

## Die Knallgaszelle

Zeitbedarf: ca. 30-40 min

### Versuchsziele

- Eine Knallgaszelle aufbauen, um das Prinzip einer Brennstoffzelle zu verstehen.
- Grundlagen der Brennstoffzellentechnologie verstehen.
- Unterschiede von Primär-, Sekundär- und Tertiärelementen.

### Grundlagen

Das Prinzip der Brennstoffzelle wurde bereit 1839 von *Christian Friedrich Schönbein* entwickelt. Er tauchte zwei Platindrähte in Salzsäure und ließ diese dann mit Sauerstoff und Wasserstoff umspülen. Bei diesem Vorgang bemerkte er eine elektrische Spannung. Von diesem Phänomen waren viele Forscher fasziniert und erhofften sich große revolutionäre Veränderungen. Leider geriet diese Entdeckung in Vergessenheit, da die Dynamomaschine von *Werner von Siemens* in Verbindung mit Dampfmaschinen in Bezug auf Brennstoff unkomplizierter und einfacher war. Mittlerweile ist das Interesse wieder geweckt. Viele Forschergruppen entwickeln immer bessere und leistungsfähigere Brennstoffzellen. Auch in der Automobilindustrie (s. NeCAR<sup>®</sup> 1-5) und Raumfahrttechnik (s. Apollo-Mission/Space-Shuttles) kommen verstärkt Brennstoffzellen zum Einsatz.

Die Brennstoffzelle gehört zu der Klasse der Tertiärelemente. Dies bedeutet, dass die elektrische Energie aus der chemischen Reaktion zwischen Brennstoff und Sauerstoff direkt zur Verfügung gestellt wird. Des Weiteren wird der Brennstoff kontinuierlich zugeführt, sodass ein kontinuierlicher Stromfluss gewährleistet wird. Der Sauerstoff wird meist aus der Umgebungsluft verwendet.

Dies bietet den Vorteil, dass die Zelle kontinuierlich Strom liefern kann (vgl. Primärelemente) und zudem nicht aufgeladen werden muss, solange Brennstoff zugeführt wird (vgl. Sekundärelemente).

Brennstoffzellen weisen Wirkungsgrade von rund 60 – 70 % auf (Verbrennungsmotoren lediglich 30 %). Theoretisch sollten aber nahezu 100 % möglich sein, weshalb viele Forschergruppen aktuell an diesem Thema arbeiten. Es gibt viele Arten von Brennstoffzellen, die bei unterschiedlichen Bedingungen in Betrieb genommen werden.

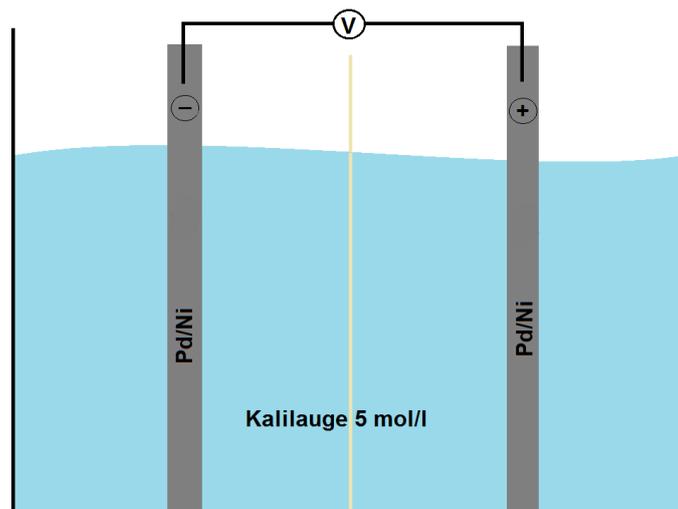


Abb. 2: Skizze des Versuchs. Entnahme von Strom aus der zuvor generierten Brennstoffzelle.

Aber was passiert in einer Brennstoffzelle und wie wird Strom generiert?

