



DOSSIER:

Bedeutung von Wasserstoff in einem zukünftigen Energiesystem

Prof. Dr. Horst Steinmüller
Dr. Robert Tichler

Energieinstitut an der JKU Linz

Altenberger Straße 69, 4040 Linz

www.energieinstitut-linz.at / office@energieinstitut-linz.at / +43 732 2468 5656





Inhalt		
1	Einleitung	. 2
2	Wasserstoff im Energiesystem	. 2
3	Österreichische Aktivitäten	. 5
4	Markt- und Anwendungspotenzial	. 8
5	Zusammenfassung	. 9

1 Einleitung

Die letzten Jahre haben gezeigt, dass eine Umstellung des Wirtschaftssystems dringend notwendig sein wird, wobei die Energieversorgung eine wichtige Rolle spielen wird. Deshalb genießt Energieversorgung, die ökonomisch gangbar und sozial verträglich ist, in der europäischen Politik einen hohen Stellenwert. Diese Umstellung der europäischen Energieversorgung wird aus verschiedenen energetischen, sozialen, ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten notwendig.

Darüber hinaus haben die Vereinten Nationen im Pariser Abkommen Ziele für die Reduzierung von Treibhausgasen auf nationaler und internationaler Ebene festgelegt. Die Reduktion des CO₂-Ausstoßes stellt somit ein wesentliches europäisches und weltweites energiepolitisches Ziel dar. In Österreich muss der Rückgang bis 2030 um 40% und im Jahr 2050 mindestens 80% betragen. Die Bereitstellung erneuerbarer Energieträger gewinnt dadurch an Bedeutung; dies trifft in der deutschen Energiewende wegen seiner bisherigen Dominanz vor allem auf den Energieträger "Erneuerbaren Strom" zu. Da ein stetig wachsender Anteil der erneuerbaren Stromproduktion dezentral und volatil fluktuierend erfolgen wird, sind die zeitgerechte/zeitgleiche Nutzung, die Zwischenspeicherung und die Transportkapazität wesentliche Voraussetzungen einer erneuerbaren Stromproduktion.

Obwohl Österreichs Stromproduktion bereits heute durch einen hohen Anteil an Wasserkraft - der sich in Abhängigkeit von der Wetterlage um einen Anteil von ca. 60 % an der gesamten Stromproduktion bewegt - gekennzeichnet ist, wird es großer Anstrengungen bedürfen, auf die in der Klima und Energiestrategie Österreichs angepeilten 100 % Strom aus erneuerbaren Quellen im Jahr 2030 zu kommen.

2 Wasserstoff im Energiesystem

Ein wichtiger Ansatz für die Ausweitung der Erzeugung erneuerbarer Energien und die mögliche Substitution von Energieimporten in die Europäische Union ist die Förderung der Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff als Energieträger. Die Speicherung von Wasserstoff oder synthetischem Methan (hergestellt aus Wasserstoff und einer Kohlenstoffquelle, vorwiegend CO₂) gewinnt umso mehr an Bedeutung, wenn die Notwendigkeit einer Langzeitspeicherung über saisonale Zeiträume betrachtet wird.

Die Produktion von synthetischem Methan zeichnet sich zwar durch eine geringere Effizienz aus als der reine Wasserstoff-Pfad, ermöglicht jedoch eine uneingeschränkte Nutzung der vorhandenen Erdgasinfrastruktur und bietet eine ausgereifte Technologie- und Marktverfügbarkeit aller systemrelevanten Komponenten vom Speicher bis zum Endverbraucher. Dadurch können

insbesondere kurzfristig erhebliche Effekte erzielt werden. Die Erzeugung und Nutzung von Wasserstoff-basierten Energieträgern führt zu einem größeren Anteil erneuerbarer Energien, nicht nur im Strombereich, sondern auch im Transport- und Industriebereich, und trägt somit zur optimierten Nutzung der europäischen Erzeugungsanlagen bei.

Die folgende Abbildung zeigt die Vorteile eines auf Wasserstoff- und erneuerbarem Methan basierten Energiesystems in aller Kürze auf.

