technologien in das Energiesystem unter Heranziehung von technoökonomischen, sozioökonomischen, soziotechnischen und rechtlichen Methoden im Fokus haben. Als Konsequenz steht nicht die (Weiter-)Entwicklung der reinen technologischen Komponente im Vordergrund.

- (6) **Handlungsbedarf zur Intensivierung strategischer & transnationaler und nationaler Kooperationen**: Die Generierung sowie Nutzung von Synergien in Form von Unternehmens- und Forschungsk Kooperationen innerhalb Österreichs, aber auch länderübergreifend innerhalb und außerhalb der EU, ist als effiziente F&E-Vorgehensweise zu intensivieren. Ein besonderer Bedarf zur Sicherstellung des Know-how-Transfers aus dem Ausland nach Österreich ergibt sich im Fehlen von österreichischen Akteuren zur technologischen Weiterentwicklung der Elektrolysestacks – mit Ausnahme des Hochdruckelektrolysebereichs.
- (7) **Handlungsbedarf der Schaffung von Weiterbildungsangeboten**: Als zentrales Handlungsfeld konnte die Schaffung und der Ausbau von Human Resources und Bewusstsein in der Bevölkerung für das Technologiekonzept identifiziert werden. Hier existiert vor allem ein Bedarf zur Institutionalisierung der Weiterbildungsangebote (als Ergänzung zu Workshops für wissenschaftliche Institutionen und für Unternehmen, die bereits auch außerhalb der internen Projektlandschaft realisiert werden). Dies ist insbesondere als Integration des Themas Power-to-Gas in bestehenden universitären Lehrgängen zum Thema Energie denkbar.

### **b. Identifizierter Handlungsbedarf in der Forschung und Entwicklung einzelner Technologiekomponenten**

- (8) **Handlungsbedarf zur Implementierung von intelligenten Konfigurationen/ Verschaltungen (und IKT-Lösungen) der Anlagen (v.a. im Elektrolysebereich)**: Hier ist in Österreich verstärkt der Fokus auf die unterschiedlichen Anwendungen und Koppelungen im System zu legen. Im Bereich der Weiterentwicklung des technologischen Kernelements des Elektrolysestacks ist eine Abhängigkeit vom globalen Markt gegeben, da keine österreichische Entwicklung mit Ausnahme der Hochdruckelektrolyseforschung betrieben wird. Ein österreichischer Eingriff hierbei ist im Moment ausschließlich durch Grundlagenforschung (siehe hierzu v.a. Materialforschung) gegeben und somit nur langfristig vorstellbar.<sup>120</sup> Allerdings ist in Österreich eine hohe Kompetenz in der Weiterentwicklung des gesamten Elektrolysemoduls mit peripheren Technologiekomponenten vorhanden. Die zentralen Möglichkeiten der Weiterentwicklung von Power-to-Gas in Österreich ergeben sich im Kontext der Elektrolysesysteme vor allem in Richtung der

---

<sup>120</sup> Bei der AEC-Stackentwicklung sind primär die Erhöhung der Stromdichte, des Teil- und Überlastbereiches, der Dynamik und des Betriebsdruckes zu erzielen. Dafür sind einerseits materialeitige Entwicklungen der Membranen und Elektroden (Katalysatorbeschichtungen) als auch verfahrenstechnische Entwicklungen hinsichtlich neuer Stackkonzepte notwendig.

Bei der PEMEC-Stackentwicklung stehen vor allem ein weiteres Upscaling, eine Erhöhung der Lebenszeit und eine Kostenreduktion im Vordergrund. Dafür sind fertigungstechnische Entwicklungen in allen Stackbereichen erforderlich. Des Weiteren besteht Handlungsbedarf bei Materialentwicklungen primär von bipolaren Platten, Membranen und Katalysatoren.



intelligenten Verschaltung und Optimierung der Leistungselektronik von einzelnen Elektrolysesystemen, um eine flexiblere Betriebsweise und höhere Effizienz zu erreichen. Dies bedingt wiederum ein umfassendes Verständnis der Betriebsformen und Betriebsweisen von Power-to-Gas-Anlagen, wodurch systemisches Forschen auf Basis realer Demonstrations- und Pilotprojekte essentiell ist.

Es ist somit ein Handlungsbedarf in Österreich zur Intensivierung der Forschung und Entwicklung der Systemkomponenten im Bereich Zusammenspiel der Technologiekomponenten, optimale Auslegung der Anlagen, Systemstabilität, Flexibilität und Zuverlässigkeit gegeben. Zudem gilt es auch, das optimale Zusammenspiel zwischen Elektrolyseur und Methanisierungstechnologie weiterzuentwickeln.

Für bestimmte Elektrolyse-Anwendungen wird Wasserstoff auf hohem Druckniveau benötigt (z.B. Mobilität), weshalb Elektrolysesysteme auch in Richtung höhere Betriebsdrücke optimiert werden sollten – hier existiert zentrales Know-how in Österreich, das auch eine internationale Marktführerschaft darstellen kann. Die notwendige Systemforschung endet jedoch nicht beim Produkt  $H_2$  oder  $CH_4$ , auch in der nachgeschalteten Anwendung besteht Handlungsbedarf z.B. in der Entwicklung eines geeigneten Betankungsprotokolls, das eine Schnellbetankung von Fahrzeugen mit  $H_2$  ermöglicht und schlussendlich in einer Standardisierung der Tankstellen-Konzepte mündet.

- (9) **Handlungsbedarf zur Stärkung der Hochdruckelektrolyseforschung:** Im Elektrolysebereich besteht die grundlegende Herausforderung vor allem in der Sicherstellung des Know-how-Transfers nach Österreich sowie die Verfolgung der internationalen Entwicklung in der Erzeugung der Elektrolyseeinheit. Eine Ausnahme stellt hier die Hochtemperaturelektrolyse (SOEC) dar, wo besonders auf der Materialforschungsebene in Österreich Know-how vorhanden ist. Dieses Know-how kann weiterhin ausgebaut werden, sodass Österreich in diesem Bereich auch eine Vorreiterrolle einnimmt. Aus diesen Forschungsaktivitäten im SOEC - Bereich (Materialforschung, Komponentenherstellung und Erprobung von Pilotsystemen) kann auch die Niedertemperatur-Elektrolyse-Anwendung profitieren.
- (10) **Handlungsbedarf der Intensivierung von F&E zur Weiterentwicklung der Methanisierung:** Effiziente Methanisierungstechnologien sind gegenwärtig noch nicht standardmäßig verfügbar und es besteht ein Bedarf an Weiterentwicklung durch Kostendegression und Up-Scaling. Sowohl zur biologischen als auch chemisch- / katalytischen Methanisierung gibt es in Österreich vorhandenes Know-how, sodass auch aus volkswirtschaftlichen Gründen die Weiterentwicklung der Methanisierung vorangetrieben werden sollte. Forschungs- und Entwicklungsthemen für nationale Initiativen liegen im Bereich der Anlagen- und Prozesstechnikentwicklung innovativer chemisch- aber auch biologisch-katalytischer Methanisierungsverfahren. Eine weitere Herausforderung hinsichtlich Methanisierung ist die ausreichende Verfügbarkeit von  $CO_2$  in geeigneter Qualität. Durch die Reduktion fossiler Kraftwerke in der Stromproduktion fällt weniger  $CO_2$

an, welches für die Methanisierung allerdings benötigt wird. Dies ist auch für die Herstellung von flüssigen Kohlenwasserstoffen im Rahmen von Power-to-Liquids relevant. Es gilt somit als Handlungsbedarf, die vorhandenen Kohlendioxid-Quellen sowohl systemisch als auch technologisch optimiert in das System zu integrieren. Grundlagenorientierte Forschungsarbeiten an neuen und verbesserten Lösungsmitteln für chemische und physikalische CO<sub>2</sub>-Post-Combustion-Verfahren oder neue Adsorbentien sind beispielsweise für eine Kostenreduktion zielführend.

(11) **Handlungsbedarf der Materialforschung entlang der gesamten Prozesskette:**

Die Grundlagenforschung im Bereich der Materialentwicklung sollte vor allem in jenen Themengebieten forciert werden, in denen in Österreich bereits Stärken vorhanden sind. Eine der zentralen Aufgaben in der Materialforschung in Österreich ist hierbei die Entwicklung von Materialien mit hoher Langzeitstabilität und Zuverlässigkeit vor allem bei den Hochtemperaturanwendungen in SOEC (siehe Punkt (9)). Mit bestehenden Materialien können die erforderlichen Kapazitäten auch bei AEC und PEMEC derzeit nicht in großem Maßstab zu konkurrenzfähigen Kosten angeboten werden. Die Materialauswahl bzw. die gezielte Modifikation der jeweiligen Oberflächen von Endplatten, bipolaren Platten, Membranen, Katalysatoren und Current Collectors mit hoher Lebensdauer und Spannungseffizienz durch geringen Widerstand sind in den Fokus der Entwicklungen zu stellen. Für den Bereich der Produkthanwendung gibt es vor allem betreffend Wasserstoffsicherheit Handlungsbedarf (z.B. Versagensmechanismus von Verbundmaterialtanks und anwendbare Sicherheits-faktoren, Spannungsrissskorrosion, Materialverträglichkeiten, Messsysteme), die durch Materialforschung angegangen werden müssen, bevor sie in internationalen Normen behandelt werden können und sich nachfolgenden in Serienfertigung als Stand der Technik etablieren können. Andere Beispiele für relevante Forschung und vorwettbewerbliche Untersuchungen liegen z.B. beim Thema wartungsfreie Dichtung an der Tankkupplung. Die Materialforschung kann damit als Schlüsseldisziplin zur Optimierung von Prozessen und Verfahren hinsichtlich Effizienz, Temperatur, Laufzeiten etc. eingeschätzt werden. Betreffend der zeitlichen Perspektive sind die Anstrengungen in der Materialforschung langfristig und konsequent zu verfolgen um ihr gesamtes Potential auszuschöpfen und massenfertigungstaugliche Produkte- und Produktionstechniken zu erreichen.

(12) **Handlungsbedarf zur Weiterentwicklung von Power-to-Liquids:** Hier wurde der zukünftige Forschungsschwerpunkt im Bereich elektrolytischer Verfahren zur Herstellung flüssiger Kohlenwasserstoffe durch direkte Umwandlung von Kohlendioxid und Wasser identifiziert. Die direkte Umsetzung von Kohlendioxid und Wasser zu flüssigen Treibstoffen bzw. Grundstoffen der chemischen Industrie ist der Grundlagenforschung zuzuordnen und auch in Österreich weiterzuverfolgen. Neben der Weiterentwicklung des Set-ups betreffend Elektrodenmaterial und erreichbarer Stromdichten ist vor allem die produktseitige Erhöhung der Raum-/Zeitausbeute bei

mikrobiellen Elektrolysezellen zu verbessern. Bei der Nutzung von Synthesegas, welches ebenfalls aus elektrolytisch produziertem Wasserstoff hergestellt werden kann, ist bereits Know-how in Österreich aus dem Bereich Biomass-to-Liquids vorhanden, welches in Kooperationen auch genutzt werden kann. Der Handlungsbedarf besteht in diesem Kontext somit in der Realisierung des Wissenstransfers

In der nachfolgenden Abbildung 6 wird der zentrale F&E-Handlungsbedarf im Bereich der System- und Technologieforschung zu Power-to-Gas in Österreich nochmals zusammengefasst.

**Abbildung 6: F&E Handlungsbedarf im Bereich der System- und Technologieforschung zu Power-to-Gas in Österreich**



Quelle: Energieinstitut an der JKU Linz

## **8 Konkrete Umsetzungsvorschläge für zukünftige Förderprogramme sowie FTI-Maßnahmen des bmvit**

Für eine wirtschaftliche und konkurrenzfähige zukünftige Nutzung der Power-to-Gas Technologien in Österreich sind Förderungsstrategien und entsprechende Maßnahmen mit einer längerfristigen Perspektive notwendig. Entsprechende Schwerpunkte bei Forschungs- und Entwicklungsprojekten sowie Demonstrationsvorhaben als auch Unterstützungen zur Markteinführung sind auf Basis der durchgeführten ExpertInnenworkshops als zielführend einzustufen. Ein wesentlicher Fakt ist, dass sich benötigte Technologiekomponenten und systembedingte Anforderungen in unterschiedlichen Entwicklungsstadien befinden, sodass unterschiedliche Forschungs- und Förderungsschwerpunkte notwendig sind. Mit adäquaten Forschungsförderungsinstrumenten kann entsprechend auf diesen Umstand eingegangen werden, sodass Förderschwerpunkte in den Bereichen Grundlagenforschung, Sondierungen, F&E-Dienstleistungen, Industrielle Forschung, Experimentelle Entwicklung und Pilot- und Demonstrationsprojekte entstehen und damit kein Baustein entlang der Chain of Innovation fehlt.

