

B7 Kondensator, Wasserstoff, Redox-Flow – Wir speichern regenerative Energie

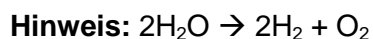
1 Speicherung von elektrischer Energie in chemischer Energie (Wasserstoff)

1.5 Auswertung

- a) Nenne die Gase, die am Minuspol bzw. Pluspol entstanden sind, und erkläre, wie diese nachgewiesen werden können.

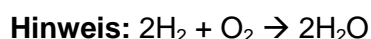
Hinweis: Die Gase, die entstanden sind, sind Wasserstoff und Sauerstoff. Wasserstoff kann durch die Knallgasprobe nachgewiesen werden und Sauerstoff durch die Glühspanprobe.

- b) Erstelle für die Elektrolyse von Wasser (siehe Schritt 1 des Teilexperiments) die Reaktionsgleichung und erkläre, ob es sich hierbei um eine endotherme oder exotherme Reaktion handelt.



Es handelt sich um eine endotherme Reaktion. Dies kann man entweder dadurch erklären, dass die Umkehrreaktion (bei der Knallgasprobe) exotherm ist oder dadurch, dass man bei der Elektrolyse von Wasser Energie aufwenden muss, damit es sich spaltet.

- c) In der Brennstoffzelle wird durch die Reaktion der vorhandenen Gase elektrischer Strom gewonnen (siehe Schritt 3 und 4 des Teilexperiments). Erstelle hierzu die Reaktionsgleichung und erkläre, ob es sich hierbei um eine endotherme oder exotherme Reaktion handelt.



Es handelt sich um eine exotherme Reaktion. Die Freisetzung der Energie erfolgt bei dieser Reaktion jedoch nicht als Wärmeenergie wie bei der Knallgasprobe, sondern in Form elektrischer Energie, wie man sie in Form von gemessenem Strom und Spannung bestimmen kann.

- d) Notiere, wie viele Solarzellen (0,5 V) notwendig sind, um Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff elektrolytisch zu spalten. Ermittle die Zersetzungsspannung des Wassers.

Hinweis: Theoretisch läge die Zersetzungsspannung von reinem Wasser mit idealen Elektroden bei ca. 1,25 V (platinisiertes Platin). Durch sog. Überspannungseffekte benötigt man jedoch bis zu 16 V. Durch Ansäuern oder Alkalisieren des Wassers sinkt die Überspannung. So liegen wir mit unseren Graphitelektroden in Natriumcarbonat-Lösung bei einer Zersetzungsspannung des Wassers von ca. 1,7 V. Wir benötigen also vier Solarzellen in Serienschaltung.

- e) Erkläre, was beim Anpusten des Propellers in der Elektrolysezelle geschieht und warum sich der Propeller nach dem kurzen Anhalten weiterdreht.

Hinweis: Beim Anpusten des Propellers nimmt der Motor die Funktion eines Generators ein. Dieser liefert dann der Elektrolysezelle elektrische Energie, die „verbraucht“ wird, um das Wasser zu zersetzen. Sobald man aufhört zu pusten, nimmt die Elektrolysezelle die Rolle einer Brennstoffzelle ein und wandelt die chemisch gespeicherte Energie wieder in Strom um, der dann in den Stromkreis eingespeist wird. Der Motor wird dann von dem so erzeugten Strom angetrieben.

- f) Erläutere, welche technische Anlage unter Einbeziehung der Elektrolysezelle geeignet wäre, um elektrische Energie z. B. von Windkraftanlagen zu speichern. Erstelle hierzu eine beschriftete Skizze.

Hinweis: Der Wasserstoff wird stationär in Tanks gespeichert und bei Strombedarf z. B. mit Brennstoffzellen wieder in Strom verwandelt. Der Sauerstoff ist ein begehrtes chemisches Reagenz und kann gut verkauft werden (z. B. an Kläranlagen). Man kann den Sauerstoff aber auch an die Luft abgeben und bei Bedarf wieder aus der Luft entnehmen.

1.6 Fragen

Entwirf ein Konzept, wie der energiereiche Wasserstoff über große Entfernungen zum Verbraucher transportiert und dort wieder in elektrische Energie umgewandelt werden könnte. Hinweis: Der Transport von Sauerstoff ist nicht notwendig, da er weltweit durch die Luft (Sauerstoffgehalt der Luft beträgt etwa 21 %) zur Verfügung steht.

Antwort: Elektrische Energie wird in der Elektrolysezelle als chemische Energie (Wasserstoff und Sauerstoff) gespeichert. Der dadurch gebildete Wasserstoff könnte als Beimischung zu Erdgas über Gaspipelines zu den Verbrauchern transportiert werden, wo er wieder zur „Stromerzeugung“ in Gasturbinenkraftwerken eingesetzt werden kann. Das bereits flächendeckend vorhandene Erdgasnetz kann so als Verteiler und Speicher für regenerative Energien dienen. Wasserstoff darf allerdings (u. a. aus Sicherheitsgründen) nur zu geringen Prozentgehalten ins Erdgasnetz eingespeist werden. Bei größeren Mengen von Wasserstoff kann aber aus diesem zusammen mit Kohlenstoffdioxid aus der Luft (davon gibt es ohnehin zu viel) katalytisch Methan gewonnen werden. Dieses kann dann in die Gasleitungen eingespeist werden.