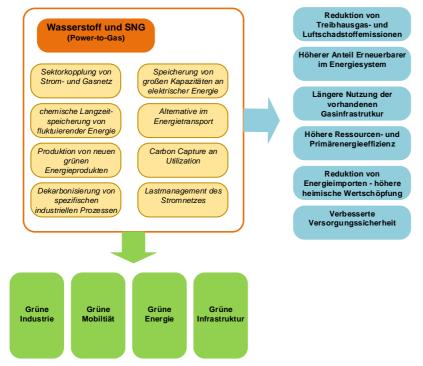


Abbildung 1: Vorteile eines Wasserstoff- und (erneuerbarem) Gas-basierten Energiesystems

Quelle: Energieinstitut an der JKU Linz

Grundsätzlich wird unter Power-to-Gas die chemische Speicherung von elektrischer Energie in Form von gasförmigen Stoffen wie Methan oder Wasserstoff verstanden. Die Power-to-Gas Technologie nutzt elektrische Energie, um Wasser durch die Elektrolyse in Wasserstoff und Sauerstoff zu trennen und somit den Energieträger Wasserstoff zu produzieren. In weiterer Folge kann der produzierte Wasserstoff durch unterschiedliche Methanisierungstechnologien mit einer Kohlenstoffquelle zu Methan umgewandelt werden.¹ Eine Übersicht des Power-to-Gas Systems mit den verschiedenen Erzeugungspfaden und den vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten für Wasserstoff und synthetischem Methan in den unterschiedlichen Sektoren wird in der folgenden Abbildung gegeben.

¹ Siehe dazu auch u.a. z.B. Lehner, M., Tichler, R., Steinmüller, H., Koppe., M. (2014) "Power-to-Gas: Technology and Business Models", Springer Verlag; und Tichler, R., Bauer, S. (2016) Power-to-Gas, In: Letcher, T. [Ed.] Storing Energy with Special Reference to Renewable Energy Sources, Elsevier, ISBN: 978-0-12-803440-8.

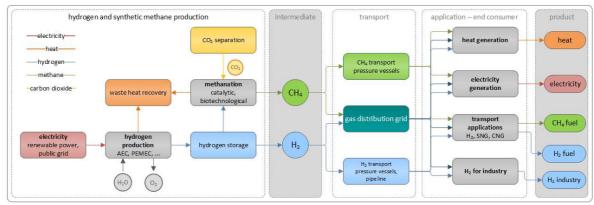


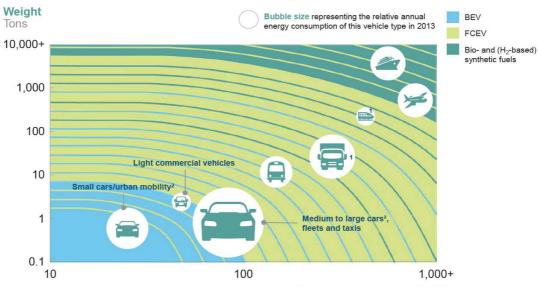
Abbildung 2: Power-to-Gas System inkl. Anwendungen in den unterschiedlichen Sektoren

Quelle: Energieinstitut an der JKU Linz

Versorgung aller Segmente durch erneuerbare Energieträger

Wasserstoff aus erneuerbaren Ressourcen kann somit als eine Schlüsselkomponente für den Ausbau der erneuerbaren Energieerzeugung zur Erreichung der Klimaziele und zur Verringerung der Abhängigkeit fossiler Energien angesehen werden. Der erneuerbare Wasserstoff und die daraus produzierten erneuerbaren Kohlenwasserstoffe wie Methan können also in allen Energiesegmenten genutzt werden:

O Grüne Mobilität: Die derzeitigen Antriebskonzepte - sowohl beim Gütertransport auf der Straße als auch im Individualverkehr - basieren fast ausnahmslos auf fossilen Rohstoffen. Die zukünftigen politischen Rahmenbedingungen lassen aber darauf schließen, dass es zu gravierenden Änderungen beim Einsatz der Energieträger kommen wird. Strom aus erneuerbaren Energiequellen weist bei Elektromobilen einen hohen Gesamtwirkungsgrad (Power to Wheel) von ca. 80 % entlang der Prozesskette auf. Jedoch sind die Hürden einer flächendeckenden Einführung u.a. wegen der begrenzten Reichweiten, der langen Betankungszeiten und des notwendigen Ausbaus des Stromnetzes und der Ladestrukturen gravierend.