In den ExpertInnenworkshops wurden Schwachstellen bzw. Konfliktfelder bei der Grundlagenforschung versus angewandte Forschung in der österreichischen Forschungsförderungslandschaft geortet und eine Weiterentwicklung des Instrumentariums gefordert. Damit verbunden ist die notwendige Diskussion, in welchen Programmen die Erforschung des Technologiefelds Power-to-Gas bzw. Power-to-Liquids behandelt wird bzw. sinnvollerweise behandelt werden soll. Gegenwärtig laufen Forschungsaktivitäten in Österreich im Bereich Power-to-Gas von katalytischen Prozessen bis hin zu biotechnologischen Prozessen. Die Forschung zur Elektrolyse als Schwerpunkt im Entwicklungsprozess könnte bspw. in bestehende Programme des Klima- und Energiefonds wie dem Energieforschungsprogramm eingebettet werden. Wesentlich ist die nachhaltige Stabilität und Lebensdauer dieser derzeit bestehenden Forschungsförderungsprogramme, welche unisono sichergestellt werden muss. Hinzu kommt die aktuelle Ausgestaltung der Förderungsprogramme sowie deren Förderbedingungen und darauf bezogene mögliche Verbesserungen z.B. betreffend Deckelung über den Overhead, was vor allem als Schwierigkeiten für Universitäten von den ExpertInnen kommuniziert wurde.

Ausgehend von diesem Status Quo bedarf es einer weitergehenden Diskussion über die zukünftige Ausgestaltung von Förderportfolios hinsichtlich Programme, Projekttypen und Finanzierung mit einer entsprechenden strategischen Ausrichtung. Die Einreichung von Projekten mit dem Technologieschwerpunkt Power-to-Gas ist mit den gegenwärtigen Forschungsprogrammen nur bedingt möglich (z.B. ist für die Einreichung beim FWF das Thema zu ingenieurwissenschaftlich orientiert). Hier gilt es eine längerfristige strategische Forschungslinie zu definieren, wo sich die Schwerpunkte auch in der FTI-Roadmap widerspiegeln sollen.

Hinsichtlich der Ausgestaltung der FTI-Fördersysteme im Bereich der Technologie Power-to-Gas wird ein Instrumentenmix von Grundlagenforschung, Industrieller Forschung,

Experimenteller Entwicklung sowie Demonstrations- und Pilotprojekten als notwendig eingestuft, die durch entsprechende Begleitmaßnahmen (z.B. Aus- und Weiterbildung, Standards und Zertifizierung, regulatorische Maßnahmen, etc.) abgerundet werden.

Ersichtlich wird aus Perspektive der Autoren, dass aktuell im Jahr 2014 für den mehrfach aufgezeigten Bedarf an Systemforschung im Sinne einer integrierten ökonomischen, systemischen aber auch rechtlichen Forschung keine adäquaten nationalen Förderprogramme vorhanden sind. Dies ist nicht auf Power-to-Gas reduzierbar, sondern eine generelle Problemstellung in der Forschung ökonomischer, systemischer und rechtlicher Fragestellungen zur Weiterentwicklung des österreichischen Energiesystems.

Wesentlich ist hier auch die Schaffung eines informellen Austausches und transnationaler Synergien sowie entsprechende Förderprogramme, um Projekte im Bereich Power-to-Gas auch umzusetzen und den Bau von Demonstrations- und Pilotprojekten im Inland zu forcieren. Damit können auch Voraussetzungen geschaffen werden, um auch mögliche Synergien innerhalb von Europa bei der Realisierung von Anlagen in Österreich zu generieren. Universe Engineering (Zusammenfassung aller Engineering-Teilbereiche) wird kein Unternehmen betreiben, weshalb die Suche nach Synergien für Tests, Materialentwicklung und Benchmarks Sinn macht, vor allem wenn gleich mehrere Materialien getestet werden.

Durch das optimale Ausnutzen von Synergien hat jeder nationale Player die Gelegenheit, sich auf seine Kernkompetenz zu konzentrieren, was auch einen USP/Know-how Vorsprung gegenüber anderer relevanter Stakeholder schafft. Allerdings wird eine Grundausstattung und ein bestimmter Bestand an Gerätschaften und Technologien für die Weiterentwicklung der Technologie als wichtig angesehen.

Beim Fokus der Forschungs-förderungsprogramme sind auf die unterschiedlichen Thematiken und Disziplinen bei der Betrachtung von Technologien aber auch das Zusammenspiel verschiedener Technologien Rücksicht zu nehmen – so ist auch die systemische, ökonomische und rechtliche Forschung als fundamentaler Baustein für Power-to-Gas einzuordnen. In Hinblick auf die Realisierung von Demonstrationsanlagen im Rahmen von Forschungsförderungsprogrammen soll die Art der Finanzierung – Forschungsförderung oder Investitionsförderung – vorab geklärt werden (siehe Beispiele aus Deutschland unter Kapitel 8.2).

Essentiell ist eine längerfristige Strategie mit einer kontinuierlichen strategischen Ausrichtung inklusive gesicherter Förderschiene, die für den Bereich Power-to-Gas auch in Österreich innovative Projekte ermöglicht.

### 8.1 Inhaltliche Schwerpunkte

Es wird ein Mix aus Grundlagenforschung und angewandter Forschung sowie der Etablierung von Pilot- und Demoprojekten für die Weiterentwicklung von Power-to-Gas aus technologischer sowie systemischer Sicht (Ökonomie, Recht, Systemforschung)<sup>121</sup> benötigt. Zusätzlich werden auch gezielte Maßnahmen im Bereich Aus- und Weiterbildung von den konsultierten ExpertInnen gefordert, um technologiespezifisches Know-how aufzubauen. Die Roadmap zielt auf die Etablierung einer längerfristigen Strategie (bis zum Zeithorizont 2020/2030) hinsichtlich der Erforschung der Thematik mit entsprechenden Förderschienen ab. Tabelle 3 gibt die identifizierten thematischen Handlungsfelder für den Forschungsbereich mit entsprechenden FTI-Instrumenten wieder (es gibt keine Prioritätenreihung, alle Aspekte sind gleichwertig zu betrachten).

In Kapitel 8.3 werden darauf aufbauend Vorschläge für konkrete Studien, Projekte bzw. Programme gelistet, die eine kurz- und mittelfristige Umsetzung konkretisieren.

---

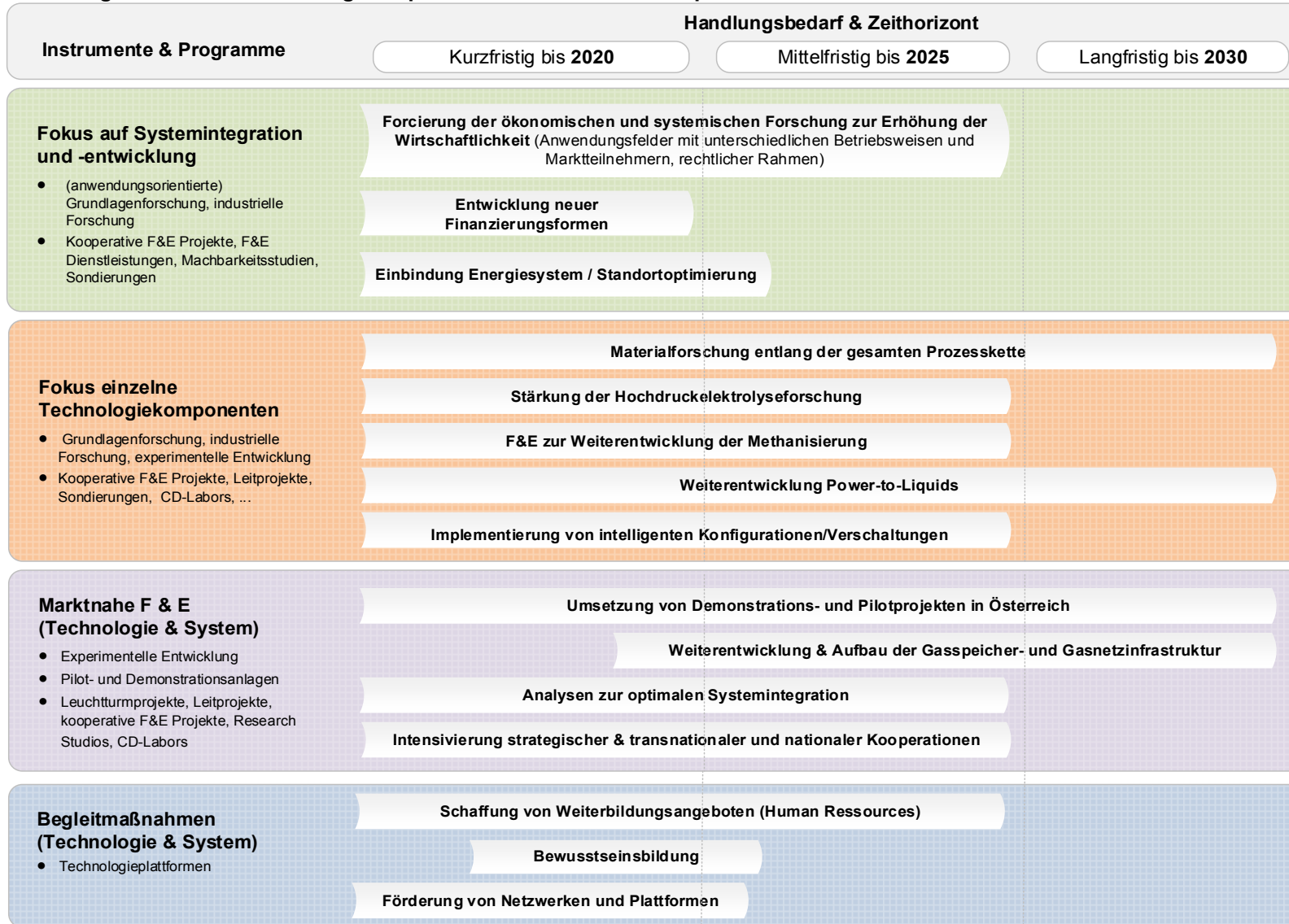
<sup>121</sup> Definition von „systemisch“ im vorliegenden Kontext: Untersuchungen, Konzepte, Analysen, die optimale Einbindungen von Technologien in das Energiesystem unter Heranziehung von technoökonomischen, sozioökonomischen, soziotechnischen und rechtlichen Methoden im Fokus haben. Als Konsequenz steht nicht die (Weiter-)Entwicklung der reinen technologischen Komponente im Vordergrund.

Abbildung 7: F&E Handlungsbedarf in den jeweiligen Technologiefelder im Bereich Power-to-Gas – ROADMAP Action in Österreich

	Fokus Systemintegration und -entwicklung	Fokus F&E einzelner Technologiekomponenten	Marktnahe F&E (Technologie & System)	Begleitmaßnahmen (Technologie & System)
<b>Handlungsfelder – Roadmap ACTION</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forcierung der ökonomischen und systemischen Forschung zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit (Anwendungsfelder mit unterschiedlichen Betriebsweisen und Marktteilnehmern, rechtlicher Rahmen)</li> <li>• Entwicklung neuer Finanzierungsformen</li> <li>• Optimale Einbindung in das Energiesystem / Standortoptimierung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materialforschung entlang der gesamten Prozesskette</li> <li>• Stärkung der Hochdruck-elektrolyseforschung (Effizienz, Dynamik, Kostendegression, Up-Scaling)</li> <li>• F&amp; E zur Weiterentwicklung der Methanisierung</li> <li>• Weiterentwicklung Power-to-Liquids</li> <li>• Implementierung von intelligenten Konfigurationen/Verschaltungen (Stabilität, Zuverlässigkeit, Kapazität, Lebensdauer,...)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umsetzung von Demonstrations- und Pilotprojekten in Österreich</li> <li>• Weiterentwicklung und Aufbau der Gasspeicher- und Gasnetzinfrastruktur</li> <li>• Analysen zur optimalen Systemintegration</li> <li>• Intensivierung strategischer und transnationaler Kooperationen zwischen relevanten Akteuren (Synergien und Know-how-Austausch)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forcierung von Weiterbildung entlang der Chain of Innovation</li> <li>• Förderung von Netzwerken und Plattformen</li> <li>• Bewusstseinsbildung</li> </ul>
<b>Ziele</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Systemintegration: optimale Anwendungsfelder und Einsatzkonzepte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weiterentwicklung und Nutzbarmachung von Erkenntnissen der Grundlagenforschung für wirtschaftliche Anwendungen</li> <li>• Entwicklung zur Marktreife einzelner Technologiekomponenten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anwendung &amp; Umsetzung von Forschungsergebnissen der Grundlagenforschung</li> <li>• Realitätsnahe Demonstration mit Pilotcharakter in Österreich</li> <li>• Technologietransfer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• angemessenes Bildungsangebot</li> <li>• Verfügbarkeit von Arbeitskräften mit technologiespezifischem Know-how</li> </ul>
<b>FTI-Instrumente</b>	<p><b>Forschungsförderung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• (anwendungsorientierte) Grundlagenforschung, industrielle Forschung</li> <li>• Kooperative F&amp;E Projekte, F&amp;E Dienstleistungen, Machbarkeitsstudien, Sondierungen</li> </ul>	<p><b>Forschungsförderung &amp; Investitionsförderung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Grundlagenforschung, industr. Forschung, experimentelle Entwicklung,</li> <li>• Kooperative F&amp;E Projekte, Leitprojekte, Sondierungen, CD-Labors,...</li> </ul>	<p><b>Forschungsförderung &amp; Investitionsförderung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Experimentelle Entwicklung</li> <li>• Pilot- und Demonstrationsanlagen</li> <li>• Leuchtturmprojekte, Leitprojekte, Kooperative F&amp;E Projekte, Research Studios, CD-Labors</li> </ul>	<p><b>Weiterbildung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• spezifische Programme / Seminare (universitär und außeruniversitär) in bestehenden Lehrgängen</li> </ul>
<b>Strategische Ausrichtung und Ausgestaltung der Forschungsförderungsprogramme und -instrumente</b>				