Der Sauerstoff ist ein begehrtes chemisches Reagenz und kann gut verkauft werden (z. B. an Kläranlagen). Man kann den Sauerstoff aber auch an die Luft abgeben und bei Bedarf wieder aus der Luft entnehmen.

2 Direkte Speicherung von elektrischer Energie in Kondensatoren

2.5 Auswertung

- a) Benenne, welches Bauteil in Schritt 2.3.4 in welcher Situation der Stromerzeuger ist und welches der Verbraucher.

Hinweis: Beim Pusten ist der Stromerzeuger der Elektromotor, der als Generator agiert. Beim eigenständigen Drehen des Propellers ist der Stromerzeuger der Kondensator, der sich entlädt, und der Verbraucher der Motor, der die Energie benutzt, um die Propellerbewegung aufrechtzuerhalten.

- b) Vergleiche die Ladezeit des Kondensators mit der Laufzeit des Motors und erkläre den Unterschied.

Hinweis: Wird der Kondensator mithilfe des Motors (beim Pusten) geladen, sind Lade- und Entladezeit vergleichbar. Wird der Kondensator mithilfe der Solarzellen geladen, so läuft der Motor weniger lange, als die Zeit, die er mit Aufladen verbringt. Der Unterschied lässt sich dadurch erklären, dass der Motor mehr elektrische Energie pro Zeiteinheit verbraucht, als die Solarzelle in derselben Zeit produziert. Die gespeicherte Energie kann schneller oder langsamer verbraucht werden, je nach Leistung des Verbrauchers.

- c) Vergleiche die Leuchtdauer der Diode mit der Laufzeit des Motors und erkläre den Unterschied.

Hinweis: Da die Leuchtdiode weniger Leistung hat als der Motor, also weniger Energie braucht, um kontinuierlich zu leuchten, kommt die Leuchtdiode länger mit der zur Verfügung gestellten Energie zurecht.

- d) Begründe, warum sich der Solarmotor nach dem Anpusten weiter dreht und dies sogar in der gleichen Richtung.

Hinweis: Der Motor dreht sich weiter, weil die Energie, die er als Generator dem Kondensator zum Aufladen geliefert hat, nun von diesem wieder zur Verfügung gestellt wird. (Der Pluspol und der Minuspol des Kondensators bleiben bei Aufladen und Entladung gleich, deshalb gleiche Drehrichtung).

- e) Beschreibe die Vorgänge im „Gold Cap“-Kondensator beim Laden und Entladen mithilfe der Abbildung. Beachte dabei, dass an die beiden Elektroden aus Aktivkohle eine Gleichspannung angelegt wird und der Elektrolyt sich in Ionen aufspalten lässt. Warum spricht man hier von einem Doppelschicht-Kondensator?

Hinweis: Im „Gold Cap“-Kondensator sind zwei Prinzipien vereint: Hohe Kapazität durch extrem große Oberfläche der Elektroden und das Doppelschichtprinzip. Die große Oberfläche wird durch die poröse Aktivkohle erreicht. Das Doppelschichtprinzip beruht darauf, dass im entladenen Zustand die Ionen des Elektrolyten ungeordnet sind. Beim Aufladen ordnen sich die Ionen so an, dass an den Elektroden jeweils eine entgegenge-

setzt geladene Schicht entsteht (Doppelschicht). Das wirkt wie zwei hintereinander geschaltete Kondensatoren.

2.6 Fragen

Kondensatoren und besonders „Gold Cap“-Kondensatoren werden genutzt, um kurzzeitig elektrische Energie in relativ großen Mengen zu speichern. Das ist nicht nur beim elektrischen Bremsen in Rennwagen, LKWs und Zügen der Fall. Auch in einem Handy sind „Gold Cap“-Kondensatoren vorhanden zur Kompensation von Leistungsschwankungen. Ein weiteres Anwendungsbeispiel sind sog. Solaruhren: Diese arbeiten in der Regel nicht mehr mit Akkus, sondern die in der Uhr integrierten Solarzellen laden einen „Gold Cap“-Kondensator auf. Errechne, welche Kapazität der Kondensator haben muss, wenn die Uhr bei einem Verbrauch von 0,2 mA und 3 Volt bis zu 48 h ohne Sonnenlicht laufen soll.

