

RP-Energie-Lexikon

Anode

K
E

Elek

fachlich fundiert, unabhängig von Lobby-Interessen

www.energie-lexikon.info

LEXIKON	RATGEBER	IRRTÜMER	ENERGIE-BLOG
GLOSSAR	KATEGORIEN	QUIZ	ARTIKEL
PROJEKT	AUTOR	DATENSCHUTZ	BERATUNG
SPENDEN	SPONSOREN	WERBUNG	KONTAKT

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z

[Lexikon](#) > [Buchstabe E](#) > [Elektrolyse](#)

Elektrolyse

Definition: ein elektrochemischer Prozess, bei dem chemische Reaktionen mit Hilfe elektrischer Energie angetrieben werden

Spezifischere Begriffe: Niedertemperaturelektrolyse, Hochtemperaturelektrolyse, alkalische Elektrolyse, Wasserelektrolyse, Co-Elektrolyse

Englisch: electrolysis

Kategorien: [elektrische Energie](#), [Grundbegriffe](#)

Autor: [Dr. Rüdiger Paschotta](#)

[Wie man zitiert](#); [zusätzliche Literatur vorschlagen](#)

Ursprüngliche Erstellung: 19.11.2010; letzte Änderung: 20.07.2020

Die *Elektrolyse* ist ein elektrochemischer Prozess. Hier werden chemische Reaktionen mit Hilfe [elektrischer Energie](#) angetrieben. Im Rahmen der [Energietechnik](#) dient die Elektrolyse zur Herstellung chemischer [Energieträger](#), und zwar oft von [Wasserstoff](#). Es wird also [elektrische Energie](#) in [chemische Energie](#) umgewandelt. (Der umgekehrte Prozess läuft ab in [aufladbaren Batterien](#) und [Brennstoffzellen](#).) In anderen Fällen geht es um die Herstellung von Substanzen für nicht-energetische Nutzungen, beispielsweise

Aluminium, Chlor oder Natronlauge. Ebenfalls wird die Elektrolyse für die Reinigung (Raffinierung) gewisser Metalle eingesetzt.

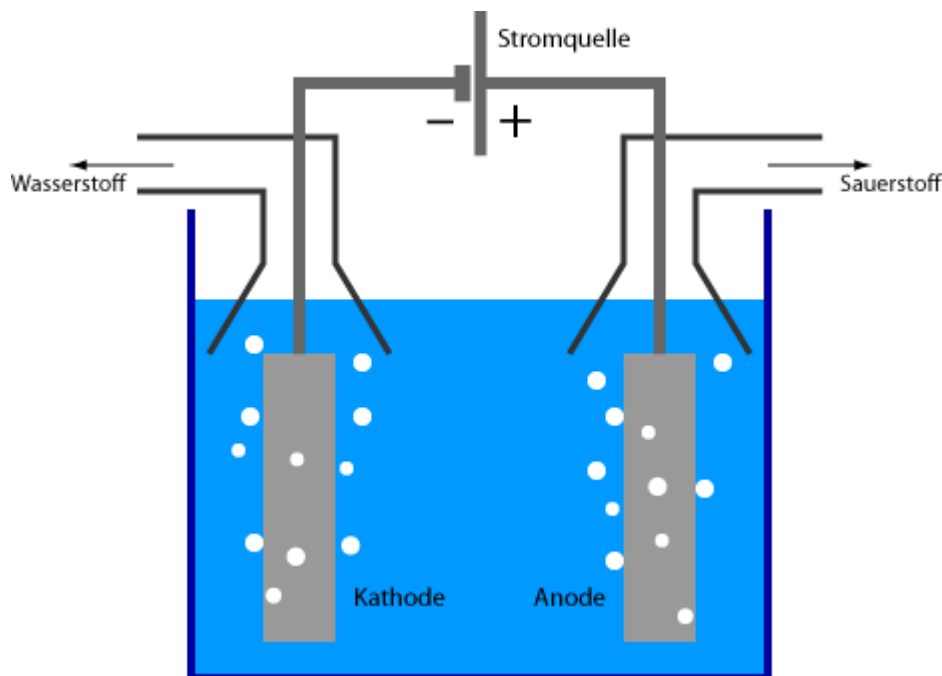


Abbildung 1: Prinzipieller Aufbau für die Wasser-Elektrolyse. An den Elektroden entsteht Wasserstoff bzw. Sauerstoff, der darüber aufgefangen wird.

