

# Wasserstoff aus Strom

Fakten	Eigenschaften	Bewertung	Chemische Zusammensetzung	Marktreife
	Aggregatzustand: gasförmig Dichte: 0,08–0,09 kg/m <sup>3</sup> Siedetemperatur: -252,8 °C Heizwert: 120 MJ/kg Energiedichte: 0,010–0,011 MJ/l		H <sub>2</sub>  H-H	
Herstellung	Quelle	Prozessschritte		Produkt
	Strom, H <sub>2</sub> O	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">Elektrolyse</div>		Wasserstoff
Anwendungen	Aktuell	In Zukunft		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Viele Pilotanlagen</b> in Deutschland</li> <li>• <u>Stoffliche Nutzung</u>: Zur Ammoniak-Produktion, in der (Petro-)Chemischen Industrie und Elektronikindustrie</li> <li>• <u>Energetische Nutzung</u>: Bisher nur im Verkehr (Kleinserien-Brennstoffzellen Fahrzeuge) aber &lt;1 % des produzierten Wasserstoffs</li> <li>• Die <b>Produktion</b> von regenerativem Wasserstoff <b>ist noch zu teuer</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es wird ein <b>Nachfrageanstieg</b> von Wasserstoff erwartet</li> <li>• Die Entwicklung wird durch relativ <b>hohe Produktionskosten</b> und einer <b>schlechten Infrastruktur</b> begrenzt</li> <li>• Energetische Nutzung: <b>Verkehr</b> (Brennstoffzellen) und <b>Wärme</b> (Beimischung ins Erdgasnetz &lt;10%, Erzeugung von Prozesswärme)</li> <li>• Als <b>Stromspeicher</b> und zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe nutzbar</li> <li>• <b>Förderung</b> des Baus von Wasserstofftankstellen in Deutschland</li> </ul>		

