

Kenngroße	Ausgewählter Speicher
Funktionsweise	<p>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 CH₄ geringer als jener von H₂ als Produktoutput). Neben Methan kann der Wasserstoff auch zu anderen Kohlenwasserstoffen, wie beispielsweise zu Methanol, Ethanol, Dimethylether oder Ameisensäure synthetisiert werden.</p> <p>Im Kontext Power-to-Gas sind unterschiedliche Anwendungsmöglichkeiten integriert, die bspw. im folgenden Schema abgebildet sind und die jeweils auf die Elektrolyse und Produktion von Wasserstoff in einem ersten Schritt basieren:</p> <ol style="list-style-type: none"> 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. <p>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 folgenden Reaktionsgleichung</p>

Kenngröße	Ausgewählter Speicher
	<p>(1). Je nach eingesetztem Elektrolyt kann zwischen alkalischen (AEC), Protonen-Austausch-Membran (PEMEC) und Festoxid-Elektrolyseuren (SOEC) unterschieden werden.</p> $2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ H}_2 + \text{O}_2$
Speichercharakteristika	<p>Elektrolyseure im Kontext Power-to-Gas besitzen alternative Speichercharakteristika als alternative Stromspeichertechnologien, da eine Energiespeicherung und Umwandlung der Energie in Wasserstoff und/oder Methan keine Rückverstromung bedingt.</p> <p>So sind etwa Energiedichte und Leistungsdichte in Wh/kg bzw. W/kg typische Werte für Batterien; bei der Elektrolyse werden diese Werte normalerweise nicht angegeben, da sie sehr stark vom jeweiligen System und der Nutzung abhängig sind (Wie groß ist der Wasserstoffspeicher, das Erdgasnetz etc.). Die Wirkungsgrade von dynamischen Elektrolyseuren reichen von 30% mit Rückverstromung bis zu 85% bei einer reinen Wasserstoffproduktion ohne Rückverstromung aber mit umfassender Abwärmenutzung. Hierbei können bis zu 100.000 Betriebsstunden stark abhängig von Betriebsweise und Anzahl der Start/Stop-Zyklen erreicht werden.</p> <p>Durch die Einspeisung der Energieträger etwa in das Erdgasnetz kommt es zur Koppelung von Strom- und Gasnetz und die großen bestehenden Speicherstätten in der Erdgasinfrastruktur können genutzt werden. Durch die Einspeisung und Zwischenspeicherung in der bestehenden Erdgasinfrastruktur können zudem auch saisonale Schwankungen erneuerbarer Stromerzeuger ausgeglichen werden.</p>
Subsysteme	<p>Alkalische Elektrolyseure verwenden einen wässrigen alkalischen Elektrolyten und stellen die am weitesten verbreitete Technologie mit den geringsten Investitionskosten dar. AEC gelten als robust und sind bereits in hohen Leistungsklassen verfügbar. Herausforderungen bestehen vor allem bei dynamischer Betriebsweise, da Effizienz und Wasserstoffqualität im Teillastbetrieb stark beeinträchtigt sind. Alkalische Elektrolyseure haben außerdem einen hohen Platzbedarf im Vergleich zu PEM-Elektrolyseuren.</p>

Kenngröße	Ausgewählter Speicher
	<p>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 dem damit verbundenen Austritt des korrosiven Elektrolyts. 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. Herausforderungen bestehen allerdings noch hinsichtlich Lebensdauer der Membran und hoher Investitionskosten aufgrund des Einsatzes von Edelmetall-Katalysatoren wie Platin. Zudem sind die verfügbaren Leistungsklassen von PEM-Elektrolyseuren noch deutlich kleiner als bei AEC. 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. 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.</p>
Referenzen/Links	<p>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.</p> <p>Lehner, M., Tichler, R., Steinmüller, H., Koppe., M. (2014) Power-to-Gas: Technology and Business Models, Springer Verlag.</p> <p>Tichler, R., Lindorfer, J., Friedl, C., Reiter, G., Steinmüller, H. (2014) FTI-Roadmap Power-to-Gas für Österreich, nachhaltig wirtschaften 50/2014, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Hrsg.).</p> <p>Smolinka et al. (2011) Stand und Entwicklungspotenzial der Wasserelektrolyse zur Herstellung von Wasserstoff aus regenerativen</p>