Average mileage per day/trip

Abbildung 3: Erwartete Verteilung von Kraftstoffen in Abhängigkeit von Gewicht und Tageskilometer

Quelle: Hydrogen Council

Der Einsatz von H₂ oder CH₄ aus Power-to-Gas-Anlagen, wo diese Hürden in deutlich geringerem Maße auftreten, könnte trotz des geringeren Gesamtwirkungsgrades (ca. 50-75% %, je nach Anwendung) die Umstellung der Mobilität in Richtung eines nachhaltigen Verkehrssystems mit geringen oder keinen Emissionen deutlich beschleunigen. Wasserstoff und auch synthetisches Methan auf Wasserstoff-Basis können in Verbrennungskraftmaschinen und in Brennstoffzellen genutzt werden und weisen ein großes Potential zur Reduktion des Primärenergieeinsatzes, der Emission von Luftschadstoffen (z.B. NOx) und auch von Treibhausgasemissionen auf. Beim Einsatz von Methan kann darüber hinaus auf eine bestehende Infrastruktur, sowohl auf das Leitungsnetz als auch auf die Tankstellen, zurückgegriffen werden, was die höheren Kosten und den geringeren Wirkungsgrad gegenüber dem direkten Einsatz von Wasserstoff rechtfertigen kann. Diese Aussage gilt im Besonderen für LKW, Busse und den Schiffsverkehr.

- Grüne Industrie: Neben der energetischen Nutzung ist Wasserstoff auch als erneuerbare Ressource in der produzierenden Industrie ein signifikanter Energieträger für ein Greening des Systems, insbesondere auch als Reduktionsmittel in verschiedenen Prozessen. So kann er in Zukunft bei der Roheisenerzeugung (Gewinnung von Eisenschwamm) oder mittels Wasserstoffplasma eingesetzt werden. Bereits heute könnte unter bestimmten Bedingungen (im Fall einer fehlenden Erdgasleitung oder geringer Wasserstoffverbrauchsmengen) anstelle von Reformern, die zur Wasserstofferzeugung Erdgas verwenden, klimaneutral auf Wasserstoff aus Elektrolyseanlagen umgestellt werden. Ein weiterer Einsatz von Wasserstoff in der Industrie erfolgt bspw. bei der Herstellung von elektronischen Bestandteilen.
- O <u>Grüne Energie</u>: Wasserstoff und Methan aus Power-to-Gas-Anlagen können für den Aufbau von Hybridnetzen (Strom, Gas, Wärme) eine entscheidende Rolle spielen. Das Projekt Renewable Gasfield demonstriert diese Kopplung, indem Strom aus einer Photovoltaikanlage zu Wasserstoff umgewandelt wird, der über Trailer abgegeben ins Gasnetz eingespeist und für die Methanisierung von Biogas genutzt wird. Das Projekt Underground Sun Conversion (www.underground-sun-conversion.at), welches bereits seit 2017 läuft, zeigt die Möglichkeit der Untertage-Methanisierung während der Speicherung in Gas-Porenspeichern.
- Grüne Infrastruktur: die bestehende Gasinfrastruktur (Leitungen und Speicher) kann mit grüner Energie genutzt und ein Ausbau der Stromleitungsinfrastruktur teilweise vermieden werden. Darüber hinaus kann in entlegenen Gebieten ohne Zugang zum öffentlichen Strom- oder Gasnetz die Energieversorgung mit Dieselgeneratoren ersetzt werden. Auch kann Wasserstoff zur Speicherung elektrischer Energie aus dezentralen erneuerbaren Stromerzeugungsanlagen in Zeiten geringer Nachfrage dienen. H₂ wird dann bei hohem Strombedarf rückverstromt oder für Wärmebereitstellung bzw. als Kraftstoff für Mobilitätszwecke eingesetzt. Hierfür sind Weiterentwicklungen sowohl bei der Wasserstoffherstellung als auch bei der Verwertung in Brennstoffzellen notwendig. Im Projekt HYTECHBASIS wird daher auch ein neues Elektrolyseurkonzept mit neuem Stack entwickelt.

3 Österreichische Aktivitäten

Das Streben nach einer Dekarbonisierung des Energiesystems in Österreich muss als Chance gesehen werden, den entscheidenden Schub für Technologie-Leadership in Bezug auf innovative Energie- und Verkehrstechnologien durch die Anwendung und Implementierung ausgereifter Wasserstoff-Systeme zu erhalten. Auch die Weiterentwicklung entsprechender Dienstleistungsangebote wird dadurch ermöglicht. Österreich als zentrale Energiespeicherregion, als Knotenpunkt im Energietransport, als Volkswirtschaft mit starker Industrie und vielen Automobilzulieferunternehmen und als bedeutender Standort für erneuerbare Energieträger ist perfekt geeignet zur Demonstration der Umstellung des

