

Power-to-Gas (H₂-Speicherung)

	Komponente:	Quelle:
Kosten:	Elektrolyseur (inkl. Trafo, GR, Wasseraufbereitung)	[1–26]
	Stack	[1, 5]
	Speicher	[13, 20, 23, 27–31]
	Planung/Genehmigung sowie Einbindung	[1]
	Personal	[1]
	Wartung & Reparatur	[1, 5, 12]
	Wasser	[32, 33]
	Versicherung	Annahme
Erlöse:	Wasserstoff	[5, 34–36]
Technische Daten:	Wirkungsgrad Elektrolyse	[3, 12, 21, 37–42]
	Nutzungsdauer Stack	[5, 8, 15, 20, 43–47]
	Nutzungsdauer Speicher	[27, 48, 49]

Literatur

- [1] R. Schröder *et al.*, „TECHNOLOGIE-ENTWICKLUNGSTRATEGIE POWER-TO-GAS: DER PTG-ZUBAUPFAD“, FRAUNHOFER- INSTITUT FÜR WINDENERGIE UND ENERGIESYSTEMTECHNIK, IWES, 2016; unveröffentlicht. Zugriff am: Jun. 06 2018.
- [2] F. Ausfelder *et al.*, „Energiespeicherung als Element einer sicheren Energieversorgung“, *Chemie Ingenieur Technik*, Jg. 87, 1-2, S. 17–89, 2015.
- [3] Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie, Hg., „Wirtschaftlichkeit von POWER-TO-GAS: Ergebnisrapport der Arbeitsgruppe PtG“, München, Nov. 2014. Zugriff am: Jul. 25 2018.
- [4] D. Bothe *et al.*, „DER WERT DER GASINFRASTRUKTUR FÜR DIE ENERGIEWENDE IN DEUTSCHLAND: Eine modellbasierte Analyse“, Sep. 2017. Zugriff am: Jul. 18 2018.
- [5] T. Smolinka *et al.*, „Studie IndWEDe Industrialisierung der Wasserelektrolyse in -Deutschland: -Chancen und Herausforderungen für nachhaltigen Wasserstoff für Verkehr, Strom und -Wärme“, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Berlin, 2018. Zugriff am: Okt. 24 2018.
- [6] A. M. Bazzanella, F. Ausfelder und DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V., „Low carbon energy and feedstock for the European chemical industry“, Frankfurt am Main, Jun. 2017. Zugriff am: Okt. 24 2018.
- [7] N. Grimm, S. Hohmeier, J. Uhlig, A. Weber und I. Zoch, „Power to Gas: Eine innovative Systemlösung auf dem Weg zur Marktreife“. dena Fachbroschüre, Berlin, Dez. 2013. Zugriff am: Jul. 13 2018.