Quellen: /LUBW-01 07/, /FHS-01 14/, /GHFCA-01 16/, /FEAS-01 16/, /ÖKO-03 13/

Kriterium	Wasserstoff aus Strom	Quellen
Energiedichte	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dichte im flüssigen Zustand: 0,071 kg/l; Heizwert: 120 MJ/kg → <b>8,5 MJ/l</b></li> </ul>	/FHS-01 14/ /LUBW-01 07/
Technologie-Reifegrad	<ul style="list-style-type: none"> <li>In Brennstoffzellen eingesetzt, die erneuerbare Herstellung noch nicht kommerziell verfügbar;</li> <li>Power-to-Gas wird in über 20 Pilotanlagen getestet;</li> <li>Elektrolyse bis 1 MW, teilweise Versorgung von Wasserstoff-Tankstellen → Technologie wird in der relevanten Umgebung demonstriert; → <b>6</b></li> </ul>	/GHFCA-01 16/ /FEAS-01 16/ /DENA-02 17/
Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> <li>Beimischung zu Erdgas/Methan im einstelligen Prozentbereich ohne Anpassungen möglich;</li> <li>Extrem hohe Aufwendungen für Aufbau einer Infrastruktur (ca. 4 Mal so hoch wie andere EBS) inkl. Tankstellennetz, Speichersysteme: knapp 8 Mrd. Dollar für die USA;</li> <li>Zusätzlich aufwändiges Tanksystem und Brennstoffzellen in Autos;</li> </ul>	/DVGW-03 13/ /LUBW-01 07/ /UKHEN-01 00/ /SPR-04 12/ /FEAS-01 16/
Bereitstellung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Elektrolyse ist ein einfaches Verfahren mit heutigen Wirkungsgraden um die 70 - 75 % (AEL); PEMEL und Hochtemperaturelektrolyse auch möglich;</li> <li>Keine Anbauflächen nötig; im Gegensatz zu Methan auch keine CO<sub>2</sub>-Quelle nötig; Kein Rohstoffverbrauch (nur Wasserkreislauf);</li> <li>Theoretisches Mengenpotenzial sehr hoch aber Verfügbarkeit von überschüssigem Strom in Deutschland mittelfristig sehr begrenzt;</li> <li>Speicherung nötig (Druck, flüssig, chemisch);</li> <li>Keine Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion;</li> </ul>	/FVS-01 04/ /DENA-03 15/ /DVGW-03 14/ /GHFCA-01 16/ /FHS-01 14/ /SUNF-01 14/ /FEAS-01 16/
Gestehungskosten	<ul style="list-style-type: none"> <li>Heutzutage inkl. Strombezug minimal ca. <b>2,4 ct/MJ</b> bei optimaler Auslastung;</li> <li>Vergleich: H<sub>2</sub> aus Erdgas: ca. 0,6 - 1,2 ct/MJ;</li> <li>AEL: heutige Investitionskosten von 1000 €/kW, Reduzierung auf 500 €/kW möglich; PEMEL doppelt so hoch;</li> <li>Bis 2030 ca. 500€/kW<sub>el</sub>, inkl. Strombezugskosten minimal 1,9 ct/MJ;</li> <li>Gestehungskosten schwanken sehr stark und sind v. a. von Auslastung und Stromkosten abhängig;</li> <li>Produktion aus Strom voraussichtlich bis 2030 nicht wirtschaftlich</li> </ul>	/ET-14 14/ /SSE-01 10/
Zielvorgaben der Politik	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bis 2023 sollen 400 Wasserstoff Tankstellen in Deutschland verfügbar sein (Förderung des BMVI: 20 Mio. €);</li> <li>Ab 2018 jährlich 80 Mio. € des BMVI um Wasserstoff und Brennstoffzellen im Verkehr bis 2026 wettbewerbsfähig zu machen;</li> <li>In den USA haben sehr viele Staaten Programme zur Förderung von Wasserstoff und Brennstoffzellen (in Form von Krediten, Steuerbefreiungen, etc.);</li> <li>In anderen europäischen Ländern spielt Wasserstoff aus Strom in der Politik fast keine Rolle;</li> <li>Förderung Deutschland: 50 Mio. €/Jahr (ab 2018: 80 Mio. €/Jahr);</li> <li>Fördermittel der EU: 665 Mio. € für Wasserstoffforschung;</li> </ul>	/BREG-01 17/ /BMVI-03 16/ /FCHEA-01 14/ /WIE-01 15/ /BMW-03 17/

Marktpotenzial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aktuelle Wasserstoffproduktion weltweit: 5,4 EJ;</li> <li>• In allen Sektoren nutzbar (auch PW), Speicherung von Strom, stoffliche Nutzung auch von großer Bedeutung; bestehende Absatzmärkte;</li> <li>• Weltweit wird ein jährlicher Anstieg der Wasserstoffnachfrage von 5 - 7 % erwartet;</li> <li>• In deutschen Szenarien: Anteil im Erdgasnetz 2030: ca. 1 - 8 %, 2050: ca. 11 - 23 %;</li> <li>• Im Verkehr (Brennstoffzellen und Verbrennungsmotor möglich) aber Henne-Ei-Problem, Flugverkehr wohl kein Einsatz;</li> <li>• Viele sehen Wasserstoff als den dominanten Energieträger der Zukunft; Seit 40 Jahren wird mittelfristig ein Durchbruch prognostiziert;</li> <li>• Erst langfristig wirtschaftlich attraktiv;</li> </ul>	/DLR-03 02/ /SPR-05 16/ /SPR-04 12/ /FEAS-01 16/ /GHFCA-01 16/ /FHS-01 14/ /DVGW-03 13/ /HILG-01 16/ /LUBW-01 07/ /RVB-01 15/ /ÖKO-03 13/
Treibhausgasemissionen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durchschnittliche Emissionen von Strom aus Erneuerbaren Energien, gewichtet nach dem Anteil an der deutschen Stromproduktion: 26,3 gCO<sub>2</sub>-Äq/MJ;</li> <li>• Der Wirkungsgrad der heutzutage verwendeten alkalischen Elektrolyse liegt üblicherweise zwischen 70 und 75 %;</li> <li>• Daraus ergibt sich für die Treibhausgasemissionen eine Spannweite von 35,0 bis 37,5 gCO<sub>2</sub>-Äq/MJ;</li> <li>• Durchschnitt: <b>36,3 gCO<sub>2</sub>-Äq/MJ</b>;</li> <li>• Stark abhängig von dem verwendeten Strom;</li> </ul>	/UBA-06 14/ /DVGW-03 14/ /GHFCA-01 16/ /FHS-01 14/
Toxizität	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine toxische oder schädigende Wirkung;</li> <li>• Keine Schadstoffemissionen außer Stickoxide, die aber verhindert werden können;</li> </ul>	/FHS-01 14/ /LUBW-01 07/ /FEAS-01 16/
Akzeptanz	<ul style="list-style-type: none"> <li>• "Hindenburg-Syndrom"; Wasserstoff wird oft als gefährlich beschrieben;</li> <li>• Aber viele Studien belegen, dass der sichere Umgang mit Wasserstoff möglich ist, und dass die Gefahren nicht größer sind wie beim Umgang mit Benzin, Erdgas, etc.;</li> <li>• Einführung im Verkehr: evtl. Bedenken bzgl. Technik (Tanken, Reparatur, Sicherheit);</li> <li>• Keine Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion und keine Anbauflächen nötig;</li> <li>• THG-Emissionen aus EE: 36 gCO<sub>2</sub>-Äq/MJ;</li> <li>• Nicht toxisch;</li> </ul>	/DWV-01 00/ /RVB-01 15/ /FEAS-01 16/