Antwort:

$$C = Q / U \text{ [F]}; Q = I \times t \text{ [As]};$$

$$C = I \times t / U$$

$$C = 0,2 \times 10^{-3} \text{ [A]} \times 48 \times 3600 \text{ [s]} / 3 \text{ [V]} = 11,52 \text{ [F]}$$

3 Speicherung von elektrischer Energie in der Zinkjodid-Zelle (Redox-Flow)

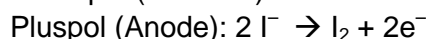
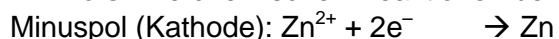
3.5 Auswertung

- a) Beschreibe die Veränderungen nach dem Anpusten des Propellers bzw. nach dem Anschluss der Solarzellen am Minuspol und Pluspol.

Hinweis: An der Anode ist nach kurzer Ladezeit eine braune Färbung durch das gebildete Iod zu erkennen. Die Abscheidung von Zink an der Kathode ist nur schwer zu erkennen.

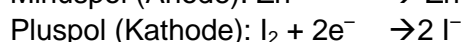
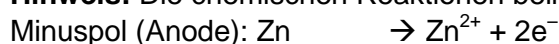
- b) Beschreibe, welche chemischen Reaktionen in der Zinkjodid-Zelle stattfinden, wenn elektrische Energie zugeführt wird (Ladevorgang).

Hinweis: Die chemischen Reaktionen beim Laden der Zinkjodid-Zelle:



- c) Beschreibe, welche chemischen Reaktionen in der Zinkjodid-Zelle stattfinden, wenn ein Verbraucher an die Zelle angeschlossen ist (Entladevorgang).

Hinweis: Die chemischen Reaktionen beim Entladen der Zinkjodid-Zelle:



- d) Mache einen Vorschlag, welche Veränderungen an der verwendeten Zinkjodid-Zelle vorgenommen werden sollten, um dem Modell einer Redox-Flow-Zelle eher zu entsprechen.

Hinweis: Wir müssten statt mit Gel mit zwei wirklich flüssigen Elektrodenmaterialien in wässriger Lösung arbeiten. Die beiden Elektrodenräume müssten durch einen Separator getrennt sein. Und die beiden Elektroden-“Lösungen“ müssten an den Graphitelektroden vorbeigepumpt werden (s. a. Antwort zur Frage!).

3.6 Fragen

Erläutere, wo Energiespeichersysteme, die nach dem Prinzip der Redox-Flow-Zelle arbeiten, am effektivsten eingesetzt werden könnten.

Antwort: Redox-Flow-Systeme können sowohl an beliebiger Stelle im Stromnetz als auch direkt am Entstehungsort von elektrischer Energie, wie einzelnen Windparks oder Solaranlagen, temporär überschüssige elektrische Energie zwischenspeichern. Der Vorteil gegenüber den bewährten Pumpspeicher-Wasserkraftwerken ist, dass die Redox-Flow-Systeme nicht nur an bestimmten geografisch geeigneten Stellen eingerichtet werden können. (Wobei die geeigneten Standorte für Pumpspeicher in Deutschland ohnehin schon rar sind). Auch sind durch Speicherung vor Ort die Energieverluste durch den Stromtransport geringer. Ein weiterer großer Vorteil der Redox-Flow-Technik gegenüber herkömmlicher Akku- bzw. Batterietechnik ist der flüssige Zustand des eigentlichen Elektrodenmaterials. Beide Elektrodenmaterialien liegen im flüssigen Zustand vor und strömen an chemisch inerten Stromabnehmer-Elektroden, z. B. aus Graphit, vorbei. Bei allen herkömmlichen Batterie- und Akkusystemen bestehen die elektrochemisch wirksamen Elektroden aus Festkörpern. Das hat den Nachteil, dass diese Festkörper altern und je nach Akkutyp nur ca. mehrere Hundert bis mehrere Tausend Lade- / Entladezyklen möglich sind. Dazu kommt, dass mit steigender Akkukapazität immer voluminösere Elektroden sehr aufwändig verbaut werden müssen. Bei der Redox-Flow-Zelle hängt die Kapazität lediglich von der Menge an flüssigem Elektrodenmaterial ab, das in einfachen, beliebig großen Tanks abgespeichert werden kann. Bei der früher erprobten Zink / Brom-Zelle (wir haben aufgrund der geringeren Gefährlichkeit in unserem Experiment Zink / Jod genommen) bestand die eine flüssige Elektrode im geladenen Zustand aus einer Zink-Pulver-Wasser Emulsion und die andere aus einer wässrigen Brom-Lösung. Von der Fraunhofer Gesellschaft wurde ein modernes System auf Grundlage von Vanadium-Ionen-Lösungen ($V^{4+/5+}$ und $V^{2+/3+}$) entwickelt. Dieser Zellentyp wird zurzeit in Pilotprojekten z. B. in Windkraftanlagen erprobt. Der Grund dafür, dass sie gerade in Windkraftanlagen erprobt wird, ist, dass Windkraftwerke besonders stark schwankenden Strom erzeugen und es daher nützlich ist, überschüssigen Strom vor Ort speichern und auch Windlöcher wieder ausgleichen zu können.