- [8] L. Grond, P. Schulze und J. Holstein, „Systems Analyses Power to Gas: Deliverable 1: Technology Review“. Final Report, Groningen Part of TKI project TKIG01038, Jun. 2013. Zugriff am: Aug. 09 2018.
- [9] R. Heuke, C. Schenuit und J. Paschke, „Potenzialatlas Power to Gas.: Klimaschutz umsetzen, erneuerbare Energien integrieren, regionale Wertschöpfung ermöglichen.“, Jun. 2016. Zugriff am: Mai. 04 2018.
- [10] B. Hirschl, „Power to Gas - Schlüsseltechnologie für die Energiewende?“, IÖW - Institut für ökologische Wirtschaftsforschung; Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg, Berlin, Nov. 2013. Zugriff am: Aug. 09 2018.
- [11] J. Hüttenrauch, G. Müller-Syring, H. Krause, W. Fichtner und C. e. a. Nolden, „Integration fluktuierender erneuerbarer Energien durch konvergente Nutzung von Strom- und Gasnetzen - Konvergenz Strom- und Gasnetze (KonStGas)“ Förderkennzeichen 0325576, Mai. 2017. Zugriff am: Jul. 16 2018.
- [12] S. Klein, S. W. Klein, T. Steinert, A. Fricke und D. Peschel, „Erneuerbare Gase - ein Systemupdate der Energiewende“, Initiative Erdgasspeicher e.V. (INES); Bundesverband Windenergie e.V. (BWE), Berlin, Dez. 2017. Zugriff am: Jul. 18 2018.
- [13] H.-M. Henning und A. Palzer, „Was kostet die Energiewende? – Wege zur Transformation des deutschen Energiesystems bis 2050: Die modellbasierte Studie untersucht sektor- und energieträgerübergreifend die System- und Kostenentwicklung einer klimaschutzkompatiblen Transformation des deutschen Energiesystems“, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg, Nov. 2015. Zugriff am: Mai. 22 2018.
- [14] C. Golling, R. Heuke, H. Seidl und J. Uhlig, „Roadmap Power to Gas: Baustein einer Integrierten Energiewende“, Berlin 9215, Nov. 2017. Zugriff am: Jul. 13 2018.
- [15] C. Hebling, S. Kiemel, F. Lehner, T. Smolinka und N. Wiebe, „Studie: Industrialisierung der Wasserelektrolyse in Deutschland: Chancen und Herausforderungen für nachhaltigen Wasserstoff für Verkehr, Strom und Wärme: Folienverteiler zur Dokumentation“, E4tech Sàrl; Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE; Fraunhofer Institut für Produktionstechnologie und Automatisierung IPA, Berlin, Jun. 2018. Zugriff am: Jul. 26 2018.
- [16] F. C. Matthes, C. Heinemann, S. Ludig, P. Graichen und M. M. Kleiner, „Erneuerbare vs. fossile Stromsysteme: ein Kostenvergleich: Stromwelten 2050 – Analyse von Erneuerbaren, kohle- und gasbasierten Elektrizitätssystemen“, Berlin 105/02-A-2017/DE, Jan. 2017. Zugriff am: Jul. 16 2018.
- [17] G. Müller-Syring und et al., „Entwicklung von modularen Konzepten zur Erzeugung, Speicherung und Einspeisung von Wasserstoff und Methan ins Erdgasnetz“, DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V., Bonn, 2013. Zugriff am: Jun. 07 2018.
- [18] C. Noack *et al.*, „Studie über die Planung einer Demonstrationsanlage zur Wasserstoff-Kraftstoffgewinnung durch Elektrolyse mit Zwischenspeicherung in Salzkavernen unter Druck“, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH (LBST), Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, KBB Underground Technologies GmbH, Stuttgart, Feb. 2015. Zugriff am: Mai. 23 2018.
- [19] Reiner Lemoine Institut gGmbH, Hg., „Vergleich und Optimierung von zentral und dezentral orientierten Ausbaupfaden zu einer Stromversorgung aus Erneuerbaren Energien in Deutschland“, Haleakala-Stiftung; 100 Prozent erneuerbar stiftung; BVMW Bundesverband mittelständische Wirtschaft, Okt. 2013. Zugriff am: Jul. 05 2018.
- [20] D. U. Sauer *et al.*, „Energiespeicher - Technologiesteckbrief zur Analyse „Flexibilitätskonzepte für die Stromversorgung 2050““, 2015. Zugriff am: Mai. 22 2018.
- [21] M. Sterner, M. Thema, F. Eckert, T. Lenck und P. Götz, „Bedeutung und Notwendigkeit von Windgas für die Energiewende in Deutschland“, Forschungsstelle Energienetze und

- Energiespeicher (FENES) OTH Regensburg, Energy Brainpool, Regensburg/Hamburg/Berlin, Aug. 2015. Zugriff am: Mai. 18 2018.
- [22] Verband kommunaler Unternehmen e.V., Hg., „POWER TO GAS: Chancen und Risiken für kommunale Unternehmen“, Berlin, Dez. 2015. Zugriff am: Aug. 09 2018.
- [23] M. Wietschel, S. Ullrich, P. Markewitz, Schulte Friedrich und F. Genoese, *Energietechnologien der Zukunft: Erzeugung, Speicherung, Effizienz und Netze*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015.
- [24] O. Schmidt *et al.*, „Future cost and performance of water electrolysis: An expert elicitation study“, *International Journal of Hydrogen Energy*, Jg. 42, Nr. 52, S. 30470–30492, 2017.
- [25] S. M. Saba, M. Müller, M. Robinius und D. Stolten, „The investment costs of electrolysis – A comparison of cost studies from the past 30 years“, *International Journal of Hydrogen Energy*, Jg. 43, Nr. 3, S. 1209–1223, 2018.
- [26] C. Wunderlich, S. Fiedler und C. Kunz, „METAANALYSE: Investitionskosten von Energiewende-Technologien“, Dez. 2016. Zugriff am: Mai. 18 2018.
- [27] R. Hamelmann *et al.*, „Integration von Wind-Wasserstoff-Systemen in das Energiesystem“, PLANET Planungsgruppe Energie und Technik GbR; fachhochschule lübeck PROJEKT-GMBH; Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung; Institut für Energie und Umwelt e.V. an der Fachhochschule Stralsund; KBB Underground Technologies GmbH, Berlin, Mrz. 2014. Zugriff am: Jul. 13 2018.
- [28] M. Robinius *et al.*, „Comparative Analysis of Infrastructures: Hydrogen Fueling and Electric Charging of Vehicles“, Institut für Elektrochemische Verfahrenstechnik (IEK-3); Chair of Fuel Cells RWTH Aachen, Jülich, Reihe Energie & Umwelt / Energy & Environment Band / Volume 408, 2018. Zugriff am: Sep. 13 2018.
- [29] U. Albrecht, *Analyse der Kosten erneuerbarer Gase: Eine Expertise [der Ludwig-Bölkow-Systemtechnik] für den Bundesverband Erneuerbare Energien, den Bundesverband Windenergie und den Fachverband Biogas*. Bochum: Ponte Press, 2013.
- [30] G. Parks, R. Boyd, J. Cornish und R. Remick, „Hydrogen Station Compression, Storage, and Dispensing Technical Status and Costs: Systems Integration“, Golden NREL/BK-6A10-58564, Mai. 2014. [Online] Verfügbar unter: <http://www.osti.gov/bridge>. Zugriff am: Sep. 07 2018.
- [31] T. M. Letcher, *Storing Energy: with Special Reference to Renewable Energy Sources*. Elsevier Science, 2016.
- [32] Statistisches Bundesamt, *Entgelte nach Tariftypen im Abwasserbereich*. [Online] Verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Umwelt/Wasserwirtschaft/Tabellen/Entgelte_Tariftypen.html. Zugriff am: Jan. 15 2019.
- [33] Statistisches Bundesamt, *Wasserwirtschaft: Entgelt für die Trink-wasser-versorgung in Tarifgebieten nach Tariftypen 2014 bis 2016*. [Online] Verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Umwelt/Wasserwirtschaft/Tabellen/Entgelt_Trinkwasserversor_Tarifgeb_nachTariftypen2014_2016_Land_Bund.html. Zugriff am: Jan. 15 2019.
- [34] J. Aichinger, „Power-to-Gas im Energiepark Mainz: Bisherige Betriebserfahrung, aktueller Projektstand und Ausblick“. Heidelberg, Okt. 19 2017.
- [35] R. Klingenberg, „Energiewende marktkonkret – Power to Gas in der Industrie nutzbar machen!: Fahrplan für eine Wind-Wasserstoffwirtschaft in der Region Unterelbe“, Juni 2016.
- [36] G. Müller-Syring *et al.*, „Machbarkeitsstudie Sperenberg“, DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH; Müller-Wrede & Partner; Reiner Lemoine Institut gGmbH, Leipzig, Jan. 2018. Zugriff am: Okt. 08 2018.