#### Literatur:

**BMVI-03 16** Fortsetzung des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP). Berlin: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), 2016

- BMWI-03 17** Gemeinsame Technologieinitiative für Brennstoffzellen und Wasserstoff - Gemeinsames Unternehmen FCH 2 in: <http://www.foerderdatenbank.de/Foerder-DB/Navigation/Foerderrecherche/suche.html?get=views;document&doc=10166> (Abruf: 28.03.2017) Archived by WebCite® at: <http://www.webcitation.org/6plo6kGEI>. Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), 2017
- BREG-01 17** Bundesregierung - Verkehr in: [www.bundesregierung.de](http://www.bundesregierung.de) (Abruf: 28.03.2017) Archived by WebCite® at: <http://www.webcitation.org/6plnmmV2e>. Berlin: Bundesregierung, 2017
- DENA-02 17** Power-to-Gas: Pilotprojekte im Überblick in: [http://www.powertogas.info/power-to-gas/pilotprojekte-im-ueberblick/?no\\_cache=1](http://www.powertogas.info/power-to-gas/pilotprojekte-im-ueberblick/?no_cache=1) (Abruf: 27.03.2017) Archived by WebCite® at: <http://www.webcitation.org/6pHBJE1Fz>. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 2017
- DENA-03 15** Grimm, Nadja; Uhlig, Jeanette; Weber, Andreas; Zoch, Immo: Systemlösung Power to Gas - Chancen, Herausforderungen und Stellschrauben auf dem Weg zur Marktreife. Berlin: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena), 2015
- DLR-03 02** Nitsch, Joachim; Fishedick, Manfred: Eine vollständig regenerative Energieversorgung mit Wasserstoff – Illusion oder realistische Perspektive?. Stuttgart: DLR-Institut für Technische Thermodynamik , 2002
- DVGW-03 13** Krause, Hartmut; Wersch, Matthias; Franke, Steffen; Giese, Anne; Benthin, Jörn; Dörr, Holger: Abschlussbericht Untersuchungen der Auswirkungen von Gasbeschaffenheitsänderungen auf industrielle und gewerbliche Anwendungen. Bonn: Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V., 2013
- DVGW-03 14** Graf, Frank et al.: Technoökonomische Studie von Power-to-Gas-Konzepten. Bonn: DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfachs e.V. - Technisch-wissenschaftlicher Verein, 2014
- DWV-01 00** Bain, Addison; Schmidtchen, Ulrich: Afterglow of a Myth - Why and how the "Hindenburg" burnt. Berlin: Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellenverband (DWV), 2000
- ET-14 14** Regett, Anika; Pelling, Christoph; Eller, Sebastian: Power2Gas - Hype oder Schlüssel zur Energiewende in: Energiewirtschaftliche Tagesfragen - 64. Jg. (2014) Heft 10. Essen: etv Energieverlag GmbH, 2014
- FCHEA-01 14** Overview of State Support and Policies for Fuel Cells and Hydrogen. Washington, D.C., USA: Fuel Cell and Hydrogen Energy Association, 2014
- FEAS-01 16** Rosen, Marc A.; Koochi-Fayegh, Seama: The prospects for hydrogen as an energy carrier: an overview of hydrogen energy and hydrogen energy systems in: Energy, Ecology, and the Environment (2016) 1(1):10–29. Oshawa, Kanada: Faculty of Engineering and Applied Science, University of Ontario Institute of Technology, 2016