Bei der alkalischen Brennstoffzelle, auch als Knallgaszelle oder Niedrigtemperatur-Brennstoffzelle bekannt, wird eine Kalilauge als Elektrolyt verwendet. Als Brennstoff dient Wasserstoff, welcher an der Anode zugeführt wird. Dort wird Wasserstoff zu Protonen oxidiert. Durch die vorliegenden Hydroxidionen, welche an der Kathode durch Reduktion von Sauerstoff gebildet werden, reagiert dieses zu Wasser. Klassische Brennstoffzellen verwenden Graphit-Elektroden aufgrund seiner großen adsorptiven Oberfläche. Folgende Reaktion geschieht:

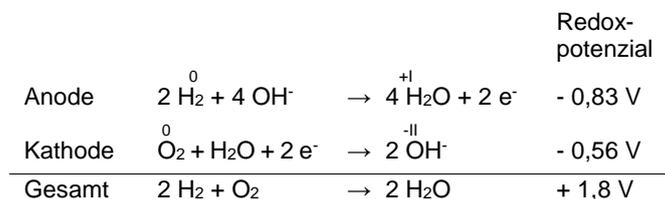


Abb. 1: Aufbau und Materialien des Versuchs.

In diesem Versuch soll mit Hilfe der Elektrolyse eine Knallgaszelle generiert werden. Diese wird dann bezüglich EMK und Lebensdauer untersucht. Der zugeführte Sauerstoff und Wasserstoff wird *in situ* an Palladium generiert.

### Gefährdungsbeurteilung

Achtung! Salzsäure ist ätzend und verursacht schwere Haut- und Augenschäden. Schutzhittel und Schutzbrille tragen.

Palladiumchlorid verursacht schwere Augenreizung.

Salzsäure, konzentriert, 25 %	
	<p><b>Gefahrenhinweise</b></p> <p>H314 Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.</p> <p>H335 Kann die Atemwege reizen.</p> <p>H290 Kann gegenüber Metallen korrosiv sein.</p>
	<p><b>Sicherheitshinweise</b></p> <p>P280 Schutzhandschuhe und Schutzbrille / Gesichtsschutz tragen.</p> <p>P301+P330+P331 BEI VERSCHLUCKEN: Mund ausspülen. KEIN Erbrechen herbeiführen.</p> <p>P309+P310 BEI Exposition oder Unwohlsein: Sofort GIFTINFORMATIONSZENTRUM oder Arzt anrufen.</p> <p>P305+P351+P338 BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.</p>
<p><b>Signalwort:</b> <b>Gefahr</b></p>	
Palladiumchloridlösung	
	<p><b>Gefahrenhinweise</b></p> <p>H315 Verursacht Hautreizungen.</p> <p>H317 Kann allergische Hautreaktionen verursachen.</p> <p>H319 Verursacht schwere Augenreizung.</p>
	<p><b>Sicherheitshinweise</b></p> <p>P280 Schutzhandschuhe tragen.</p> <p>P302+P352 BEI KONTAKT MIT DER HAUT: Mit viel Wasser und Seife waschen.</p> <p>P305+P351+P338 BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.</p>
<p><b>Signalwort:</b> <b>Achtung</b></p>	