Quelle: Energieinstitut an der JKU Linz

Abbildung 8: Zeitliche Umsetzung Fahrplan bis 2030 – FTI-Roadmap Power-to-Gas für Österreich



Quelle: Energieinstitut an der JKU Linz



### 8.2 Einbettung der FTI-Roadmap Power-to-Gas für Österreich in das bmvit – Themenmanagement

Der Klimawandel und der Umgang mit knappen Ressourcen gehören zu den großen gesellschaftlichen Herausforderungen der Gegenwart und sind ein Leitmotiv in der aktuellen FTI-Strategie des Bundes. Auf europäischer Ebene forciert der SET-Plan (Strategic- Energy- Technology Plan for Europe) durch die Einführung neuer Energietechnologien bis 2020 die Lösungen zur Energieproblematik. Power-to-Gas kann hier vor allem im Bereich der notwendigen **Intelligenten Energiesysteme** einen substanziellen Beitrag beispielsweise zur bestmöglichen Integration erneuerbarer Energieträger und Verschränkung der Netze leisten. Energiespeicher und Pufferkonzepte wie Power-to-Gas sind im Energieträger-übergreifenden Kontext als Schlüsseltechnologien zu bewerten.

Die zukünftig notwendige integrierte Betrachtung der Strom- und Gasinfrastruktur wird bei einer Implementierung eine energieträgerübergreifende Planung und Entwicklung zukunftsfähiger Anwendungsfelder und Tarifsysteme bei Power-to-Gas verstärkt möglich gemacht. Damit verbunden sind komplexe Datenaustausch- und Optimierungsschnittstellen die über **Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT)** zu bedienen sind. Neben den systemforschungs-relevanten Themenfeldern geht es letztlich um die Bereitstellung von High-Tech Materialien die über eine **Intelligente Produktion** für die Technologiekomponenten des Power-to-Gas Systems zur Verfügung stehen müssen um eine energiewirtschaftlich konkurrenzfähige Implementierung zu ermöglichen und gegebene Systemeffizienzen zu maximieren. Um den vor allem auch im Kontext Power-to-Gas die Wettbewerbsfähigkeit mit Deutschland aufrecht zu erhalten bzw. zu erlangen, ist für den Standort Österreich ein zeitnahes Agieren der öffentlichen Hand und Unternehmen im Bereich Anlagenbau, Elektrochemie, EVUs,... mit gezielten Aktivitäten im Bereich Produktionsforschung bis hin zur industriellen Überführung und Implementierung notwendig.

Die erarbeiteten inhaltlichen Forschungsschwerpunkte zum System Power-to-Gas finden sich zusammenfassend insbesondere in folgenden Bereichen des bmvit-Themenmanagements wieder:

- Intelligente Energiesysteme
- Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT)
- Intelligente Produktion

Aber auch zu den Themen Mobilität (Weiterentwicklung Power-to-Liquids, Wasserstoffmobilität,...) oder Humanpotential (Bewusstseinsbildung, Forcierung von Aus- und Weiterbildung) bestehen Anknüpfungspunkte. Der im Rahmen des Roadmapping-Prozesses identifizierte Handlungsbedarf sollte in die bestehenden Schwerpunktthemen und Förderinstrumente eingebunden werden. In diesem Zusammenhang soll nicht unerwähnt bleiben, dass bestehende Förderprogramme (z.B. Energieforschungsprogramm des Klima- und Energiefonds, Energieforschungsinitiative des BMWFJ, ...) in den vergangenen Jahren als

wesentlicher Impulsgeber für Projekte mit Bezug zu Power-to-Gas waren (siehe Abbildung 4) und die Teilnehmer der beiden Workshops die vorhandenen Forschungsförderungsinstrumente durchwegs positiv hinsichtlich ihrer Ausgestaltung und Notwendigkeit beurteilten.

Bei dieser Implementierung des aufgezeigten F&E Handlungsbedarfs der FTI-Roadmap Power-to-Gas für Österreich in das bmvit-Themenmanagement bzw. in die österreichische Förderungslandschaft sind die betreffenden Leitlinien für staatliche Umweltschutz- und Energiebeihilfen 2014-2020<sup>122</sup> zu berücksichtigen. Die Leitlinien thematisieren die Ausgestaltung von Beihilfen mit starkem Bezug zu Power-to-Gas wie Beihilfen zur Förderung erneuerbarer Energien, zur Förderung der Ressourceneffizienz, für die CO<sub>2</sub>-Abscheidung und –Speicherung (CCS), für Energieinfrastrukturen oder zur angemessenen Stromerzeugung. Eine mögliche Beihilfe zur Förderung einer angemessenen Stromerzeugung richtet sich beispielsweise an etablierte und künftige Erzeuger und Betreiber, die substituierbare Technologien (z.B. Laststeuerung oder Speicherlösungen) einsetzen. Angesichts des unterschiedlichen Entwicklungsstands der Technologien für erneuerbare Energien ermöglichen es diese Leitlinien den Mitgliedsstaaten technologiespezifische Ausschreibungen durchzuführen, um das längerfristige Potential einer bestimmten neuen, innovativen Technologie, die Notwendigkeit einer Diversifizierung, Netzeinschränkungen und Fragen der Netzstabilität sowie System(integrations)kosten zu berücksichtigen.<sup>123</sup>

Die Technologie Power-to-Gas ist ein in höchstem Maß integratives Konzept, wodurch sich die Ermittlung der kontrafaktischen Fallkonstellation als schwierig erweist. Es ist in diesem Zusammenhang auf die im Kapitel 2 charakterisierte Funktion und Nutzen von Power-to-Gas im Energiesystem wie

- Speicherung von elektrischer Energie aus zeitlich volatiler Produktion,
- Verlagerung des Energietransports,
- Koppelung von Energienetzen (Hybridnetze),
- Neue erneuerbare Energieträger ohne Flächenkonkurrenz,
- Versorgung autarker Energiesysteme und
- Verwertung von Kohlendioxid (Carbon Capture and Utilization)

zu verweisen. Aufgrund der derzeitig gegebenen hohen Kosten der Systemkomponenten Power-to-Gas ist die Realisierung von Funktion und Nutzen an Förderung gebunden um die notwendigen Anreizeffekte für Unternehmen zu liefern, in die Weiterentwicklung und Implementierung verstärkt einzusteigen und das längerfristige Potential zu nutzen. Die Europäische Kommission vertritt in diesem Zusammenhang die Auffassung, dass bei

---

<sup>122</sup> Europäische Kommission (2014) Leitlinien für staatliche Umweltschutz und Energiebeihilfen 2014-2020 (2014/C 200/01), Amtsblatt der Europäischen Union C200/1 vom 28.6.2014.

<sup>123</sup> Para. 3.3.1 (110), Europäische Kommission (2014) Leitlinien für staatliche Umweltschutz und Energiebeihilfen 2014-2020 (2014/C 200/01), Amtsblatt der Europäischen Union C200/1 vom 28.6.2014.

Vorhaben von gemeinsamem Interesse im Sinne der EU-Verordnung Nr. 347/2013<sup>124</sup> bei intelligenten Stromnetzen und bei Infrastrukturinvestitionen in Fördergebieten das Marktversagen im Hinblick auf positive externe Effekte und Koordinierungsprobleme derart gelagert ist, dass eine Tariffinanzierung möglicherweise nicht ausreicht und staatliche Beihilfen gewährt werden können. Dabei ist Angemessenheit einer Beihilfe ein wesentliches Kriterium, wobei aufgrund der Anwendungsvielfalt die Festlegung auf LCOE – levelized cost of producing energy (Gestehungskosten der Technologie versus Marktpreis) für Power-to-Gas schwierig ist.

Es sei an dieser Stelle auf die Literatur verwiesen werden, etwa auf Steinmüller, Tichler, Reiter et. al (2014), wo eine umfassende quantitative ökonomische Bewertung des Systems Power-to-Gas durchgeführt wurde. Betreffend der Höhe möglicher Investitionsbeihilfen sei auf den Anhang 1 der Leitlinien für staatliche Umweltschutz- und Energiebeihilfen 2014-2020 verwiesen.

**Tabelle 5: Beihilfeintensitäten für Investitionsbeihilfen, ausgedrückt als Anteil an den beihilfefähigen Kosten**

Themenfeld	Beihilfeintensitäten		
	Kleine Unternehmen	Mittlere Unternehmen	Große Unternehmen
Beihilfen für Energieinfrastrukturen, Fernwärmeinfrastrukturen	100 %	100 %	100 %
Beihilfen für CCS*	100 %	100 %	100 %
Beihilfen zur Förderung von erneuerbaren Energien, Beihilfen für Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen	65 %, 100 % bei Ausschreibung	55 %, 100 % bei Ausschreibung	45 %, 100 % bei Ausschreibung
Beihilfen für Umweltstudien	70 %	60 %	50 %
Beihilfen für Unternehmen, die über die Unionsnormen hinausgehen oder bei Fehlen solcher Normen den Umweltschutz verbessern (Beihilfen für die Anschaffung neuer Fahrzeuge)	60 %, 70 % bei Öko-Innovation, 100 % bei Ausschreibung	50 %, 60 % bei Öko-Innovation, 100 % bei Ausschreibung	40 %, 50 % bei Öko-Innovation, 100 % bei Ausschreibung

\* Die Beihilfen sind auf die zusätzlichen Kosten für die Abscheidung, den Transport und die Speicherung von CO<sub>2</sub> beschränkt.

Quelle: Europäische Kommission (2014) Leitlinien für staatliche Umweltschutz und Energiebeihilfen 2014-2020 (2014/C 200/01), Amtsblatt der Europäischen Union C200/1 vom 28.6.2014.

<sup>124</sup> Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union (2013) Leitlinien für die transeuropäische Energieinfrastruktur, Verordnung Nr. 347/2013 vom 17.04.2013, Amtsblatt der Europäischen Union L115/39 vom 24.4.2013.

Um in bestimmten Segmenten entscheidende Weiterentwicklungen des Systems Power-to-Gas zu realisieren und um Top-Innovationen zu entwickeln, wurde als Handlungsbedarf die Errichtung von Power-to-Gas Anlagen in Österreich identifiziert. Zwar bestehen vor allem auch in Deutschland bereits einige Pilotanlagen und Demonstrationsprojekte, jedoch ist die weitere Entwicklung des Systems und der Technologien auch stark standortabhängig sowie stark abhängig von den spezifischen Betriebsweisen und Anwendungsstrategien bzw. Einsatzkonzepten, sodass entscheidende Entwicklungen nur mit eigenen Anlagen in Form von Demonstrationsprojekten oder in Form von Pilotanlagen realisiert werden können. Nach Kenntnisstand der WorkshopteilnehmerInnen und Autoren ist derzeit die Verfügbarkeit von Förderinstrumenten für derartige Vorhaben in der österreichischen Forschungslandschaft eingeschränkt. Bisherige Initiativen wurden in der Regel über die Forschungsförderung als Sach- und Materialkosten realisiert, wobei bei einer Nutzung nach Ablauf des Förderzeitraums die anteiligen Kosten für die Abschreibung gefördert werden. Falls die Anlage weiterbetrieben wird, ist der Wiederverkaufswert abzuziehen, wenn die Anlage nach dem Förderzeitraum nicht mehr genutzt wird, ist ein Verschrottungsnachweis zu erbringen. Wird nach Abschluss der experimentellen Phase eine Pilotanlage auf kommerziellen Betrieb umgestellt, gilt diese Aktivität unisono nicht mehr als Forschung und experimentelle Entwicklung.<sup>125</sup> Von den WorkshopteilnehmerInnen wurden in diesem Zusammenhang eine längerfristige Entwicklungsmöglichkeiten unabhängig von einem spezifischen Programm gewünscht bzw. als sinnvoll eingestuft.