Typischerweise enthält ein Elektrolyseur (Elektrolyseapparat) zwei Elektroden, die mit einer elektrisch leitenden Flüssigkeit (einem Elektrolyten) in Kontakt gebracht werden. Zwischen den Elektroden wird eine **elektrische Spannung** angelegt, so dass ein elektrischer Strom fließt. Die **elektrische Stromstärke** bestimmt direkt die pro Sekunde umgesetzten Stoffmengen. Die negative Elektrode wird als *Kathode* bezeichnet, die positive als *Anode*. An den Elektroden können neue chemische Substanzen entstehen, und es ist ebenfalls möglich, dass Elektrodenmaterial in die Lösung übergeht. Um dies zu vermeiden, können Elektroden aus bestimmten Edelmetallen gefertigt werden (z. B. aus Gold oder Platin) oder aus Graphit.

Häufig werden der Anoden- und Kathodenraum durch eine poröse Wand (ein Diaphragma, z. B. aus einem Harz bestehend, oder eine spezielle Membran) voneinander getrennt. Damit lässt sich beispielsweise verhindern, dass sich die entstehenden Gase miteinander vermischen. Allerdings behindert eine solche Membran auch mehr oder weniger den Stromfluss und kann auf diese Weise die umgesetzte Leistung reduzieren und/oder eine etwas erhöhte elektrische Spannung notwendig machen, was den Wirkungsgrad herabsetzt.

Bei der Wasser-Elektrolyse für die Herstellung von Wasserstoff und Sauerstoff wird die Leitfähigkeit des Wassers erhöht, indem bestimmte Säuren oder Basen (Laugen) beigegeben werden. (Verbreitet ist die alkalische Wasserelektrolyse nach dem Claude-

Prozess.) An der Kathode entsteht Wasserstoff, an der Anode Sauerstoff, der vom Wasserstoff getrennt bleiben muss und ebenfalls genutzt werden kann. Um die Oxidation der Anode zu vermeiden, muss diese beispielsweise aus einem Edelmetall oder aus Nickel gefertigt sein.

Die Technik von Elektrolyseuren wird seit Jahrzehnten genutzt, vor allem auch großtechnisch, und ist bereits sehr ausgereift. Bei kleinen Anlagen im unteren Kilowatt-Bereich sind die spezifischen Anlagenkosten relativ hoch (mehrere tausend Euro pro Kilowatt), während große Anlagen im Megawattbereich für einige hundert €/kW errichtet werden können. Wesentliche Kostensenkungen durch weitere Entwicklungen sind angesichts der Reife der Technologie nicht zu erwarten.

Es gibt reversible Zellen, die einerseits zur Elektrolyse eingesetzt werden können, andererseits aber auch umgekehrt als **Brennstoffzelle**.

Energieeffizienz der Elektrolyse

In der Praxis muss man einen Kompromiss zwischen maximaler Energieeffizienz und einer möglichst hohen umgesetzten Leistung wählen.

Die Energieumwandlung bei der Elektrolyse kann recht **energieeffizient** erfolgen, d. h. mit einem hohen **Wirkungsgrad**. Hierfür ist es besonders wichtig, dass die **elektrische Spannung** kaum höher gewählt wird als physikalisch notwendig. Hohe Stromdichten, wie sie eine hohe Produktionsrate verlangt, und die Bildung von Gasen an den Elektroden erzwingen allerdings häufig eine etwas höhere Spannung. Bei der Wasser-Elektrolyse wird typischerweise ein Wirkungsgrad von etwas über 70 % erreicht, teilweise auch mehr als 80 %. Im **Teillast**betrieb kann der Wirkungsgrad deutlich höher liegen.

Ein Elektrolyseur, der nur Stromüberschüsse verwerten soll, wird in der Praxis kaum die maximale Energieeffizienz erreichen können.

Wenn ein Elektrolyseur nur für die Verwendung von Stromüberschüssen verwendet würde, also mit wenigen **Volllaststunden** pro Jahr, dann würde die Abwägung von Effizienz und Kosten zu einer niedrigeren Energieeffizienz führen, z. B. bei ca. 60 bis 65 %. Dieses Problem ließe sich nur durch eine erhebliche Senkung der spezifischen Anlagekosten lösen. Nachdem Elektrolyseure aber bereits jahrzehntelang optimiert wurden, scheint hierfür kein großes Potenzial mehr zu bestehen.

Wenn Wasserstoff-Elektrolyse als **Speicher für elektrische Energie** verwendet werden soll, fallen natürlich auch die Energieverluste bei der **Verstromung** des Wasserstoffs ins

Gewicht; der Zyklenwirkungsgrad liegt dann je nach Technologie eher bei 40 % oder sogar tiefer.