### Geräte und Chemikalien

1	Demonstrationsgerät Elektrochemie, CPS ....	664 4071
1	Profilrahmen C50, zweiteilig CPS.....	666 425
1	Tisch zur Elektrochemie, CPS.....	666 472
1	Elektrochemie Zubehör-Set.....	664 401
1	Zelltrog .....	aus 664 401
1	Auffangschale.....	aus 664 401
4	Papierdiaphragma .....	aus 664 401
2	Abgreifklemmen .....	aus 664 401
5	Experimentierkabel.....	aus 664 401
2	Nickeldrahtnetz-Elektroden .....	aus 664 401
1	Pinzette .....	aus 664 401
1	Petrirschale, 120 mm.....	602 740
2	Pasteurpipetten, Glas.....	665 9531
2	Pipettenhütchen .....	665 9541
1	Messzylinder, 10 ml.....	665 751
1	Messzylinder, 100 ml.....	665 754
1	Laborflasche nach DIN, 250 ml .....	602 346
1	Magnetrührer mini mit Magnetührstab .....	607 105
1	Waage .....	ADACB501
1	Uhrglas, 125 mm .....	664 157
1	Spritzflasche, 250 ml .....	661 242
1	Aceton, 250 ml .....	670 0400
1	Wasser, rein, 1 l .....	675 3400
1	Kaliumhydroxid-Plättchen, 250 g .....	672 6400
1	Salzsäure konz., 25 %, 250 ml.....	674 6750
1	Palladiumchloridlösung, 50 ml.....	674 0430

### Versuchsaufbau und -vorbereitung

#### Versuchsaufbau

Das Demonstrationsgerät (Abb. 3) und den Tisch zur Elektrochemie in den Profilrahmen einhängen. Die Auffangschale mittig auf den Tisch zur Elektrochemie stellen. Die beiden Halbzellblöcke des Zelltrogs mit den Schrauben fixieren, sodass ein etwa 0,5 cm breiter Spalt offenbleibt. In diesen Spalt nun zwei übereinandergelegte Papierdiaphragmen legen und die beiden Halbzellen fest mit den Schrauben verschließen. Der Zelltrog sollte nun dicht sein.

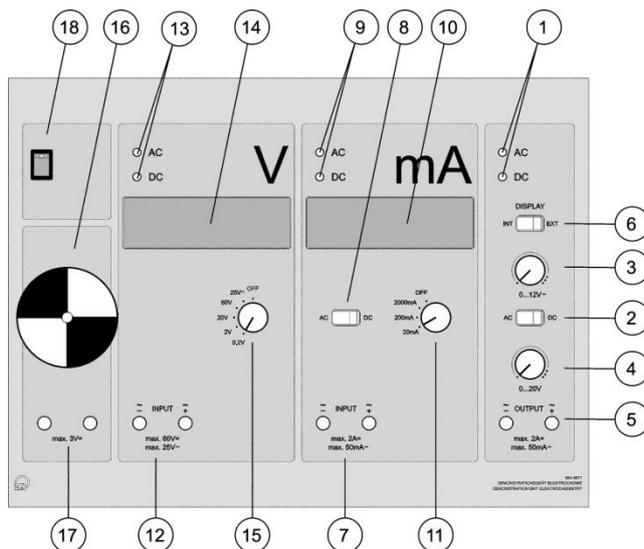


Abb. 3: Skizze des Demonstrationsgeräts.

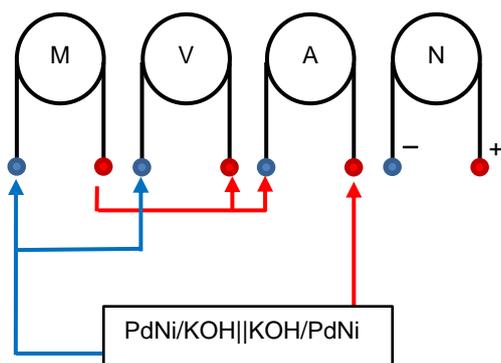


Abb. 4: Schaltung des Versuchs während der Stromentnahme an der Brennstoffzelle.

#### Palladinieren der Nickeldrahtnetz-Elektrode

Die Nickeldrahtnetz-Elektrode besitzt nur ein geringes Adsorptionsvermögen für Gase. Des Weiteren sind Nickeloberflächen katalytisch weniger effizient als Palladiumoberflächen. Deshalb wird die Nickeldrahtnetz-Elektrode mit Palladium beschichtet.