Pilot- und Demonstrationsanlagen, zur Erprobung und Einführung neuer oder wesentlich verbesserter Technologien können derzeit grundsätzlich auch über die Umweltförderung im Inland (abgewickelt über die Kommunalkredit Public Consulting) in Zusammenhang mit förderungsfähigen Maßnahmen gemäß § 4 der Förderungsrichtlinien zur Förderung eingereicht werden.<sup>126</sup> Die Maßnahmen betreffen vor allem Verfahren oder Systemkomponenten zur Vermeidung oder Verminderung von diversen Umweltbelastungen und eine Förderung bis 40 % orientiert sich an den umweltrelevanten Mehrinvestitionskosten. Im Sinne der Weiterentwicklung von Power-to-Gas könnte hier eine Erweiterung betreffend Energieinfrastrukturen zur Sichtbarmachung und Fokussierung der Fördermöglichkeit sinnvoll sein. Im Vergleich dazu steht beispielsweise in Deutschland das BMUB-Umweltinnovationsprogramm zur Förderung von Anlagen und Verfahren mit technischem Demonstrationscharakter über Investitionszuschuss oder Darlehen (Investitionszuschuss in Form einer Anteilfinanzierung von bis zu 30 % oder bis zu 70 % der förderfähigen Kosten werden zinsverbilligt auf eine Laufzeit von bis zu 30 Jahren) zur Verfügung.<sup>127</sup> Als weiteres

---

<sup>125</sup> BGBl. II / Nr. 515, Forschungsprämienverordnung ausgegeben am 28. Dezember 2012

<sup>126</sup> Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft [Hrsg.] (2009) Umweltförderung im Inland, Förderungsrichtlinien 2009, <http://www.publicconsulting.at/uploads/frderungsrichtlinien.pdf>

<sup>127</sup> Deutsches Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit „Programm zur Förderung von Investitionen mit Demonstrationscharakter zur Verminderung von Umweltbelastungen – Pilotprojekte Inland“, <http://www.umweltinnovationsprogramm.de/>.

Programm gibt es in Deutschland das „Nationale Innovationsprogramm Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie (NIP)“ wo über Zuschüsse die nutzer- und anwendungsorientierte Forschung und experimentelle Entwicklung im Bereich der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie wobei das Gesamtbudget je zur Hälfte von öffentlicher Hand und der beteiligten Industrie bereitgestellt wird.<sup>128</sup> In den einzelnen deutschen Bundesländern sind zusätzliche Programme mit starkem Bezug zu Power-to-Gas-Technologien implementiert wie beispielsweise:

- „Demonstrationsvorhaben der rationellen Energieverwendung und der Nutzung erneuerbarer Energieträger“ des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg.
- „Innovationsprogramm Wasserstoffinfrastruktur (H2 BW)“ der Landesregierung Baden-Württemberg.
- „NRW Hydrogen HyWay - Förderprogramm für Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnik“ der Energieagentur Nordrhein-Westfalen.

Auf europäischer Ebene ist in diesem Zusammenhang das Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU) als Public-Private-Partnership zur Unterstützung von Forschung, technologischer Entwicklung und Demonstration (FTE) in der Brennstoffzellen- und Wasserstofftechnologie in Europa zu nennen. Ziel ist es, die Markteinführung dieser Technologien zu beschleunigen und ihr Potential als Instrument bei der Verwirklichung eines kohlenstoffarmen Energiesystems zu realisieren.<sup>129</sup> Bei dieser Integration der österreichischen Kapazitäten auf europäischer Ebene können Defizite ausgemacht werden, da die Eintrittsbarrieren für die im europäischen Vergleich tendenziell kleiner strukturierte F&E-Landschaft höher sind, und bestehende Initiativen (wie z.B. ERA-NET) zur Intensivierung strategischer und transnationaler Kooperationen hinsichtlich der möglichen Förderintensitäten im Verhältnis zum administrativen Aufwand eher unattraktiv erscheinen. Hier kann die Implementierung einer informellen nationalen Plattform mit Anknüpfung über die österreichische Forschungsförderungsgesellschaft oder das bmvit zu europäisch-internationalen Netzwerken Abhilfe schaffen.

Auf nationaler Ebene ist – wie bereits erwähnt - aus Sicht der Autoren kein adäquates nationales Förderprogramm für den mehrfach aufgezeigten Bedarf an Systemforschung im Sinne einer integrierten ökonomischen, systemischen aber auch rechtlichen Forschung vorhanden. Dies ist nicht auf Power-to-Gas reduzierbar, sondern eine generelle Problemstellung in der Forschung ökonomischer, systemischer und rechtlicher Fragestellungen zur Weiterentwicklung des österreichischen Energiesystems.

---

<sup>128</sup> Deutsches Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, „Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff und Brennstoffzellentechnologie (NIP)“, <http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/UI/nationales-innovationsprogramm-wasserstoff-und-brennstoffzellentechnologie-nip.html>.

<sup>129</sup> <http://www.fch-ju.eu/>

### 8.3 Vorschläge für konkrete Ausschreibungen mit kurz- und mittelfristiger Perspektive

Aufbauend auf den voranstehenden Analysen für die verschiedenen Dimensionen der österreichischen FTI-Roadmap für Power-to-Gas werden im Folgenden Vorschläge für konkrete Ausschreibungen gelistet. Dies basiert auf der Identifizierung des Handlungsbedarfs in den spezifischen und erläuterten Bereichen und bezieht sich auf einen kurz- bis mittelfristigen Zeithorizont.

#### Power-to-Gas-Projekte als F&E-Dienstleistungen:

- Ökonomische Analyse optimaler Betriebsweisen von Power-to-Gas-Anlagen auf Basis von idealen Kombinationen unterschiedlicher Anwendungsfelder an österreichischen Standorten
- Vergleich der relevanten Rechtsmaterien für Power-to-Gas in Deutschland und Österreich und rechtliche sowie volkswirtschaftliche Analyse einer Transformation der deutschen Regelungen nach Österreich
- Rechtliche Analyse der Verwendung von Kohlendioxid aus fossilen Quellen für Power-to-Gas-Anlagen in Österreich im Kontext von Carbon Capture and Utilization

#### Eigene Themenfelder für Power-to-Gas in Ausschreibungen im Bereich Energieforschung:

Der mehrdimensionale Nutzen von Power-to-Gas-Systemen für unterschiedliche Bereiche des Energiesystems sowie die Heterogenität der Technologien und Betriebsweisen von Power-to-Gas-Anlagen ermöglicht oftmals eine Zuordnung von F&E-Aktivitäten und Projekten zu mehreren Themenfeldern. Aus diesem Grund wird die Implementierung eines eigenen Themenfeldes Power-to-Gas in zukünftigen Ausschreibungen vorgeschlagen, wie bereits in der ersten Ausschreibung „Energieforschung“ des Klima- und Energiefonds mit dem Themenfeld „Brennstoffzellen und Wasserstoff“ begonnen wurde.

Folgende Schwerpunkte sind hierbei exemplarisch zu nennen:

- Integration von Power-to-Gas-Anlagen in bestehende Energienetze zur Weiterentwicklung der zukünftigen Energieversorgung von Ballungsräumen
- Technoökonomische Simulation von Power-to-Gas-Anlagen in Softwareprogrammen für singuläre Energienetze zur Abbildung von Hybridnetzen (*Industrielle Forschung, experimentelle Entwicklung*)
- Materialforschung für neue Katalysatoren im Segment Methanisierung (*Grundlagenforschung, Sondierung, Industrielle Forschung*)

- Materialforschung im Hochdruckelektrolysebereich (*Grundlagenforschung, Sondierung, Industrielle Forschung*)
- Entwicklung von höherwertigen Kohlenwasserstoffen zur Produktion von Power-to-Liquids (z.B. über mikrobielle Elektrosynthese / Elektrokatalyse) (*Grundlagenforschung*)

### **Mögliche neue Ausschreibung: Modellregion Power-to-Gas Österreich**

Ausgehend von den beiden laufenden österreichischen Forschungsprojekten (Stand Herbst 2014) wind2hydrogen und Underground Sun.Storage (Projektkronyme), die jeweils eine Realisierung einer konkreten Power-to-Gas-Anwendung beinhalten, wird ein virtuelles Power-to-Gas-Zentrum in Österreich mit realer Umsetzung mit Pilot- und/oder Demonstrationscharakter vorgeschlagen. Dies könnte in einer eigenen Ausschreibung durch das bmvit und/oder den Klima- und Energiefonds erfolgen. Eine Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Projekten zur Generierung von Synergien sowie zur Stärkung der österreichischen Power-to-Gas-Forschung ist hierbei essentiell. Projekte für das virtuelle Forschungszentrum und somit für die Power-to-Gas-Modellregion sollten als Konsequenz die Vernetzung mit bestehenden Projekten per se beinhalten.

Mit dieser Basis könnte folgende Ausschreibung erfolgen:

- Modellregion Power-to-Gas Österreich: Pilot- und Demonstrationsprojekte von Power-to-Gas-Systemen und -Segmenten zur Schaffung eines virtuellen Forschungszentrums

### **Innovation-Cluster Power-to-Gas**

Die Vernetzung und Integration aller relevanten spezifischen österreichischen Akteure zur optimalen Weiterentwicklung von Power-to-Gas lässt sich in einem formellen bzw. auch finanziell definierten Rahmen einfacher bewerkstelligen, sodass sich in der Folge die positiven Nutzenkomponenten von Power-to-Gas in Österreich in optimaler Ausprägung aber auch in einem zeiteffizienten Ablauf realisieren lassen.

Hierbei bestünde die Möglichkeit, einen Innovationscluster im Sinne einer Technologieplattform zum Thema zu institutionalisieren, der in seiner Administration auf eine Basisfinanzierung zurückgreifen kann, sodass die Vernetzung effizient durchgeführt werden kann, wodurch sowohl Unternehmen als auch Forschungsinstitute und in der Folge durch die optimierte Weiterentwicklung auch das Gesamtsystem profitieren.

## 9 Zusammenfassung

Auf Basis der europäischen Energiepolitik und den darin implementierten nationalen und internationalen Zielsetzungen wird der Anteil erneuerbarer Energien zur Bereitstellung von Elektrizität in den nächsten Jahren und Jahrzehnten weiter signifikant steigen. Die forcierte Implementierung erneuerbarer Energieträger ist u.a. vor dem klimapolitischen Hintergrund der Treibhausgasemissionsreduktion bzw. der Dekarbonisierung zu sehen, zudem auch im Kontext einer verminderten Importabhängigkeit und dadurch auch im Sinne der Versorgungssicherheit von Bedeutung. Die politischen Rahmenbedingungen auf Basis volkswirtschaftlicher Herausforderungen generieren bei einer optimalen Umsetzung positive Effekte, bewirken allerdings auch neue Problemstellungen im System. Eine neue Herausforderung der letzten Jahre, die durch die Forcierung der erneuerbaren Energieträger in der Stromproduktion in Mitteleuropa entstanden ist, ist der steigende Anteil zeitlich volatiler Erzeugung insbesondere durch die steigende Produktion von elektrischer Energie aus Wind- und Sonnenenergie. Die verstärkte Integration impliziert einen erhöhten Bedarf an neuen Flexibilisierungsoptionen im Energiesystem und dadurch auch fundamentale Herausforderungen für die österreichische Volkswirtschaft; dies gilt insbesondere die Aufrechterhaltung eines hohen Niveaus an Versorgungssicherheit bei einem simultanen Wachstum der Stromproduktion aus den Windkraft- und Photovoltaikanlagen. Die zunehmende Volatilität in der Erzeugung verursacht jedoch ohne entwickelte Lösungsstrategien die Notwendigkeit von Überkapazitäten bzw. Redundanzen und auch eine zunehmende Destabilisierung der Leitungsnetze.

Eine Möglichkeit, die Problematik der volatilen Energieproduktion aus Wind- und Solarenergie in den Griff zu bekommen stellt eine Forcierung der Energiespeicherung dar. Eine Möglichkeit zur Langzeitspeicherung von Energie ist hierbei Power-to-Gas. Unter dem Begriff Power-to-Gas wird eine chemische Speicherung der elektrischen Energie in Form von gasförmigen Stoffen wie Methan oder Wasserstoff verstanden.

Das System Power-to-Gas weist spezifische Vorteile gegenüber anderen Speichertechnologien auf, wie die Möglichkeit der Langzeitspeicherung von Energie, die Möglichkeit zur Speicherung enormer Energiekapazitäten, die Verlagerung des Energietransports oder die Bindung von Kohlendioxid usw. Die gelisteten Stärken der Technologie Power-to-Gas beinhalten insbesondere einen übergeordneten Nutzen für das gesamte Energiesystem sowie für die gesamte Volkswirtschaft. Dieser positive volkswirtschaftliche Nutzen bildet auch die Basis für die vorliegende Roadmap; ohne koordinierte Förderung einer neuen Technologie bzw. eines neuen Systems am Anfang seines Entwicklungsprozesses durch die öffentliche Hand wird eine Realisierung des positiven Nutzen durch die Weiterentwicklung und Implementierung der Technologie nur sehr schwer möglich sein.