Systems auf erneuerbaren Wasserstoff. Die exzellente Infrastruktur und modernste Forschung, gepaart mit dem großen Interesse von Unternehmen und Industrie, ermöglichen es, bestehende und neue internationale herausragende Forschungsprojekte durchzuführen, diese strategisch in einer Energiemodellregion zu koordinieren und bei österreichischen Unternehmen zu etablieren. Damit eignet sich Österreich hervorragend, um ein System zu demonstrieren, das die Umstellung auf grünen Wasserstoff veranschaulicht, die einen wesentlichen Bestandteil des Umwandlungsprozesses des Energiesystems darstellt, vor allem durch die Nutzung der vorhandenen Infrastruktur.

Die folgende Abbildung veranschaulicht eine auf Wasserstoff- und auf grünem Gas-basierte Energieinfrastruktur im zukünftigen Energiesystem:

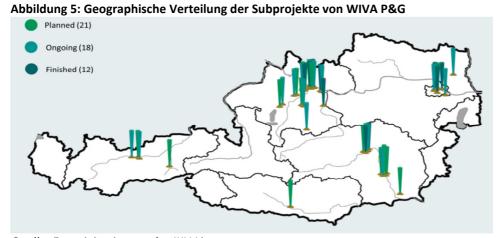
1 Smart City, 2 Prozessenergie in Industrie, 3 Windkraftwerk, 4 Energieautonome Landwirtschaft, 5 Kommunaler Speicher, 6 Mehrgeschossiger Wohnbau, 7 Gasnet, 8 Strommet, 9 Grüne Intralogiski, 10 Biogasaniage, 11 Mikaniagos, 11 Mikan

Abbildung 4: Wasserstoff- und (auf erneuerbarem) Gas-basierte Energieinfrastruktur im zukünftigen Energiesystem

Quelle: Energieinstitut an der JKU Linz

Aus den oben angeführten Gründen wurde auch die Energiemodellregion WIVA P&G entwickelt, die das Ziel verfolgt, die Umwandlung der österreichischen Volkswirtschaft in eine weitgehend CO₂-freie oder CO₂-neutrale Struktur mit einer notwendigen Transformation hin zu einem stark auf Wasserstoff basierenden und damit auch auf erneuerbaren Gasen basierenden Energiesystem zu demonstrieren. Grüner Wasserstoff ist die Schlüsselkomponente in diesem Prozess, wobei die Möglichkeiten für seine Herstellung und Lagerung, die chemische Umwandlung in Methan und andere Kohlenwasserstoffe, die jeweilige Verbrennung und Rückführung in Elektrizität analysiert, verwirklicht, verfeinert und auf verschiedene Weise demonstriert werden. Ein besonderer Vorteil der Energiemodellregion WIVA P&G ist darüber hinaus, dass österreichische Unternehmen die gesamte Wertschöpfungskette widerspiegeln.

Die Implementierung der Energiemodellregion WIVA P&G ist eine grundlegende Komponente für den Übergang des Energiesystems. Sie fördert und beschleunigt die Umstellung des österreichischen Energie- und Mobilitätssystems und der österreichischen Industrie auf nachwachsende Rohstoffe und ist ein entscheidender Eckpfeiler für die Dekarbonisierung.