Zunächst wird die Oberfläche entfettet. Dazu taucht man die Nickeldrahtnetz-Elektroden in Aceton. Hierfür die Elektroden in eine Petrischale legen und mit Aceton überschichten. Mit der Pinzette werden die Elektroden mehrmals gewendet. Die Elektroden werden nun mit dest. Wasser gespült und auf ein Papiertuch gelegt. Ab nun dürfen die Elektroden nur noch mit der Pinzette angefasst und transportiert werden.

Die Petrischale ausdampfen lassen oder mit einem Tuch auswischen.

Um eine bessere Haftung des Palladiums zu gewährleisten, werden die Elektroden angeätzt. Dafür werden die Elektroden erneut in der Petrischale vorgelegt und mit konzentrierter Salzsäure überschichtet. Nach 5 Sekunden werden die Elektroden gewendet. Insgesamt verweilen die Elektroden für 10 – 15 Sekunden in der Salzsäure. Die Elektroden mit dest. Wasser abspülen und zum Trocknen auf ein Papiertuch legen. Die Petrischale wird ausgespült und mit dest. Wasser nachgespült.

Das eigentliche Palladinieren erfolgt mit ca. 0,5 % salzsaure Palladiumchloridlösung. Es werden 7 ml salzsaure Palladiumchloridlösung (1 %-ig) in einen Messzylinder (10 ml) abgemessen und die trockene Petrischale übergeführt. Nun hierzu 7 ml dest. Wasser zugeben und rühren. Sollte sich die Lösung nicht gut mit Wasser vermischen, können 2 – 3 Tropfen konz. Salzsäure zugegeben werden. Die Elektroden für einige Minuten in dieser Lösung stehen lassen. Die Elektroden werden 2 – 3-mal gewendet. Das Palladinieren ist augenscheinlich erfolgreich gewesen, wenn sich die Elektroden von silber-farben nach dunkelgrau verfärbt haben.

Die Elektroden können über einen längeren Zeitraum in dest. Wasser gelagert werden. Falls in der Petrischale noch Palladiumchloridreste vorhanden sind, können diese mit in die Aufbewahrungsf Flüssigkeit gegeben werden. Sollte sich während der Versuche Palladium von der Elektrode lösen, so ist das ohne Belang. Erst wenn die Versuche nicht mehr die richtigen Werte liefern, sollte das Palladinieren wiederholt werden.

#### Herstellen der 5 molaren Kalilauge

In einer Laborflasche (250 ml) werden zunächst 140 ml dest. Wasser mit Hilfe eines Messzylinders (100 ml) und ein Magnetrührstäbchen vorgelegt. Die Flasche auf einen Magnetrührer stellen und eine mittlere Rührgeschwindigkeit einstellen. Auf der Waage werden in einem Uhrglas 56,1 g Kaliumhydroxid-Plätzchen abgewogen. Nun portionsweise die Kaliumhydroxid-Plätzchen mit dem Spatel in das rührende Wasser zugeben.

**ACHTUNG:** Nicht zu schnell zugeben, da sich Kaliumhydroxid in Wasser unter großer Wärmeentwicklung löst.

Wenn sich die Plätzchen vollständig gelöst haben, wird die Lösung bis zur 200-ml-Marke mit dest. Wasser aufgefüllt. Die Lösung kann in der Laborflasche gelagert werden. Beschriftung nicht vergessen!

#### Versuchsdurchführung

Die palladinierten Elektroden werden mit der Pinzette in die drittäußerste Nut der Halbzellen gesteckt. Die Ausgangsbuchsen des Netzteils (5) (vgl. Abb. 3) werden mit Experimentierkabeln mit den Elektroden verbunden. Umschalter (6) wird auf interne Stromquelle gestellt. Am Netzteil wird der Kippschalter (2) auf Gleichstrom (DC) gestellt. Kippschalter (8) und Drehregler (15) werden ebenso auf Gleichstrom (DC) gestellt. Mit Umschalter (8) wird die Messanzeige eingeschaltet. In einem Messzylinder werden 70 ml 5-molare Kalilauge abgemessen und in eine Halbzelle übergeführt. Anschließend werden erneut 70 ml Kalilauge im Messzylinder abgemessen und zu der anderen Halbzelle gegeben.