Weitere Forschung und Entwicklung könnte zu verbesserten Elektrolyse-Technologien führen, die vor allem auch einen höheren Wirkungsgrad ermöglichen würden. Interessant sind beispielsweise Ansätze für die Hochtemperaturelektrolyse (Dampfelektrolyse, z. B. in Festoxid-Elektrolysezellen bei 800 bis 1000 °C), bei der ein Teil der benötigten Energie in Form von Hochtemperatur**wärme** anstatt von Strom zugeführt werden kann. Dies lässt sich so verstehen, dass zunächst die Verdampfung des Wassers allein mit Wärmezufuhr geschehen kann und somit entsprechend weniger elektrische Energie benötigt wird. Hochtemperatur-Elektrolyseure lassen sich auch ohne teurere Edelmetalle realisieren. Solche Verfahren befinden sich aber noch in einem frühen Entwicklungsstadium. Sie wären besonders interessant in Verbindung mit **solarthermischen Kraftwerken**.

Eine mögliche Quelle der benötigten Hochtemperaturwärme wäre eine Anlage zur **Methanisierung**, d. h. zur Gewinnung von **Methan** aus dem erzeugten Wasserstoff.

Manche Elektrolyseure können bei hohem Druck arbeiten, d. h. Wasserstoff bereits komprimiert z. B. auf 10 bar bereitstellen, während andere nur bei Normaldruck funktionieren, so dass ggf. eine zusätzliche Kompression nötig ist (mit weiterem Energieaufwand).

Rolle der Elektrolyse in der Energietechnik

Bisher spielt die Elektrolyse keine wichtige Rolle in der Energietechnik. Sie könnte in Zukunft im Rahmen einer **Wasserstoffwirtschaft** an Bedeutung gewinnen. Hier würde **Wasserstoff** aus elektrischer Energie mittels Elektrolyse gewonnen, und umgekehrt könnte aus Wasserstoff mit Hilfe von **Brennstoffzellen** auch wieder elektrische Energie erzeugt werden. Große Energiemengen ließen sich z. B. mit Hilfe von Wasserstoff-Pipelines relativ verlustarm über weite Strecken transportieren. Ebenfalls würde Wasserstoff eine **Energiespeicherung** auch über längere Zeiten ermöglichen, was beispielsweise im Zusammenhang mit der Nutzung von stochastisch anfallender **erneuerbaren Energien** wie **Windenergie** und **Solarenergie** interessant wäre. Jedoch treten beträchtliche **Energieverluste** bei den Umwandlungen auf – bisher mindestens ca. 50 % bei der Umwandlung von Strom zu Wasserstoff und zurück.

Eine andere Variante ist **Power to Gas** mit einer zusätzlichen **Methanisierung**: Wenn aus dem Wasserstoff **Methan** gewonnen wird, kann dieses in das **Erdgasnetz** eingespeist werden. Somit werden bereits existierende Erdgasnetze und Erdgasspeicher nutzbar als eine sehr leistungsfähige Transport- und Speicherinfrastruktur.

Nicht-energetische Anwendungen von Elektrolyse (hauptsächlich in der Metallurgie und der chemischen Industrie) sind heute schon bedeutsam. Hierfür werden in den USA rund 5 % der gesamten Stromerzeugung benötigt – in Europa deutlich weniger, weil Wasserstoff hauptsächlich aus **Erdgas** gewonnen wird.

Elektrolyse mit Meerwasser

Es gibt Überlegungen, Elektrolyse im großen Stil in Anlagen im Meer zu betreiben, wobei die Betriebsenergie entweder von schwimmenden **Photovoltaikanlagen** oder von **Windenergieanlagen** erzeugt wird. Hier müsste dann Meerwasser verwendet werden. Dieses ist leider in der Regel nicht direkt für die Elektrolyse anwendbar, weil der Chlorid-Gehalt zu unerwünschten Bildung von Chlor führt (mit diversen Nebenwirkungen) und weil Calcium-Verbindungen Belege auf den Elektroden bilden können, die die Energieeffizienz reduzieren. Deswegen müsste hier zunächst eine Meerwasserentsalzung vorgenommen werden, z. B. mit Umkehrosmose. Dies würde einen gewissen zusätzlichen Strombedarf verursachen, der allerdings im Vergleich zu dem der Elektrolyse fast vernachlässigbar gering ist. Insofern stünde einer Nutzung von Meerwasser für die Elektrolyse kein entscheidendes Hindernis entgegen.