Es ist daher im aktuellen Technologiestadium von Power-to-Gas von zentraler Bedeutung, bereits zu Beginn der Technologieentwicklung auch die weitere optimale Ausgestaltung des flexibel anwendbaren Systems zu eruieren. Hier gilt es, den Bedarf hinsichtlich Forschung, Entwicklung und Innovation der Power-to-Gas Systeme in Österreich mit einem entsprechenden Fahrplan in die Zukunft aufzuzeigen. In der vorliegenden Studie erfolgt



daher die Konzeptionierung einer FTI-Roadmap (Forschung, Technologie und Innovation) für das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie zum Thema Power-to-Gas.

### **Bedeutung von Forschung und Entwicklung im Bereich Power-to-Gas für Österreich**

Die (Weiter-)Entwicklung der Power-to-Gas-Technologien und Systeme weist für Österreich im internationalen Kontext eine besondere Bedeutung auf. Die Notwendigkeit für Forschung und Entwicklung zu Power-to-Gas in Österreich basiert insbesondere auf folgenden Parametern:

- **Weiterer Ausbau Österreichs als zentrale Energiespeicherregion:**

Österreich sollte aus volkswirtschaftlichen Gründen aufgrund seiner topografischen, geologischen und zentralen geografischen Gegebenheiten seine Stärke als fundamentaler Player im Bereich der Energiespeicherung weiter ausbauen und somit neben Gas(poren)speicher, Pumpspeicher auch dezentrale Speichersysteme wie Power-to-Gas ausbauen, um Einfluss auf die Struktur des Energiesystems nehmen und die Versorgungssicherheit weiter ausbauen zu können

- **Effiziente Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energieträger:**

Die bedeutenden zentralen energiepolitischen Weichenstellungen zur weiteren Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energieträger in Österreich verlangt zum einen eine verstärkte Ressourceneffizienz und zum anderen auch eine verstärkte Anhebung erneuerbarer Kraftstoffe – beide Anstrengungen können simultan durch die Implementierung von Power-to-Gas-Anlagen unterstützt werden

- **Sicherung der Stromnetzstabilität durch dezentrale Energiespeicher:**

Die Prognosen zur Entwicklung des Ausbaus der österreichischen Stromproduktion zeigen für v.a. für Ostösterreich weiterhin stark steigende Anteile der volatilen Produktion durch neue Windkraftanlagen. Dezentrale Speichersysteme wie Power-to-Gas können das Lastmanagement des Stromnetzes signifikant unterstützen, Power-to-Gas-Anlagen können zudem den Energietransport zum Gasnetz verlagern, wodurch der Stromnetzausbau reduziert werden kann, wodurch soziale/soziodemografische Probleme verringert werden.

Das System bzw. die Technologie Power-to-Gas ist als relativ komplex hinsichtlich Betrieb und Anwendung einzustufen. Die Weiterentwicklung des Power-to-Gas-Systems in Österreich durch Forschung und Entwicklung ist somit essentiell zur Realisierung der positiven Systemnutzen und zur Abdeckung der Notwendigkeit des Ausbaus, da ein singulärer Know-how-Transfer nach Österreich aus anderen Regionen aufgrund der Komplexität der Anlagen einen unzureichenden Informationsstand bieten würde.

Die Realisierung des vorliegenden Konzeptes einer FTI-Roadmap für Power-to-Gas in Österreich beinhaltet neben der Einbringung des Know-hows des Auftragnehmers Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz vor allem auch die Integration der Ergebnisse zweier ExpertInnenworkshops mit VertreterInnen österreichischer wissenschaftlicher Institutionen sowie österreichischer Unternehmen, die bereits im Themenfeld Power-to-Gas Forschung und Entwicklung betreiben.

Im Kontext Power-to-Gas ist für die zukünftige Forschung und Entwicklung in Österreich sowohl die **technologische** als auch die **systemische Perspektive**<sup>130</sup> von immanenter Bedeutung. Beide Dimensionen sind entsprechend zu forcieren. Die Unterteilung in systemische und technologische Fragestellungen wird in der vorliegenden Roadmap somit für die Vision, für die Herausforderungen sowie für den Handlungsbedarf und die daraus abgeleiteten FTI-Instrumente durchgeführt.

Die Weiterentwicklung des Systems Power-to-Gas ist hierbei auch im Kontext der **Vision für das gesamte Energiesystem** für das Jahr 2030 zu betrachten, die von den in den Workshops involvierten ExpertInnen gemeinsam definiert wurde. Die folgende Tabelle fasst diese Vision zusammen. Zusätzlich wurde auch die **Vision für die Technologie Power-to-Gas** für das Jahr 2030 definiert. Diese Vision soll auch mit der FTI-Roadmap verfolgt und letztendlich realisiert werden.

**Tabelle 6: Vision von Power-to-Gas in Österreich aus technologischer und systemischer Perspektive bis 2030.**

... aus der Perspektive des gesamten Energiesystems bis zum Jahr 2030	... aus der Perspektive der Technologie an sich bis zum Jahr 2030
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hoher Anteil (&gt;50 %) erneuerbarer Energie im Energiesystem</li> <li>• Starke Verschränkung der Energienetze</li> <li>• Dezentrale und zentrale Erzeugung und Speicherung von Energie</li> <li>• Verwendung der Energieträger für unterschiedliche Anwendungen im System (Strom /Wärme /Mobilität)</li> <li>• Hocheffizientes Gesamtsystem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effiziente und flexibel fahrbare Elektrolysesysteme</li> <li>• Signifikante Kostendegression über die gesamte Prozesskette</li> <li>• Weiterentwicklung &amp; Aufbau der Gasspeicher- und Transportinfrastruktur</li> <li>• Chemische Speicherung elektrischer Energie als zentrale Anwendung</li> <li>• Entwicklung von Informations- und Kommunikationssystemen (IKT) für vernetzte Systeme</li> <li>• Weiterentwickelte Materialien</li> </ul>

Quelle: Energieinstitut an der JKU Linz

Die Technologie bzw. das System Power-to-Gas kann im Fall einer Umsetzung der Vision für Power-to-Gas durch die Weiterverfolgung in Forschung und Entwicklung ein wichtiger Baustein zur Erreichung der Vision für das gesamte Energiesystem darstellen. Aktuell existiert im Energiesystem eine überschaubare Anzahl an implementierten Speicherformen für elektrische Energie. Die einzige großvolumig verfügbare Speichertechnologie, die dem Energiesystem neben Flexibilisierungsoptionen wie Lastmanagement voll ausgereift für die Speicherung von elektrischer Energie zur Verfügung steht, ist aktuell das

<sup>130</sup> Definition von „systemisch“ im vorliegenden Kontext: Untersuchungen, Konzepte, Analysen, die optimale Einbindungen von Technologien in das Energiesystem unter Heranziehung von technoökonomischen, sozioökonomischen, soziotechnischen und rechtlichen Methoden im Fokus haben. Als Konsequenz steht nicht die (Weiter-)Entwicklung der reinen technologischen Komponente im Vordergrund.

Pumpspeicherkraftwerk. Neben allen Vorteilen, die diese Technologie beinhaltet, sind Pumpspeicherkraftwerke auch mit Restriktionen wie der Abhängigkeit von topografischen Gegebenheiten konfrontiert. Auch aus diesem Grund ist es notwendig, alternative Speichertechnologien weiterzuentwickeln, um aus der Diversifizierung heraus auch spezifische Technologien mit ihren Vorteilen für verschiedene Systemaufgaben zu nutzen.

Das System Power-to-Gas weist spezifische Vorteile gegenüber anderen Speichertechnologien auf. Hierbei sind hinsichtlich der Speicherfunktionalität folgende Parameter zu nennen:

- Langzeitspeicherfunktion von (elektrischer) Energie
- Fähigkeit zur Speicherung enormer Energiekapazitäten im bestehenden Gasspeichersystem bzw. Gasnetzsystem

Power-to-Gas-Anlagen können zudem noch andere wichtige Systemfunktionen bereitstellen, zusätzlich zu ihrer Speicherfunktion. Hierbei sind insbesondere folgende Anwendungs- bzw. Nutzenkategorien anzuführen:

- Möglichkeit zur Verlagerung des Transports vom Strom- zum Gasnetz; Reduktion des Infrastrukturausbaus
- Produktion eines erneuerbaren Produktes für den Mobilitäts-, Wärme-, Strom- und/oder Speichermarkt ohne Flächenkonkurrenz zu biogenen Rohstoffen
- Möglichkeit des Aufbaus autarker Energiesysteme (etwa in topografisch abgelegenen Regionen) sowie von back-up-Systemen zur Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit
- Erhöhung der Primärenergieeffizienz durch Nutzung alternativ abgeschalteter elektrischer Energie aus volatilen Produktionen sowie durch Einbindung von Kohlendioxid zur Produktion von synthetischem Methan

Für eine ausführliche Erläuterung der technologischen, energetischen, ökonomischen, systemischen und ökologischen Eigenschaften sei an dieser Stelle auf die Literatur verwiesen, etwa auf Steinmüller, Tichler, Reiter et. al (2014), wo eine umfassende Analyse des Systems Power-to-Gas durchgeführt wird.

Aktuell befindet sich Power-to-Gas in einem Technologiestadium, das noch keine betriebswirtschaftliche Marktreife beinhaltet sowie noch technologische Verbesserungen ermöglicht. Es ist somit von zentraler Bedeutung, in diesem Zusammenhang die größten **Herausforderungen** zu identifizieren, um darauf aufbauend auch den Handlungsbedarf für Österreich zu setzen. In den Analysen und ExpertInnendiskussionen wurde ersichtlich, dass signifikante Herausforderungen vor allem auch in der Systementwicklung und somit aus ökonomischer, rechtlicher sowie organisatorischer Perspektive existieren, die in folgender Tabelle getrennt von den technologischen Herausforderungen aufgeschlüsselt werden.

Tabelle 7: Herausforderungen von Power-to-Gas aus systemischer und technologischer Sicht.

... aus systemischer Sicht	... aus technologischer Sicht
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Steigerung der Kostendegression und der Wirtschaftlichkeit durch Systemoptimierung</li> <li>• Schaffung neuer Finanzierungsmöglichkeiten &amp; Fördersysteme</li> <li>• Umsetzung von Demoprojekten in Österreich</li> <li>• Identifikation von relevanten Playern/Akteuren</li> <li>• Forcierung von Human Resources und Bewusstseinsbildung</li> <li>• Schärfung der strategischen Ausrichtung (von Forschungsförderungsprogrammen) zur Weiterentwicklung der Technologie</li> <li>• Adäquate Infrastruktur für Transport und Speicherung der Energieträger</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forcierung der Materialforschung</li> <li>• Forcierung der Elektrolyseforschung</li> <li>• Weiterentwicklung des Methanisierungsprozesses</li> <li>• Weiterentwicklung der technologischen Lernkurven und der Skaleneffekte</li> <li>• Weiterentwicklung von Power-to-Liquids</li> </ul>

Quelle: Energieinstitut an der JKU Linz

Aufbauend auf den identifizierten Herausforderungen, wird der zentrale **Handlungsbedarf** zur Weiterentwicklung von Power-to-Gas in Österreich abgeleitet. Vor allem in diesem Kontext ist auf die Kapitel 4-6 zu verweisen, die jeweils den spezifischen Handlungsbedarf genauer definieren.

Um in bestimmten Segmenten entscheidende Weiterentwicklungen des Systems Power-to-Gas zu realisieren und um Top-Innovationen zu entwickeln, bedarf es der **Errichtung von Power-to-Gas Anlagen in Österreich**. Zwar bestehen vor allem auch in Deutschland bereits einige Pilotanlagen und Demonstrationsprojekte, jedoch ist die weitere Entwicklung des Systems und der Technologien auch stark standortabhängig sowie stark abhängig von den spezifischen Betriebsweisen und Anwendungsstrategien bzw. Einsatzkonzepten, sodass entscheidende Entwicklungen nur mit eigenen Anlagen in Form von Demonstrationsprojekten oder in Form von Pilotanlagen realisiert werden können. Der Schwerpunkt der Demonstrations- und Pilotprojekte sollte dabei in Österreich auf systemischen Fragestellungen liegen – dies beinhaltet neben Betriebsweisen und Anwendungsstrategien bzw. Einsatzkonzepten vor allem auch das optimale Zusammenspiel von Technologiekomponenten.

Die Umsetzung und Realisierung von Power-to-Gas Anlagen in Österreich wird neben der Notwendigkeit der Weiterentwicklung von technologischen Komponenten aktuell laut ExpertInnenmeinung auch zentral durch Fragen der Wirtschaftlichkeit verzögert. Bedeutend ist somit eine **Forcierung der ökonomischen und systemischen Forschung zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit**. Eine aus Österreich auch beeinflussbare und sehr signifikante Kostendegression kann durch die Optimierung der Betriebsweisen sowie der Optimierung der Standort-spezifischen Auslegungen der Anlagen erreicht werden – eine Forcierung der **optimalen Integration in das übergeordnete Energiesystem** ist zwingend

notwendig. Es besteht demnach in Österreich vor allem – im kurz- und mittelfristigen Kontext - Handlungsbedarf hinsichtlich Kostendegressionen.