- [37] M. Maier, „METAANALYSE: Die Rolle erneuerbarer Gase in der Energiewende“, Mrz. 2018.
- [38] T. Künzel, F. Klumpp und A. Weidlich, „Methodische Quantifizierung der Bereitstellungskosten flexibler Systemkomponenten im deutschen Stromsystem“, *Z Energiewirtsch*, Jg. 41, Nr. 1, S. 33–55, 2017.
- [39] V. Bürger *et al.*, „Klimaneutraler Gebäudebestand 2050“, Öko-Institut e.V., Dessau-Roßlau Forschungskennzahl 3713 49 101, Feb. 2016. Zugriff am: Jul. 05 2018.
- [40] F. Ausfelder *et al.*, „»Sektorkopplung« - Untersuchungen und Überlegungen zur Entwicklung eines integrierten Energiesystems“, München, ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT, Nov. 2017. Zugriff am: Jul. 16 2018.
- [41] M. Dehli, „Power-to-Gas: Speicherung von Strom aus Windkraft- und Photovoltaikanlagen in der Erdgasinfrastruktur“, Jan. 2014. Zugriff am: Mai. 17 2018.
- [42] N. Krzikalla, S. Achner und S. Brühl, „Möglichkeiten zum Ausgleich fluktuierender Einspeisungen aus Erneuerbaren Energien: Studie im Auftrag des Bundesverbandes Erneuerbare Energie“, Bundesverband Erneuerbare Energie e.V., Aachen ISBN-13: 978-3-920328-64-5, Apr. 2013. Zugriff am: Aug. 17 2018.
- [43] H-TEC SYSTEMS, „THE EVOLUTION OF ENERGY.: H-TEC Series-S: S 30/30“. Zugriff am: Sep. 19 2018.
- [44] H-TEC SYSTEMS, *H-TEC Series-ME: ME 100/350*: PEM-Elektrolyseur – Das Bindeglied für Sektorenkopplung und dezentrale H₂-Produktion*. [Online] Verfügbar unter: H-TEC-SYSTEMS.COM. Zugriff am: Jun. 14 2018.
- [45] iGas energy GmbH, *GREEN ELECTROLYZER: Wasserstoff aus Erneuerbaren Energien*. [Online] Verfügbar unter: www.iGas-energy.de. Zugriff am: Jun. 14 2018.
- [46] AREVA H2Gen, „PEM ELECTROLYSERS: Today's flexible, cost effective technology“. Zugriff am: Sep. 19 2018.
- [47] A. Brinner, M. Schmidt, S. Schwarz, L. Wagener und U. Zuberbühler, „Technologiebericht 4.1 Power-to-gas (Wasserstoff)“, Wuppertal Institut, Fraunhofer ISI, Institut für ZukunftsEnergieSysteme gGmbH, Wuppertal, Karlsruhe, Saarbrücken, 2017. Zugriff am: Mai. 24 2018.
- [48] F. Crotagino, G.-S. Schneider und D. J. Evans, „Renewable energy storage in geological formations“, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, Jg. 232, Nr. 1, S. 100–114, 2018.
- [49] Bundesministerium der Finanzen, „AfA-Tabelle für den Wirtschaftszweig "Energie- und Wasserversorgung"“, Jan. 1995. Zugriff am: Jul. 27 2018.