- FHS-01 14** Lehmann, Jochen; Luschtinetz, Thomas: Wasserstoff und Brennstoffzellen - Unterwegs mit dem saubersten Kraftstoff in: Technik im Fokus. Stralsund: Fachhochschule Stralsund, 2014
- FVS-01 04** Schnurnberger, Werner; Janßen, Holger; Wittstadt, Ursula: Wasserspaltung mit Strom und Wärme in: FVS Themen 2004. Berlin: Forschungsverbund Sonnenenergie, 2004
- GHFCA-01 16** Töpler, Johannes; Lehmann, Jochen: Hydrogen and Fuel Cell - Technologies and Market Perspectives. Berlin: German Hydrogen and Fuel Cell Association, 2016
- HILG-01 16** Hilgers, Michael: Alternative Antriebe und Ergänzungen zum konventionellen Antrieb. Wiesbaden: Springer-Verlag, 2016
- LUBW-01 07** Schaub, Georg; Pabst, Kyra; Lüft, Markus; Velji, Armin: Neuartige Kraftstoffe und zukünftige Abgasemissionen bei Kraftfahrzeugen – eine Übersicht. Karlsruhe: Universität Karlsruhe, 2007
- RVB-01 15** Bargende, Michael: Erdgas und erneuerbares Methan für den Fahrzeugantrieb - Wege zur klimaneutralen Mobilität. Bad Wimpfen: Richard van Basshuysen, 2015
- SPR-04 12** Meyers, Robert A.: Encyclopedia of Sustainability Science and Technology. Berlin Heidelberg: Springer, 2012
- SPR-05 16** Soccol, Carlos Ricardo; Brar, Satinder Kaur; Faulds, Craig; Ramos, Luiz Pereira: Green Fuels Technology - Biofuels. Schweiz: Springer, 2016
- SSE-01 10** Balat, Havva; Kirtay, Elif: Hydrogen from biomass - Present scenario and future prospects. Trabzon, Türkei: Sila Science & Energy Company, University Mah, Trabzon, Turkey, 2010
- SUNF-01 14** Verdegaal, Wolfgang Michael; Becker, Sebastian; von Olshausen, Christian: Power-to-Liquids: Synthetisches Rohöl aus CO<sub>2</sub>, Wasser und Sonne in: Chemie Ingenieur Technik 2015, 87, No. 4, 340–346. Dresden: sunfire GmbH, 2014
- UBA-06 14** Memmler, Michael; Schrempf, Ludger; Hermann, Sebastian; Schneider, Sven; Pabst, Jeanette; Dreher, Marion: Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger - Bestimmung der vermiedenen Emissionen im Jahr 2013. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (UBA), 2014
- UKHEN-01 00** Jones, Stuart: Hydrogen Distribution and Transmission. Warrington, UK: UK Hydrogen Energy Network, 2000
- WIE-01 15** Wietschel, Martin et al.: Energietechnologien der Zukunft - Erzeugung, Speicherung, Effizienz und Netze. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015
- ÖKO-03 13** Kasten, Peter; Blanck, Ruth; Loreck, Charlotte; Hacker, Florian; Forin, Silvia: Strombasierte Kraftstoffe im Vergleich – Stand heute und die Langfristperspektive - Working Paper. Freiburg: Öko-Institut e.V , 2013