Die Wirtschaftlichkeit des Systems hängt auch primär von den Herstellungskosten der Technologiekomponenten, insbesondere der Elektrolysestacks sowie der Methanisierungsmodule, ab. Je nach Anwendungsfeld von Power-to-Gas werden unterschiedliche Komponenten mit verschiedener technologischer Reife benötigt. Die Hauptkomponente des Elektrolyseurs steht vor der Herausforderung eines besseren Start-up Verhaltens, schnellerer Reaktion auf Laständerungen und höheren Wasserstoffqualitäten bei dynamischer Betriebsweise.

Um die Power-to-Gas Technologie auch wirtschaftlich attraktiv zu machen, müssen die derzeit hohen Investitionskosten für Elektrolyseure deutlich gesenkt werden. Der Schwerpunkt von Forschung und Entwicklung liegt aus nationaler Perspektive im Bereich der eigentlichen Technologieforschung etwa in der intelligenten **Konfiguration und Verschaltung und Systemintegration durch IKT** für vernetzte Energiesysteme. Dies ist auch deshalb bedeutend, da die Technologieentwicklung mit Ausnahme der SOEC (Hochdruckelektrolyse) nicht in österreichischer Kompetenz sondern extern am internationalen Markt realisiert wird. Eine österreichische Beteiligung an der Forschung von fundamentalen Technologie-komponenten ist im Moment ausschließlich durch Grundlagenforschung (siehe hierzu v.a. Materialforschung) gegeben und somit nur langfristig vorstellbar.

Die in Österreich ansässige **Materialforschung** kann allerdings als Schlüsseldisziplin zur Optimierung der erforderlichen Verfahren hinsichtlich Effizienz, Temperatur, Laufzeiten etc. eingeschätzt werden. Mit bestehenden Materialien können die erforderlichen Elektrolysekapazitäten nicht in großem Maßstab angeboten werden, die Herausforderung in diesem Bereich liegt in der Erhöhung der Betriebstemperatur bei gleichzeitiger Verringerung der Degradation von möglichst kostengünstigen Materialien. Um beispielsweise die Überspannungsverluste auf der Wasserstoff- sowie der Sauerstoffseite weiter zu verringern sind Entwicklungen bei Elektroden (Vergrößerung aktiver Oberfläche, Verbesserung katalytischer Eigenschaften,...) gefordert. Bei der Entwicklung neuer edelmetallfreier Katalysatoren oder verbesserter Membranen sind geringere Dicken gleichzusetzen mit geringerem elektrischen Widerstand und damit geringeren Verlusten. Die Stack-Materialien bedürfen einer verbesserten Korrosionsbeständigkeit bei höheren Temperaturen, Drücken und chemischer Beanspruchung. Begleitend ist dazu eine Untersuchung und Interpretation der Materialbeanspruchung durch häufige An- und Abfahrzyklen gefordert. Für den Bereich der Produktanwendung gibt es vor allem zur Wasserstoffsicherheit Fragen und Lücken in der Wissensbasis (z.B. Versagensmechanismus von Verbundmaterialtanks und anwendbare Sicherheitsfaktoren, Spannungsrisskorrosion, Materialverträglichkeiten, Messsysteme) die eine Herausforderung für die Materialforschung darstellen. Betreffend der zeitlichen Perspektive sind die Anstrengungen in der Materialforschung langfristig und konsequent zu verfolgen um ihr gesamtes Potential auszuschöpfen und massenfertigungstaugliche Produkte- und Produktionstechniken zu erreichen.

Sowohl für eine mögliche nachgeschaltete Methansynthese als auch für die Erzeugung von Synthesegas als Grundbaustein flüssiger Kohlenwasserstoffe (Power-to-Liquids) wird Kohlendioxid benötigt, wobei für alle verfügbaren Abtrennungstechnologien Effizienzsteigerungen anzustreben sind. Für Österreich können bei der elektrochemischen Herstellung oder im Bereich der Direktreduktion von Wasserstoff und Kohlendioxid langfristig bestehende Initiativen in der Grundlagenforschung ausgebaut werden. Für den Bereich der Forcierung von F&E zur Weiterentwicklung der Methanisierung besteht neben der Erzielung maximaler Konversionseffizienzen auch Handlungsbedarf hinsichtlich Wärmemanagement und Katalysatorstabilität.

**Tabelle 8: FTI-Handlungsfelder für Power-to-Gas-Systeme in Österreich**

... im Bereich Systemintegration und –entwicklung:	... im Bereich einzelner Technologiekomponenten
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Umsetzung von Demonstrations- und Pilotprojekten in Österreich</b></li> <li>• <b>Umsetzung von ökonomischer und systemischer Forschung für optimale Anwendungsstrategien zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit</b></li> <li>• <b>Durchführung von Analysen zur optimalen Systemintegration (Power-to-Gas in das Energiesystem)</b></li> <li>• Entwicklung neuer Finanzierungsformen</li> <li>• <b>Schärfung und Erweiterung bestehender strategischer Programme, Schaffung neuer Instrumente/Programme</b></li> <li>• Intensivierung strategischer &amp; transnationaler und nationaler Kooperationen</li> <li>• Schaffung von Weiterbildungsangeboten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Implementierung von intelligenten Konfigurationen und Verschaltungen der Anlagen (v.a. im Elektrolysebereich)</b></li> <li>• Stärkung der Hochdruckelektrolyseforschung</li> <li>• Intensivierung von F&amp;E zur Weiterentwicklung der Methanisierung</li> <li>• Materialforschung entlang der gesamten Prozesskette</li> <li>• Weiterentwicklung Power-to-Liquids</li> </ul>

Quelle: *Energieinstitut an der JKU Linz*

Hinsichtlich der Ausgestaltung der FTI-Fördersysteme im Bereich der Technologie Power-to-Gas wird ein **Instrumentenmix** von Grundlagenforschung, Industrieller Forschung, Experimenteller Entwicklung sowie Demonstrations- und Pilotprojekten als notwendig eingestuft, die durch entsprechende Begleitmaßnahmen (z.B. Aus- und Weiterbildung, Standards und Zertifizierung, regulatorische Maßnahmen, etc.) abgerundet werden.

Um in bestimmten Segmenten entscheidende Weiterentwicklungen des Systems Power-to-Gas zu realisieren und um Top-Innovationen zu entwickeln, wurde als Handlungsbedarf wie erwähnt die Errichtung von Power-to-Gas Anlagen in Österreich identifiziert. Nach Kenntnisstand der WorkshopteilnehmerInnen und Autoren ist derzeit die Verfügbarkeit von Förderinstrumenten für derartige Vorhaben in der österreichischen Forschungslandschaft eingeschränkt. Bisherige Initiativen wurden in der Regel über die Forschungsförderung als Sach- und Materialkosten realisiert, wobei bei einer Nutzung nach Ablauf des Förderzeitraums die anteiligen Kosten für die Abschreibung gefördert werden. Von den WorkshopteilnehmerInnen wurden in diesem Zusammenhang eine längerfristige Entwicklungsmöglichkeiten unabhängig von einem spezifischen Programm gewünscht bzw.

als sinnvoll eingestuft. In Deutschland steht beispielsweise das BMUB-Umweltinnovationsprogramm zur Förderung von Anlagen und Verfahren mit technischem Demonstrationscharakter über Investitionszuschüsse oder Darlehen zur Verfügung.

Aufgrund der derzeitigen gegebenen hohen Kosten der Systemkomponenten Power-to-Gas ist die Realisierung von Funktion und Nutzen an Förderungen gebunden, um die notwendigen Anreizeffekte für Unternehmen zu liefern, in die Weiterentwicklung und Implementierung verstärkt einzusteigen und das längerfristige Potential zu nutzen. Die Europäische Kommission vertritt in diesem Zusammenhang die Auffassung, dass bei Vorhaben von gemeinsamem Interesse im Sinne der EU-Verordnung Nr. 347/2013<sup>131</sup> bei intelligenten Stromnetzen und bei Infrastrukturinvestitionen in Fördergebieten das Marktversagen - im Hinblick auf positive externe Effekte und Koordinierungsprobleme - derart gelagert ist, dass eine Tariffinanzierung möglicherweise nicht ausreicht und somit auch staatliche Beihilfen gewährt werden können. Dabei ist die Angemessenheit einer Beihilfe ein wesentliches Kriterium, wobei aufgrund der Anwendungsvielfalt die Festlegung auf LCOE – levelized cost of producing energy (Gestehungskosten der Technologie versus Marktpreis) für Power-to-Gas schwierig ist. Es sei an dieser Stelle auf die Literatur verwiesen werden, etwa auf Steinmüller, Tichler, Reiter et. al (2014), wo eine umfassende quantitative ökonomische Bewertung des Systems Power-to-Gas durchgeführt wurde.

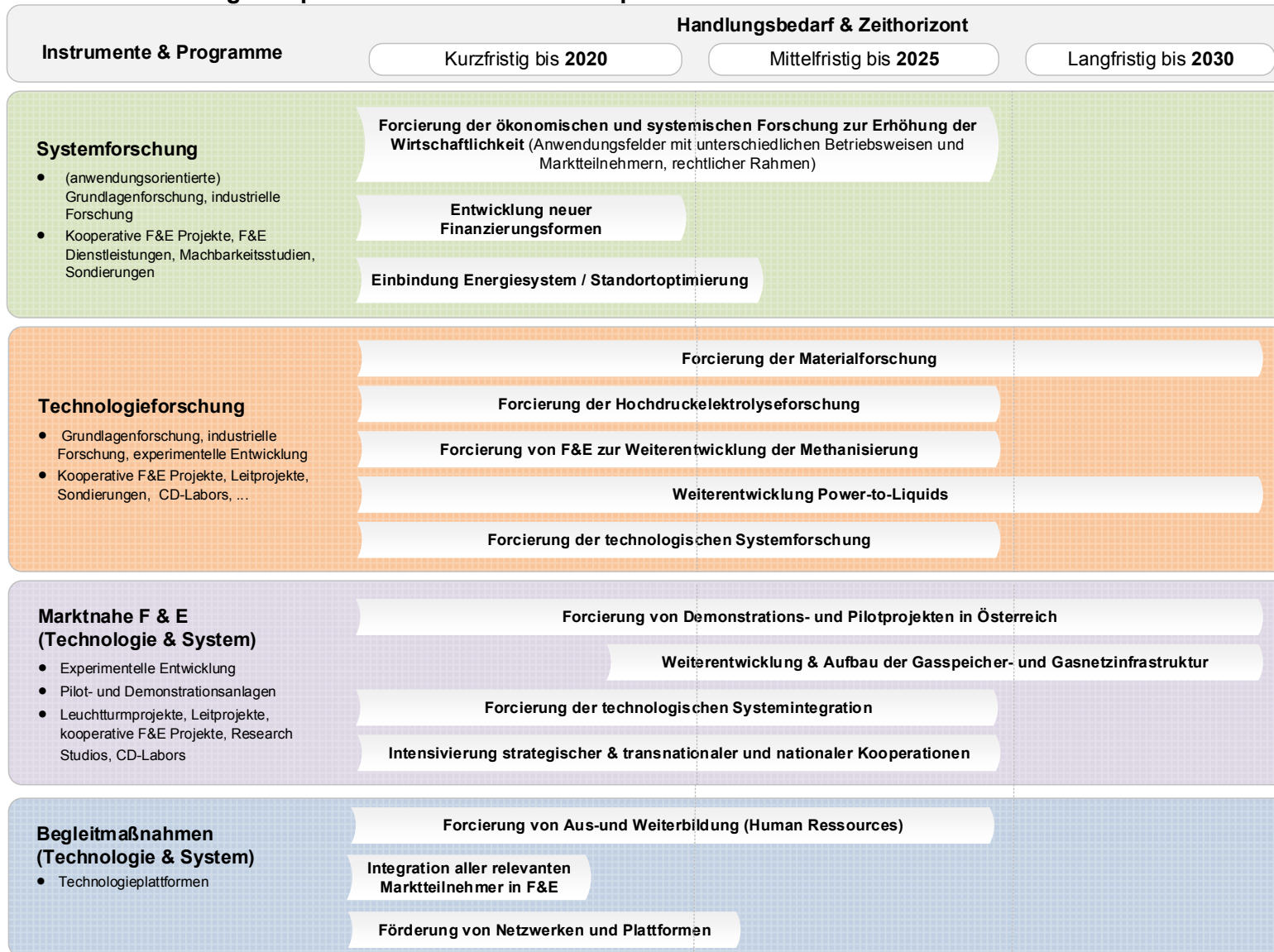
Eine generelle Problemstellung in der aktuellen österreichischen Förderlandschaft ist das Fehlen von nationalen Energieforschungsprogrammen, die prioritär die Systemforschung im Sinne einer integrierten ökonomischen, systemischen aber auch rechtlichen Forschung im Zentrum haben. Dies wird auch im Kontext der Forschung und Entwicklung im Bereich Power-to-Gas ersichtlich. Beim Fokus der Forschungsförderungsprogramme ist verstärkt auch auf die unterschiedlichen Thematiken und Disziplinen bei der Analyse und Bewertung von Systemen und Technologien aber auch auf das Zusammenspiel verschiedener Technologien und deren Integration in das gesamte Energiesystem Rücksicht zu nehmen – so ist auch die systemische, ökonomische und rechtliche Forschung als fundamentaler Baustein für Power-to-Gas einzuordnen. Hierzu bedarf es auch einer **Erweiterung bestehender Forschungsprogramme**, da für den mehrfach aufgezeigten Bedarf an **Systemforschung** im Sinne einer integrierten ökonomischen, systemischen aber auch rechtlichen Forschung auf nationaler Ebene kein adäquates nationales Förderprogramm vorhanden ist, das diese Fragestellung in den Fokus rückt.