#### Herstellen der Knallgas(brennstoff)zelle durch Elektrolyse

Mit dem Drehregler (4) wird am Netzteil (5) eine Gleichspannung von 2,5 V eingestellt. Die entstehenden Gase können mit einer Glimmspanprobe untersucht werden. Dabei den Glimmspan anzünden und die Glut über die Gase halten. Die Elektrolyse wird nach 90 Sekunden durch Ausschalten des Demonstrationsgerätes beendet.

#### Energieumwandlung aus der Brennstoffzelle

Die palladinierten Nickelelektroden werden mit den Ausgangsbuchsen des Voltmeters (12) und des Amperemeters (7) verbunden. Umschalter (6) wird auf externe Stromquelle gestellt. Das Demonstrationsgerät wird über Umschalter (18) eingeschaltet. Nun kann die Klemmspannung am Voltmeter abgelesen werden. Den Motor zuschalten. Dabei jeweils eine Ausgangsbuchse mit einer Elektrode verbinden (vergleiche hierzu Abbildung 4). Die Zeit bis zum Stillstand des Elektromotors notieren. Durch erneute Elektrolyse kann die Zelle wieder aktiviert werden. Knallgaszelle erneut mit 3,3 Volt Spannung 3 min lang elektrolysieren und die Zeit des Elektromotors notieren.

#### Beobachtung

Während der Elektrolyse ist eine starke Gasentwicklung zu sehen.

Der Motor dreht sich bei Stromentnahme stark und wird mit zunehmender Zeit langsamer, bis dieser zum Stillstand kommt. Die Glimmspanprobe ist erfolgreich. Im Anodenraum glüht der Glimmspan stark auf.

#### Auswertung

Es wurden zwei verschiedene Elektrolysezeiten und Spannungen durchgeführt. Nachfolgende Tabelle enthält die experimentell ermittelten Werte.

Tab. 1: Messwerte und Elektrolysezeiten der Knallgaszelle.

Nr	Elektrolysezeit	Spannung während der Elektrolyse	Klemmspannung	Zeit bis zum Stillstand des Motors
1	2 min	2,5 V	1,3 V	103 Sek.
2	3 min	3,3 V	1,3 V	220 Sek.

**Ergebnis**

Aus den Messergebnissen lässt sich schließen, dass eine längere Elektrolyse oder auch größere Ladespannung auch zu längeren Stromausbeuten führt.

Weiterhin beträgt die Klemmenspannung 1,3 V, was den Alltagsgebrauch sinnvoll erscheinen lässt.

Da es sich bei der Brennstoffzelle um ein Tertiärelement handelt, muss der Brennstoff kontinuierlich zugeführt werden. Dadurch werden beispielsweise Antriebsmöglichkeiten für den Automobilgebrauch schwieriger. Falls die Brennstoffzelle, wie in diesem Versuch, mit Wasserstoff angetrieben wird, so müsste im Fahrzeug ständig eine hochexplosive und unter Druck befindliche Wasserstoffvorratsflasche verstaut sein.

Deshalb ist die Entwicklung solcher brennstoffzell-getriebenen Technologien noch in Erforschung. Alternativen sind zum heutigen Zeitpunkt die Methanol-getriebene Brennstoffzelle, sowie die Feststoff-adaptieren Brennstoffzellen, die aber bislang noch erhöhte Temperaturen für einen reibungslosen Betrieb benötigen.

**Reinigung und Entsorgung**

Kalilauge kann unter starker Verdünnung in den Ausguss entsorgt werden. Die Elektroden mit der Pinzette entnehmen und mehrmals mit dest. Wasser spülen. Die Elektroden in die Aufbewahrungslösung lagern. Zelltrogl mehrmals mit Leitungswasser spülen. Anschließend das Diaphragma durch Lösen der Schrauben entnehmen und den Zelltrogl nochmals mit dest. Wasser spülen und trocknen.