Kenngröße	Ausgewählter Speicher
	<p>Energien. Kurzfassung NOW-Studie. Fraunhofer ISE, FCBAT: 2011.</p> <p>Carmo et al. (2013) A comprehensive review on PEM water electrolysis. International Journal of Hydrogen Energy 2013.</p> <p>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.</p> <p>Graves C, Ebbesen SD, Mogensen M, Lackner KS. Sustainable hydrocarbon fuels by recycling CO2 and H2O with renewable or nuclear energy. Renew Sust Energy Rev 2011; 15:1-23.</p> <p>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.</p> <p>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.</p>
Technologiereifegrad	Der Technologiereifegrad kann mit 5-8 angegeben werden, stark abhängig von der jeweiligen technologischen spezifischen Ausprägung.
TRL (Technology Readiness Level)	5 - 8
Netzebene (NS=7, MS=5, HS=3, HöS=1)	3 - 7
Schnelligkeit/Regel-Ansprechverfahren (schnell/mittel/langsam)	schnell
Energiedichte (Wh/kg)	Energiedichte und Leistungsdichte in Wh/kg bzw. W/kg sind typische Werte für Batterien; bei der Elektrolyse werden diese Werte normalerweise nicht angegeben, da sie sehr stark vom jeweiligen System und der Nutzung abhängig sind (Wie groß ist der Wasserstoffspeicher, das Erdgasnetz etc.)
Leistungsdichte (W/kg)	Energiedichte und Leistungsdichte in Wh/kg bzw. W/kg sind typische Werte für Batterien; bei der Elektrolyse werden diese Werte normalerweise nicht angegeben, da sie sehr stark vom jeweiligen System und der Nutzung abhängig sind (Wie groß ist der Wasserstoffspeicher, das Erdgasnetz etc.)
Selbstentladung (%/Tag, %/Monat, ...)	keine Selbstentladung

Kenngroße	Ausgewählter Speicher
Wirkungsgrad (technologisch, Batterie) (%)	60 - 70% LHV (System, H2 als Produkt)
Kalendarische Lebensdauer (a)	bis zu 50.000 Betriebsstunden (stark abhängig von Betriebsweise und Anzahl der Start/Stop-Zyklen)
Zyklusfestigkeit (Zyklen über Lebensdauer)	Kenngroße für Batterien - für Elektrolyse so nicht anwendbar!
Kosten (Investitionskosten, Betriebskosten) (€/kWh) bzw. (€/kW)	Investitionskosten für Elektrolyse ~ 2.000 €/kW (bei 1 MW) Kosten in €/kWh sind sehr stark vom jeweiligen Anwendungsfall und dem Produkt abhängig (H2 oder Strom) und nicht mit Batterien vergleichbar
Soziale Akzeptanz der Technologie (hoch/mittel/niedrig)	hoch
Ökol. Performance (CO2-Äquivalent, seltene Erden, ökol. Fußabdruck)	Treibhauspotential [kg CO2-Äqu.] sehr stark abhängig von Strominput (es sollten vorwiegend Erneuerbare eingesetzt werden!)
Recyclingfähigkeit	keine seltenen Erden
Absatz, erwartet	geringer Platzbedarf
Inländische Wertschöpfung (Hersteller in Ö, Demoprojekte, Forschung)	k.A.
Stromoutput (Eignung des Stromspeicher zur Netzurückzuspeisung) (J/N)	k.A.
Leistung (kW) ev. Dauer-/Spitzenleistung	Fronius (Hochdruck-PEM, System) Pilotprojekt wind2hydrogen bedingt (in Kombination mit Brennstoffzelle)
Erzeugungsnähe (produktionsnahe) (J/N)	bis ~ 1 MW je Stack
Zielwert ausgewählter Kennzahlen für die Technologie z.B. bis 2025/2030	vom spezifischen Einsatz abhängig; sowohl zentral als auch dezentral möglich
Referenzen (Literaturquellen zu eingetragenen tech. Kennzahlen)	Investitionskosten von < 1.000 €/kW
	H. Steinmüller, R. Tichler, G. Reiter, et al. Power to Gas – Eine Systemanalyse. Markt- und
	Technologiescouting und -analyse. Endbericht im Auftrag des BMWFJ, 2014.
	Bodner, M.; Hofer, A.; Hacker, V., H2 generation from alkaline electrolyzer. -
	in: Wiley interdisciplinary reviews / Energy and environment, (2015) 4, S. 365
	- 381
	G. Reiter. Power-to-Gas. In: D. Stolten, R.C. Samsun, N. Garland (Eds) Fuel
	Cells: Data, Facts and Figures. Wiley-Verlag, 2016. ISBN: 978-3-527-33240-3

Kenngröße	Ausgewählter Speicher
	<p>L. Grond, P. Schulze, J. Holstein. Systems analyses Power to Gas: A technology review. DNV Kema, 2013.</p> <p>T. Smolinka, M. Günther, J. Garche. Stand und Entwicklungspotenzial der Wasserelektrolyse zur Herstellung von Wasserstoff aus regenerativen Energien. Kurzfassung NOW-Studie, Fraunhofer ISE, FCBAT, 2011.</p> <p>A. Ursua, L.M. Gandia, P. Sanchis. Hydrogen production from water electrolysis: current status and future trends. Proc IEEE 100(2): 410–426, 2012.</p>
Temperaturfestigkeit (Betriebs- und Umgebungstemperatur/Limitierung) (°C, von-bis)	k.A.
Materialien (Zellchemie)	k.A.
Rohstoffe/Verfügbarkeit (nach Hauptelemente)	k.A.
Peripherie: BMS/Leistungselektronik (F&E Bedarf) (J/N)	k.A.
Infrastruktur (F&E Bedarf)	k.A.
Problembereiche	k.A.