Die folgende Abbildung veranschaulicht die FTI-Roadmap mit einer Einschätzung des zeitlichen Handlungsbedarfs der spezifischen Forschungs- und Entwicklungs- und Innovationslinien.

---

<sup>131</sup> Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union (2013) Leitlinien für die transeuropäische Energieinfrastruktur, Verordnung Nr. 347/2013 vom 17.04.2013, Amtsblatt der Europäischen Union L115/39 vom 24.4.2013.

Zeitliche Umsetzung Fahrplan bis 2030 – FTI-Roadmap Power-to-Gas für Österreich



Quelle: Energieinstitut an der JKU Linz



Aufbauend auf den voranstehenden Analysen für die verschiedenen Dimensionen der FTI-Roadmap für Power-to-Gas werden im Sinne einer kurz- und mittelfristigen Perspektive folgende Vorschläge für konkrete Projekte und Ausschreibungen gelistet:

### **Power-to-Gas-Projekte als F&E-Dienstleistungen:**

- Vergleich der relevanten Rechtsmaterien für Power-to-Gas in Deutschland und Österreich und rechtliche sowie volkswirtschaftliche Analyse einer Transformation der deutschen Adaptierungen nach Österreich
- Ökonomische Analyse optimaler Betriebsweisen von Power-to-Gas-Anlagen auf Basis von idealen Kombinationen unterschiedlicher Anwendungsfelder an österreichischen Standorten
- Rechtliche Analyse der Verwendung von Kohlendioxid aus fossilen Quellen für Power-to-Gas-Anlagen in Österreich im Kontext von Carbon Capture and Utilization

### **Weitere inhaltliche Schwerpunkte in Ausschreibungen im Bereich Energieforschung:**

- Integration von Power-to-Gas-Anlagen in bestehende Energienetze zur Weiterentwicklung der zukünftigen Energieversorgung von Ballungsräumen (*Sondierung, Industrielle Forschung*)
- Technoökonomische Simulation von Power-to-Gas-Anlagen in Softwareprogrammen für singuläre Energienetze zur Abbildung von Hybridnetzen (*Industrielle Forschung, experimentelle Entwicklung*)
- Materialforschung für neue Katalysatoren im Segment Methanisierung (*Grundlagenforschung, Sondierung, Industrielle Forschung*)
- Materialforschung im Hochdruckelektrolysebereich (*Grundlagenforschung, Sondierung, Industrielle Forschung*)
- Entwicklung von höherwertigen Kohlenwasserstoffen zur Produktion von Power-to-Liquids (*Grundlagenforschung*)

### **Modellregion Power-to-Gas Österreich: Pilot- und Demonstrationsprojekte von Power-to-Gas-Systemen zur Schaffung eines virtuellen Forschungszentrums:**

Ausgehend von den beiden laufenden österreichischen Forschungsprojekten (Stand Herbst 2014) wind2hydrogen und Underground Sun.Storage (Projektkronyme), die jeweils eine Realisierung einer konkreten Power-to-Gas-Anwendung beinhalten, wird ein virtuelles Power-to-Gas-Zentrum in Österreich mit realer Umsetzung mit Pilot- und/oder Demonstrationscharakter vorgeschlagen. Dies könnte in einer eigenen Ausschreibung durch das bmvit und/oder den Klima- und Energiefonds erfolgen. Eine Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Projekten zur Generierung von Synergien sowie zur Stärkung der österreichischen Power-to-Gas-Forschung ist hierbei essentiell. Projekte für das virtuelle Forschungszentrum und somit für die Power-to-Gas-Modellregion sollten als Konsequenz die Vernetzung mit bestehenden Projekten per se beinhalten.

### **Innovation-Cluster Power-to-Gas**

Die Vernetzung und Integration aller relevanten spezifischen österreichischen Akteure zur optimalen Weiterentwicklung von Power-to-Gas lässt sich in einem formellen bzw. auch finanziell definierten Rahmen einfacher bewerkstelligen, sodass in der Folge die positiven Nutzenkomponenten von Power-to-Gas in Österreich in optimaler Ausprägung aber auch in einem zeiteffizienten Ablauf realisieren lassen. Hierbei bestünde die Möglichkeit, einen Innovationscluster im Sinne einer Technologieplattform zum Thema zu institutionalisieren, der in seiner Administration auf eine Basisfinanzierung zurückgreifen kann, sodass die Vernetzung effizient durchgeführt werden kann, wodurch sowohl Unternehmen als auch Forschungsinstitute und in der Folge durch die optimierte Weiterentwicklung auch das Gesamtsystem profitieren.

## Literaturverzeichnis

- Abbasi, T., Abbasi, S. (2001) Renewable Hydrogen: Prospects and Challenges. *Renew Sust Energy Rev* 2011; 15(6):3034-3040. DOI 10.1016/j.rser.2011.02.026
- Baciocchi R., Storti, G., Mazzotti, M. (2006) Process design and energy requirements for the capture of carbon dioxide from air, *Chemical Engineering and Processing* 45, pp. 1047–1058.
- Bacovsky D, Dallos M, Wörgetter M. (2010) Status of 2nd Generation Biofuels Demonstration Facilities in June 2010. Report to the IEA Bioenergy Task 39. <http://task39.org/files/2013/05/Status-of-2nd-gen-Biofuel-Demonstration-Facilities-IEA-Bioenergy-Task-39.pdf>, Zugriff am 10. März 2014
- Beck J, Johnson R, Naya T. (n.a.) Electrochemical conversion of Carbon Dioxide to Hydrocarbon Fuels. EME 580. [http://www.ems.psu.edu/~elsworth/courses/egee580/2010/Final%20Reports/co2\\_electrochem.pdf](http://www.ems.psu.edu/~elsworth/courses/egee580/2010/Final%20Reports/co2_electrochem.pdf), Zugriff am 10. März 2014
- Breyer CH, Rieke S, Sterner M, Schmid J. (2011) Hybrid PV-Wind-Renewable Methane Power Plants. European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany; 2011. [http://www.q-cells.com/uploads/tx\\_abdownloads/files/6CV.1.31\\_Breyer2011\\_HybPV-Wind-RPM-Plants\\_paper\\_PVSEC\\_preprint.pdf](http://www.q-cells.com/uploads/tx_abdownloads/files/6CV.1.31_Breyer2011_HybPV-Wind-RPM-Plants_paper_PVSEC_preprint.pdf), Zugriff am 17.12.2012
- Carmo M, Fritz DL, Mergel J, Stolten D. (2013) A comprehensive review on PEM water electrolysis. *International Journal of Hydrogen Energy* 2013. Doi: 10.1016/j.ijhydene.2013.01.151
- Cover, A., Hubbard, D., Jain, S., Shah, K., Koneru, P., Wong, E. (1985) Review of selected shift and methanation processes for SNG production, Kellogg Rust Synfuels Inc., Texas.
- DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (2012) Wo aus grünem Strom Wasserstoff wird. In: *Greenfacts*, 1/2012, Bonn. <http://wvgw.de/blaettern/greenfacts-2012-01/>, 05.11.2012.
- DVGW Innovationsoffensive Energiespeicherkonzepte
- Edwards PP, Kuznetsov VL, David WIF, Brandon NP. (2008) Hydrogen and fuel cells: Towards a sustainable energy future. *Energy Policy* 2008; 36:4356-4362.
- Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz GmbH. (2012) Technologiekonzept Power to Gas. Broschüre.
- European Commission (2008) Europe's climate change opportunity: 20-20 by 2020. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. COM(2008) 30 final.
- Gahleitner G. (2013) Hydrogen from renewable electricity: An international review of Power-to-Gas pilot plants for stationary applications. *International Journal of Hydrogen Energy* 38 (2013) 2039-2061.
- Gattrell, M., Gupta, N., Co, A. (2007) Electrochemical reduction of CO<sub>2</sub> to hydrocarbons to store renewable electrical energy and upgrade biogas. *Energy Conversion and Management* 48 (2007) 1255-1265. doi:10.1016/j.enconman.2006.09.019
- Graves, C., Ebbesen, S., Mogensen, M., Lackner, K. (2011) Sustainable hydrocarbon fuels by recycling CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O with renewable or nuclear energy. *Renew Sust Energy Rev* 2011; 15:1-23. DOI 10.1016/j.rser.2010.07.014

- Holladay, J., Hu, J., King, D., Wang, Y. (2009) An overview of hydrogen production technologies. *Catal Today* 2009; 139:244-260. DOI 10.1016/j.cattod.2008.08.039
- IEA – International Energy Agency (2010) Energy Technology Roadmaps. A Guide to development and implementation. Paris. Download unter:  
<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/name,3919,en.html> (letzter Abruf: 3. Oktober 2013).
- ISO 13686:1998 Natural gas – Quality designation. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- IPPC (2005) Carbon dioxide capture and storage. Cambridge University Press 2005.
- Lebensministerium [Hrsg.] (2012) Ressourceneffizienz Aktionsplan ( REAP ). Wegweiser zur Schonung natürlicher Ressourcen. Wien.
- Lee J-Y, Cha K-H, Lim T-W, Hur T. (2011) Eco-efficiency of H<sub>2</sub> and fuel cell buses. *Int J Hydrogen Energ* 2011; 36: 1754-1765.
- Li, B., Duan, Y., Luebke, D., Morreale, B. (2013) Advances in CO<sub>2</sub> capture technology: A patent review. *Appl Energ* 2013; 102: 1439 – 1447. DOI 10.1016/j.apenergy.2012.09.009.
- Ludwig Bölkow Systemtechnik (n.a.) Hydrogen Filling Stations Worldwide. <http://www.h2stations.org/>; Zugriff am 17.12.2012
- Maclay, J., Brouwer, J., Samuelsen, G. (2011) Experimental results for hybrid energy storage systems coupled to photovoltaic generation in residential applications. *Int J Hydrogen Energ* 36(19):12130-12140. doi:10.1016/j.ijhydene.2011.06.089
- Mediathek/RE\_Publikationen\_NOW/NOW-Studie-Wasserelektrolyse-2011.pdf, Zugriff am 17.12.2012
- Miles S, Gillie M. Benefits and Barriers of the Development of Renewable Hydrogen Systems in Remote and Island Communities. International Energy Agency, Hydrogen Implementing Agreement Task 18. <http://ieahia.org/pdfs/RemotelandBenefits.pdf>, Zugriff am 17.12.2012.
- Möhrle, M., Isenmann (Hrsg.) (2008) Technologie-Roadmapping. Zukunftsstrategien für Technologieunternehmen
- Müller, B., Müller, K., Teichmann, D., Arlt, W. (2011) Energiespeicherung mittels Methan und energietragenden Stoffen – ein thermodynamischer Vergleich. *Chemie Ingenieur Technik* 2011, 83, No. II, 2002-2013. DOI 10.1002/cite.201100113
- Mueller-Syring G, Henel M. (2011) Power-to-Gas: Konzepte, Kosten, Potenziale. DBI Fachforum: Energiespeicherungskonzepte und Wasserstoff, [http://www.dbi-gti.de/fileadmin/downloads/5\\_Veroeffentlichungen/Tagungen\\_Workshops/2011/H2-FF/07\\_Mueller-Syring\\_DBI\\_GUT.pdf](http://www.dbi-gti.de/fileadmin/downloads/5_Veroeffentlichungen/Tagungen_Workshops/2011/H2-FF/07_Mueller-Syring_DBI_GUT.pdf), Zugriff am 17. Dezember 2012
- Olah, G., Goeppert, A., Prakash, G. (2009) Chemical Recycling of Carbon Dioxide to Methanol and Dimethyl Ether: From greenhouse Gas to Renewable, Environmentally Carbon Neutral Fuels and Synthetic Hydrocarbons. *J.Org.Chem.* 2009, 74, 487-498. Doi:10.1021/jo801260f
- Pearson, R., Eisaman, M., Turner, J., Edwards, P., Jiang, Z., Kuznetsov, V., Littau, K., Di Marco L, Tylor, S. (2012) Energy Storage via Carbon-Neutral Fuels Made from CO<sub>2</sub>, Water and Renewable Energy. *Proceedings of the IEEE*, Vol.100 (2), 2012. doi:10.1109/JPROC.2011.2168369
- Pickard, W. (2013) Transporting the terajoules: Efficient energy distribution in a post-carbon world. *Energy Policy* (2013), <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.07.064i>.