Co-Elektrolyse

Ein Sonderfall der Elektrolyse ist die sogenannte Co-Elektrolyse. Hier werden zwei oder mehr verschiedene Elektrolyseprozesse gleichzeitig in einem Apparat durchgeführt. Insbesondere ist in den letzten Jahren die Entwicklung eines Elektrolysesprozesses in Hochtemperatur-Feststoffzellen erfolgt, bei dem gleichzeitig **Wasserstoff** aus Wasser erzeugt wird sowie **Kohlenmonoxid** aus **Kohlendioxid**. Somit lässt sich direkt **Synthesegas** erzeugen, und zwar nicht nur mit einer einfacheren Apparatur, sondern auch mit einer deutlich höheren **Energieeffizienz**. Solche Entwicklungen könnten zukünftig eine effizientere und kostengünstigere großtechnische Erzeugung von strombasierten **Synthesekraftstoffen** ermöglichen.

Fragen und Kommentare von Lesern

13.01.2020

Kraftstoff über die Elektro-Synthese und den Umweg über H₂ und weitere Verlustketten wieder umzuwandeln zu Methan, oder nochmal mit weiteren Verlusten zu Benzin oder Diesel – das kann auch nicht das Ziel sein. Auch moderne Akkus sind bisher noch nicht wieder wirtschaftlich in ihre ursprünglichen

Bestandteile zerlegbar. Aber das ist durchaus einfacher noch weiter zu optimieren und wirtschaftlicher, als wieder auf die Suche nach neuem Material für neue Akkus, oder nach neuem Kraftstoff zu gehen. Vor allem wenn man einmal bedenkt, dass erst seit wenigen Jahren daran geforscht wird.

Antwort vom Autor:

Ja, die Herstellung von **Synthesekraftstoffen**, angefangen mit Elektrolyse, bringt sehr große **Energieverluste** – weitaus mehr als bei Verwendung von **Batterien**. Von daher glaube ich auch viel eher als eine Zukunft des **Elektroautos** als an eine breite Umstellung auf strombasierte Kraftstoffe. Immerhin erleichtern **chemische Energieträger** sehr die **Energiespeicherung**, und für Flugzeuge und Schiffe bleibt auf Dauer vielleicht ohnehin nichts anderes übrig.

12.05.2020

Wäre im Ein-/Mehrfamilienhaus Um-/Neubau eine Kombination aus Elektrolyse, Brennstoffzelle und Photovoltaik mit Batteriespeicher als Kurzzeit/Tagesspeicher und Liquid oder Metallhybrid-Wasserstoffspeicher als Saisonspeicher nicht eigentlich das, wo wir hinkommen sollten? Damit hätten wir den Bereich Heimstrom und Heimheizungsbereich schon mal ziemlich "vergrünt".

Antwort vom Autor:

Ich fürchte, das wäre eine extrem teure Lösung – gerade bei Realisierung für ein Haus allein. **Saisonale Energiespeicher** sind in der Regel halbwegs kostengünstig nur in sehr großen Maßstäben realisierbar.

Hier können Sie Fragen und Kommentare zur Veröffentlichung und Beantwortung vorschlagen. Über die Annahme wird der **Autor des RP-Energie-Lexikons** nach gewissen **Kriterien** entscheiden. Im Kern geht es darum, dass die Sache von breitem Interesse ist.

Wenn Ihnen hier geholfen wird, möchten Sie sich vielleicht mit einer **Spende** revanchieren, mit der Sie die weitere Entwicklung des Energielexikons unterstützen.

Datenschutz: Bitte geben Sie hier keine personenbezogenen Daten ein. Wir würden solche allerdings ohnehin nicht veröffentlichen und bei uns bald löschen. Siehe auch unsere **Datenschutzerklärung**.

Wenn Sie eine persönliche Rückmeldung oder eine **Beratung** vom Autor wünschen, schreiben Sie ihm bitte per **E-Mail**.

Ihre Frage oder Ihr Kommentar:

Ihr Hintergrund (freiwillige Angabe):

Spam-Prüfung:

(Bitte die Summe von fünf und zwölf hier als Ziffern eintragen!)

Abschicken

Mit dem Abschicken geben Sie Ihre Einwilligung, Ihre Eingaben gemäß unseren [Regeln](#) hier zu veröffentlichen.

Siehe auch: [elektrische Energie](#), [chemische Energie](#), [chemische Energiespeicherung](#), [Wasserstoff](#), [Wasserstoffwirtschaft](#), [EE-Gas](#), [Power to Gas](#), [Power to X](#)
sowie andere Artikel in den Kategorien [elektrische Energie](#), [Grundbegriffe](#)

© [Dr. Rüdiger Paschotta](#) | [Kontakt](#) | [Sponsoring](#) | [Datenschutz](#)