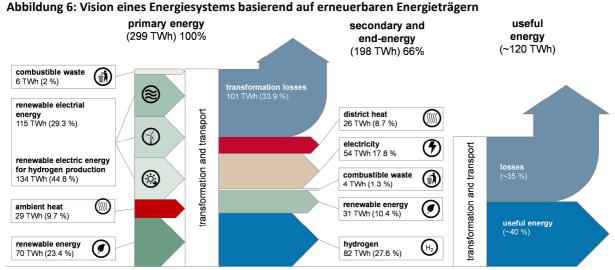
Quelle: Energieinstitut an der JKU Linz

Figure 1: Key findings of previous and current projects OptFuel: HydroMetha: • Fully Integrated system of CO-SOEC · Develop and optimize components and processes of a zero-emission biogas plant and catalytic meth **WIVA P&G** FCH media: Renewable Steel Gases: Complete process chains for the efficient nditioning and supply of medias for use of steel gases FC test rigs COMINREP: Innovation Developing a cost and energy efficient FC-REX for van-sized vehicles • Reduction of CO₂ during crude iron fields production Keytec4EV: • First 6 MWel PEM electrolyser system for Optimization methods and processes for the steel production fuel cell system components GREEN INDUSTRY Developing a hydrogen plasma technology for the steel production FC system for utility vehicles and selfled working machines EE-Methan aus CO2 HySnow Developing of a FC- and Ely-system to decarbonise winter tourism Developing of a chemical methanation process for the PtG process chain HIFAI-RSA: Testing and optimizing of FC-Recovering hydrogen from a mixture with components and FC-systems natural gas FCH REFuel: **Underground Sun Conversion:** Modular and cost-effective H₂ H₂ to CH₄ in a subsurface reservoir by GREEN MOBILITY infrastructure microorganisms E-LOG-Biofleet I + II: FTI-Roadmap PtG: Indoor refueling station and FC-REX- Status, vision and challenges concerning the PtG-technology system for industrial trucks COHRS: REG-STORE: Expansion of European's hydrogen grid Combination of electrochemical and by 20 refueling stations biotechnological proce PtG Systemanalyse: Schlattbauerngut I + II: Renewable PV energy for the usage in PtG market and technology scouting agriculture Demo4Grid: Autonomer Adler: Pressurized Alkaline Electrolyser for · Autonomous energy supply for single and grid balancing multi-family house STORE&GO: **Underground Sun-Storage:** Storage of hydrogen in a subsurface · Comparing PtG technologies wind2hydrogen: Batterlyser: Investigation a combined PtG - battery High pressure electrolysis in a PtG

Quelle: HyCentA Research GmbH

storage system

Trotz der vielen Vorteile eines wasserstoffbasierten Energiesystems gilt es festzuhalten, dass eine direkte Nutzung von Elektrizität in einer Vielzahl an Fällen bevorzugt wird. Es gibt jedoch Einschränkungen und Grenzen, die durch die Erzeugung von gasförmigen Energieträgern aufgehoben werden können. Die folgende Abbildung zeigt den Aufbau eines solchen Energiesystems im Jahr 2030.



Quelle: HyCentA Research GmbH

4 Markt- und Anwendungspotenzial

Unter der Annahme, dass die erforderlichen Systeme und Technologien aus wirtschaftlicher Sicht weiterentwickelt werden, ist der Einsatz von umweltfreundlichem Wasserstoff und regenerativem synthetischem Methan im Gassektor nur durch das Potenzial der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien begrenzt. Die Stromquellen müssen nicht ausschließlich schwankend sein - es kann und wird viel mehr elektrische Energie verwendet werden als nur "überschüssiger Strom". Eine weitere zentrale Anforderung ist, keine zusätzliche Belastung des Stromnetzes zu erzeugen, sondern zu einer Lastreduzierung beizutragen. Denkbar sind auch andere Kohlenstoffquellen wie Kohlenmonoxid oder langfristig eben auch ein Carbon Capture direkt aus der .Atmosphäre. Das langfristige theoretische Potenzial von Wasserstoff und grünem Gas in Österreich besteht aus folgenden Komponenten (ohne Berücksichtigung der reinen Speicherfunktion im Sinne einer Rückspeisung in Elektrizität):

- 1. Substitution der Nutzung fossiler Gase in den Bereichen Raumwärme, Prozesswärme, Mobilität durch grünes Gas
- 2. Substitution von Erdölderivaten, die als Rohstoffe für Chemieprodukte verwendet werden
- 3. Substitution von Kohle in industriellen Prozessen durch grünen Wasserstoff

Das theoretische Potenzial für Wasserstofftechnologien und -systeme ist daher enorm. Eine Berechnung des Energieinstituts an der JKU Linz zeigt, dass im gesamten Industriezweig der EU im Jahr 2050 insgesamt 5400 PJ des Endenergiebedarfs durch H₂ bereitgestellt werden könnten, was etwa 50% des Endenergiebedarfs entspricht. Hierbei ist es notwendig, für Österreich einen First-Mover-Vorteil für einen breiten Binnenmarkt zu schaffen und Exportpotenziale zu generieren.

An dieser Stelle soll auch noch auf die volkswirtschaftliche Begründung der öffentlichen Unterstützung von grünen gasförmigen Energieträgern im Sinne einer positiven Regulierung eingegangen werden: Die ökonomische Theorie bedingt für die Realisierung eines (Pareto)-optimalen Marktzustandes im Fall des Vorliegens einer Marktverzerrung eine Regulierung (die optimale Ausprägung und Ausgestaltung dieser Regulierung ist allerdings seit Jahrzehnten in Diskussion und nicht unabhängig von subjektiven Entscheidungen und Werthaltungen). Im Kontext des Energiemarktes ist eine öffentliche Förderung von erneuerbaren Ressourcen als Substitut zu Ressourcen mit höheren Treibhausgas- oder Luftschadstoffemissionen zu argumentieren, da diese negativen externen Effekte des Energieverbrauchs nicht über den Markt abgegolten werden. Sofern bereits öffentliche Eingriffe etwa von Energieabgaben vorliegen, ist die Ausprägung der bestehenden Regulierung zu integrieren.