Pieper Cornelius, Rubel Holger. (2010) Electricity Storage – Making Large-Scale Adoption of Wind and Solar Energies a Reality. The Boston Consulting Group,

Project homepage iC4 – Integrated Carbon Capture, Conversion and Cycling.

<http://www.ic4.tum.de/index.php?id=1235>, Zugriff am 17.12.2012

REN21. (2013) Renewables 2013 Global Status Report. Paris, REN21 Secretariat.

[http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2013/GSR2013\\_lowres.pdf](http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2013/GSR2013_lowres.pdf), Zugriff am 21.05.2012

Raman V. (2004) Hydrogen Production and Supply Infrastructure for Transportation – Discussion Paper; 2004. [http://www.c2es.org/docUploads/10-50\\_Raman.pdf](http://www.c2es.org/docUploads/10-50_Raman.pdf), Zugriff am 17.12.2012

Reiter, G., Lindorfer, J. (2013) Möglichkeiten der Integration von Power-to-Gas in das bestehende Energiesystem. In: Steinmüller H, Hauer A, Schneider F (Hrsg.) Jahrbuch Energiewirtschaft 2013. NWV Verlag, Wien 2013. ISBN 978-3-7083-0954-5

Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG.

Rieke S. (2011) Regenerative Vollversorgung – von der Vision zur Praxis. Hannover, [http://www.bee-ev.de/\\_downloads/bee/2011/HannoverMesse/20110404\\_HMI\\_SolarFuel\\_Rieke\\_Vollversorgung.pdf](http://www.bee-ev.de/_downloads/bee/2011/HannoverMesse/20110404_HMI_SolarFuel_Rieke_Vollversorgung.pdf), Zugriff am 17. Dezember 2012.

Rubin, E., Mantripragada, H., Marks, A., Versteeg, P., Kitchin, J. (2012) The outlook for improved carbon capture technology. Progress in Energy and Combustion Science 2012: 38, 630-671. Doi: 10.1016/j.pecs.2012.03.003

Ryckebosch, E., Drouillon, M., Vervaeren, H. (2011) Techniques for transformation of biogas to biomethane. Biomass and Bioenergy 2011: 35, 1633-1645. Doi: 10.1016/j.biombioe.2011.02.033

Smolinka, T., Günther, M., Garche, J. (2011) Stand und Entwicklungspotenzial der Wasserelektrolyse zur Herstellung von Wasserstoff aus regenerativen Energien. Kurzfassung NOW-Studie. Fraunhofer ISE, FCBAT: 2011. [http://www.now-gmbh.de/fileadmin/user\\_upload/RE-](http://www.now-gmbh.de/fileadmin/user_upload/RE-)

Steinmüller, H., Tichler, R., Reiter, G. et. al (2014) Power-to-Gas – eine Systemanalyse. Markt- und Technologiescouting und –analyse. Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz, TU Wien, MU Leoben, JKU Linz; im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft, Familie und Jugend.

Sterner, M., Jentsch, M., Holzhammer, U. (2011) Energiewirtschaftliche und ökologische Bewertung eines Windgas-Angebotes. Fraunhofer IWES 2011.

[http://michaelwenzl.de/wiki/\\_media/ee:greenpeace\\_energy\\_gutachten\\_windgas\\_fraunhofer\\_sterner.pdf](http://michaelwenzl.de/wiki/_media/ee:greenpeace_energy_gutachten_windgas_fraunhofer_sterner.pdf), Zugriff am 18.12.2012

Sterner, M. (2009) Bioenergy and renewable power methane in integrated 100% renewable energy systems. Dissertation, Kassel University.

Tichler, R. Gahleitner, G. (2012) „Power-to-Gas – Speichertechnologie für das Energiesystem der Zukunft“, Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz, Energie Info Ausgabe 09/2012 06.12.2012. Download unter:

<http://www.energyefficiency.at/index.php?menuid=18&downloadid=167&reporeid=13>

Tichler, R. (2013a) Volkswirtschaftliche Relevanz von Power-to-Gas für das zukünftige Energiesystem“. In: IEWT 2013, „Erneuerbare Energien: überforderte Energiemärkte?. Download unter: <http://www.energieinstitut-linz.at/index.php?menuid=60&reporeid=208>

Tichler, R. (2013b) Spezifische chemische Energiespeicher als volkswirtschaftlich relevanter Beitrag zur Energiewende.

Tichler, R., Gahleitner, G. (2012) Power-to-Gas – Speichertechnologie für das Energiesystem der Zukunft. Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz, Energie Info Ausgabe 09/2012 06.12.2012. Download unter: <http://www.energyefficiency.at/index.php?menuid=18&downloadid=167&reporeid=13>.

Trost, T., Horn, S., Jentsch, M., Sterner, M. (2012) Erneuerbares Methan: Analyse der CO<sub>2</sub>-Potenziale für Power-to-Gas Anlagen in Deutschland

Ulleberg O, Nakken T, Ete A. (2010) The wind/hydrogen demonstration system at Utsira in Norway: Evaluation of system performance using operational data and updated hydrogen energy system modeling tools. Int J Hydrogen Energ 2010; 35:1841-1852.

Ursua, A., Gandia, L., Sanchis, P. (2012) Hydrogen Production from water electrolysis: current status and future trends. Proceedings of the IEEE 2012; Vol. 100, No. 2: 410-426. DOI 10.1109/JPROC.2011.2156750

Zeng, K., Zhang, D. (2010) Recent progress in alkaline water electrolysis for hydrogen production and applications. Progress in Energy and Combustion Scienc 36 (2010): 307-326. DOI 10.1016/j.pecs.2009.11.002

*<http://www.powertogas.info/power-to-gas/interaktive-projektkarte.html>, Zugriff am 11. März 2014*

*<http://www.carbonrecycling.is/>, Zugriff am 11. März 2014*

*<http://www.airfuelsynthesis.com/>, Zugriff am 11. März 2014*

*<http://www.powertogas.info/power-to-gas/interaktive-projektkarte/co2rrect.html>, Zugriff am 11. März 2014*

*<http://www.sunfire.de/>, Zugriff am 11. März 2014*

*<http://de.wikipedia.org/wiki/Methanol>, Zugriff am 10. März 2014*

*<http://www.carbonrecycling.is/>, Zugriff am 10. März 2014*

## Anhang

### Anhang 1: Design des ExpertInnenworkshops mit wissenschaftlichen Institutionen

Abbildung 3 zeigt den Entwicklungsprozess von der Planung über die Vision hin zu einer FTI-Roadmap für Power-to-Gas-Technologien in Österreich. In einem ersten Schritt wurde der 1. Workshop vorbereitet und organisiert, der mit Expertinnen und Experten von wissenschaftlichen Institutionen am 30. Oktober 2013 im BMVIT durchgeführt wurde. Seitens des Auftragnehmers wurde dem Auftraggeber ein Vorschlag zu den Workshop-Teilnehmern unterbreitet. In Abstimmung zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer erfolgte die Festlegung (und Einladung) der Expertinnen und Experten für den Workshop.

Die übergeordneten Ziele des 1. Workshops mit den Expertinnen und Experten aus wissenschaftlichen Institutionen können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Entwicklung einer FTI-Roadmap für Power-to-Gas Systeme, die die Forschung, Entwicklung und Technologieinnovation von Power-to-Gas Systemen in Österreich fokussiert,
- den spezifischen Handlungsbedarf in den unterschiedlichen Segmenten (inkl. Mobilität) inkludiert und
- in Vorschlägen für entsprechende Förderprogramme und Maßnahmen resultiert.

Folgende Fragen standen im Mittelpunkt des Workshops mit insgesamt 18 Expertinnen und Experten aus dem Fachbereich Power-to Gas und Power-to-Liquid:

- 1. Überlegungen zu einer Vision/Ziel von Power-to-Gas als Ausgangspunkt für die Roadmap in Österreich**
- 2. Analyse der Herausforderungen und Problemstellungen**
  - a. Welche (zukünftigen) Herausforderungen und Probleme sind aus Ihrer Sicht im Kontext der Entwicklung und Erforschung der Technologie Power-to-Gas in Österreich gegeben?
  - b. Welche (zukünftige) Chancen und Potentiale sehen Sie im Kontext der Entwicklung und Erforschung der Technologie Power-to-Gas in Österreich?
- 3. Analyse des Handlungsbedarfs für mögliche FTI-Maßnahmen im Bereich der Technologie von Power-to-Gas inkl. Mobilität:**
  - c. Wo sind aus Ihrer Sicht auf Basis der Herausforderungen und Chancen Handlungsfelder im Bereich Forschung und Innovation für Power-to-Gas-Technologien und -Systeme zu verorten?
- 4. Ziel: „Roadmap Action“: Erarbeitung von Vorschlägen für FTI-Fördersysteme im Bereich der Technologie Power-to-Gas**

- d. Welche FTI-Instrumente (Grundlagenforschung, Industrielle Forschung, Experimentelle Entwicklung, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte) sind hier aus Ihrer Sicht notwendig?
- e. Sind hier auch Begleitmaßnahmen (z. B. Aus- und Weiterbildung, Standards und Zertifizierung, regulatorische Maßnahmen, Förderinstrumente etc.) erforderlich?

### **5. Priorisierung und Zeitplan für die Durchführung der FTI-Maßnahmen und Förderprogramme für Power-to-Gas-Systeme**

- f. Welche thematischen Schwerpunkte sind hinsichtlich der vorgeschlagenen FTI-Maßnahmen/Förderprogramme zu identifizieren?
- g. Welcher Zeitplan ist hinsichtlich der Durchführung der FTI-Maßnahmen/Fördersysteme kurz-, mittel- und langfristig zu setzen?

Der Output aus den diskutierten Punkten wurde zum Inhalt der Roadmap systematisch als Basis für den zweiten Workshop aufbereitet.

### Anhang 2: Design des ExpertInnenworkshops mit Unternehmen

Aufbauend auf den Ergebnissen des 1. Workshops wurden bereits die möglichen Inhalte für die FTI-Roadmap Power-to-Gas bearbeitet.

Nach einer Vorstellung des ersten Entwurfs der Roadmap (auf Basis des ExpertInnenworkshops mit wissenschaftlichen Institutionen) erfolgte die Diskussion der Inhalte und Änderungen/Ergänzungen der FTI-Roadmap betreffend:

- a. Ziele der Technologie von Power-to-Gas in Österreich
- b. Herausforderungen und Problemstellung hinsichtlich der Technologieentwicklung von PtG in Österreich
- c. Handlungsbedarf & Zeithorizont für FTI-Maßnahmen in Österreich
- d. Überlegungen und Vorschläge für zukünftige FTI-Fördersysteme

Als wesentlicher Outcome des Workshops wurde das ExpertInnen-Know-how von österreichischen Unternehmen in die FTI-Roadmap des bmvit zu Power-to-Gas in Österreich integriert.



### Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Prognostizierte installierte Leistung von Windkraft und Photovoltaik für ausgewählte Länder Europas bis zum Jahr 2025 .....	21
Abbildung 2: Vergleich des Platzbedarfs von Erdgasleitungen im Vergleich zu Stromleitungen beim Transport der gleichen Energiemenge .....	25
Abbildung 3: Darstellung des Systems Power-to-Gas mit der Erweiterung Power-to-Liquids	30
Abbildung 4: Überblick zu den Aktivitäten im Bereich der Power-to-Gas bzw. Power-to-Liquids in Österreich (Stand März 2014). .....	45
Abbildung 5: Prozess für die Entwicklung einer FTI-Roadmap für Power-to-Gas-Technologien in Österreich.....	48
Abbildung 6: F&E Handlungsbedarf im Bereich der System- und Technologieforschung zu Power-to-Gas in Österreich .....	73
Abbildung 7: F&E Handlungsbedarf in den jeweiligen Technologiefelder im Bereich Power-to-Gas – ROADMAP Action in Österreich .....	77
Abbildung 8: Zeitliche Umsetzung Fahrplan bis 2030 – FTI-Roadmap Power-to-Gas für Österreich .....	78

### Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kurz-, mittel- und langfristige Rahmenbedingungen der EU zu CO <sub>2</sub> , Erneuerbaren Energien, Energieeffizienz und eingesetzter Technologie .....	15
Tabelle 2: Typische Eigenschaften von alkalischen und PEM-Elektrolyseuren .....	32
Tabelle 3: Parameter der CO und CO <sub>2</sub> -Methanisierung.....	34
Tabelle 4: Effizienz einzelner Prozessschritte im Power-to-Gas System.....	39
Tabelle 5: Beihilfeintensitäten für Investitionsbeihilfen, ausgedrückt als Anteil an den beihilfefähigen Kosten .....	81
Tabelle 6: Vision von Power-to-Gas in Österreich aus technologischer und systemischer Perspektive bis 2030. ....	88
Tabelle 7: Herausforderungen von Power-to-Gas aus systemischer und technologischer Sicht.....	90
Tabelle 8: FTI-Handlungsfelder für Power-to-Gas-Systeme in Österreich.....	92