Die Nationalökonomie leitet zudem aus signifikanten volkswirtschaftlichen Gesichtspunkten auch einen zweiten essentiellen Parameter als Begründung eines öffentlichen Eingriffs im Sinne einer Unterstützung bzw. Förderung von bestimmten Technologien und Produkten ab: Sofern damit eine signifikante Substitution von Importen in die Volkswirtschaft durch eigene Produktion substituiert werden kann, ist für die Erhöhung der heimischen Wertschöpfung eine Regulierung zu argumentieren. Dieser protektionistische Ansatz trifft etwa im Bereich der Energieversorgung unter Berücksichtigung des europäischen und internationalen Rechts auf Importe von Ressourcen zu.

Für grünes Gas aus Österreich treffen beide Argumentationsketten zu. Sofern ein Produkt oder eine Technologie mit einer der beiden erläuterten Situationen konfrontiert ist, lässt sich, sofern noch Entwicklungspotential vorliegt und noch keine Marktreife im Sinne einer Wettbewerbskompatibilität mit etablierten Technologien, Systemen und Ressourcen erzielt ist, eine öffentliche Unterstützung zur Weiterentwicklung ableiten. Für grünes Gas existieren in jeder spezifischen Ausprägung noch signifikante Lernraten, die eine öffentliche Förderung auf Basis der obigen Argumentation aufgrund der ökonomischen Theorie rechtfertigen. Unterstützt wird die Argumentation für die Förderung der öffentlichen Hand von grünem Gas mit der bereits finanzierten Infrastruktur, die bei einer Nicht-Nutzung enorme stranded investments verursachen würde, jedoch zugleich eben mit grünem Gas versorgt und weiter genützt werden kann.

5 Zusammenfassung

Ein zentraler Bestandteil der energiepolitischen Strategien sind Maßnahmen zur Ökologisierung des europäischen Energiesystems. Obwohl die Dekarbonisierung durch neue Technologien wie Wasserstoff oder synthetisches Methan, die aus Strom aus fluktuierenden erneuerbaren Quellen erzeugt werden, eine entscheidende Option für die Verringerung der Emissionen und die langfristige Nutzung der vorhandenen Gasinfrastruktur darstellen können, ist ihre Rolle im zukünftigen Energiesystem nach wie vor nicht prominent betrachtet.

Power-to-Gas-Technologien ermöglichen in Kombination mit optimierten Biogas-Systemen enorme grüne Potenziale, die in unser zukünftiges Energiesystem integriert werden, indem eine vorhandene Übertragungs-, Verteilungs- und Speicherinfrastruktur verwendet wird. Auch gilt es zu erwähnen, dass Ökologisierung der Gassysteme als verbleibende Chance für die langfristige Tragfähigkeit des europäischen Gassektors im Rahmen der Klima- und Energiepolitik angesehen wird.

"Greening the gas" durch Biogas, Wasserstoff sowie synthetisches Methan aus erneuerbaren Stromquellen, sowie durch Biomethan aus biogenen Reststoffen sind somit eine Hauptkomponente einer nachhaltigen Weiterentwicklung des Energiesystems und stärken im Sinne der Sektorkopplung auch fundamental die Weiterentwicklung eines integrierten Energiesystems. Denn Wasserstoff und die daraus gewonnen Kohlenwasserstoffe können in allen Wirtschaftssegmenten eingesetzt werden. Hervorzuheben ist der Mobilitätssektor, wobei besonders die Nutzung in LKW und Bussen sowie im Schiffsverkehr zu erwähnen ist. In diesen Bereichen hat die Brennstoffzelle aber auch mit synthetischem Diesel betriebe Verbrennungsmotoren durch die großen Reichweiten enorme Vorteile gegenüber der Batteriemobilität.

<u>Für den Inhalt verantwortlich</u>

Die Autoren tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieser Broschüre. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima und Energiefonds wider. Der Klima- und Energiefonds ist nicht für die Inhalte oder die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.