

Rosenberg, Dominique; Wachholz, Mirco; Busker, Maike; Jansen, Walter
**Organische Batterien mit Alizarin. Schulexperimente zur Demonstration von
Flow-Batteries mit dem Farbstoff der Krappwurzel**

formal überarbeitete Version der Originalveröffentlichung in:

formally revised edition of the original source in:

Praxis der Naturwissenschaften - Chemie in der Schule 65 (2016) 3, S. 14-19



Bitte verwenden Sie in der Quellenangabe folgende URN oder DOI /
Please use the following URN or DOI for reference:

urn:nbn:de:01111-pedocs-172091

10.25656/01:17209

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:01111-pedocs-172091>

<https://doi.org/10.25656/01:17209>

Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.

This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Mitglied der


Leibniz-Gemeinschaft

Organische Batterien mit Alizarin

Schulexperimente zur Demonstration von Flow-Batteries mit dem Farbstoff der Krappwurzel

D. Rosenberg, M. Wachholz, M. Busker, W. Jansen, Flensburg/D

Dominique Rosenberg, Abteilung für Chemie und ihre Didaktik, Europa-Universität Flensburg, Auf dem Campus 1, 24943 Flensburg

Einleitung

Im Zusammenhang mit der Energiewende werden derzeit Flow-Batteries für die Speicherung elektrischer Energie diskutiert. Solche Flow-Batteries funktionieren nach dem Prinzip, dass die umzusetzenden Stoffe (Oxidationsmittel bzw. Reduktionsmittel) in geeigneten elektrochemischen Zellen den Elektroden gleichmäßig zugeführt werden und dabei in einem Kreislauf zirkulieren. Nach Durchfluss und Freisetzung elektrischer Energie gelangen die nun oxidierten bzw. reduzierten Substanzen in ein Reservoir und stehen damit für einen Aufladevorgang wieder zur Verfügung. Arbeiten von Aziz [1,2] und Narayanan [3] zeigen, dass sich hierzu Systeme aus Chinonen und Hydrochinonen für eine Umsetzung an Graphitelektroden eignen.

Aziz verwendet in den Flow-Zellen am negativen Pol 9,10-Anthrachinon-2,7-disulfonsäure und am positiven Pol Bromid-Ionen. Im Ladevorgang werden diese Substanzen zu 9,10-Anthrahydrochinon-2,7-disulfonsäure reduziert bzw. zu elementarem Brom oxidiert. Die Reaktion erfolgt an gewöhnlichen Kohlefolien und ohne den Zusatz von Katalysatoren. Narayanan et al. [3] setzen mit 1,2-Benzochinon-3,5-disulfonsäure anstelle von Brom eine weitere organische Substanz mit einem recht positiven Potential von +0,85V ein. Wir haben gezeigt, dass solche Zellen auch im Schul- und Laborexperiment mit einfachen Mitteln durchgeführt werden können [4]. Im Folgenden wird gezeigt, dass der Farbstoff Alizarin ebenfalls sehr wirksam in elektrochemischen Zellen umgesetzt werden kann.

Alizarin (Abb. 1) ist schon lange als der rote Farbstoff der Krappwurzel bekannt und dient als Beizenfarbstoff für eine kräftige Rotfärbung von Stoffen. Der Name Alizarin soll aus dem Spanischen *alizari* und dieses Wort wiederum vom arabischen *al usara* für Krappwurzel stammen [5]. Nach anderen Quellen soll der Name aus dem Türkischen stammen, was ebenfalls für einen arabischen Ursprung spricht. Bekannt ist dort die „Türkisch Rot Färberei“ mit Alizarin. Die chemische Struktur des Alizarins wurde 1869 von Carl Graebe und Carl Liebermann ermittelt, die auch ein technisches Verfahren zur Herstellung des Alizarins aus Anthracen bzw. Anthrachinon entwickelten [6]. Nach einer Verbesserung des Verfahrens durch Heinrich Caro wurde den dreien ein Patent für die technische Synthese des Alizarins erteilt. Danach wurde die Gewinnung des Farbstoffs aus der Krappwurzel bedeutungslos.

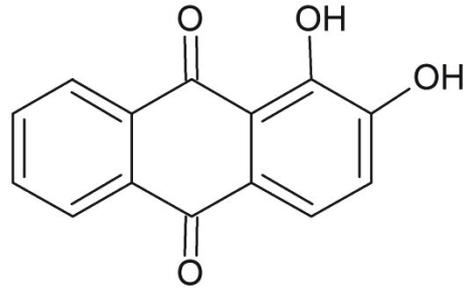


Abbildung 1: Alizarin in Pulverform und die Konstitutionsformel

Versuche zu Batterien mit Alizarin

Für den Unterricht und das Laborpraktikum empfiehlt sich eine stationäre Anordnung, in welcher die Eignung der Elektrodensysteme gezeigt werden kann und die es ermöglicht, Spannungen, Potentiale und Stromstärken zu messen sowie Lade- und Entladezyklen durchzuführen. Hierzu können Kohlefolien, die auch beim Lithium-Ionen-Akku nach Oetken [7] zum Einsatz kommen, verwendet werden. Als Diaphragma bzw. Membran dient ein Blumentopf aus Terrakotta. Das Material ist äußerst dicht und beständig und hat sich bereits bei der Chlor-Alkali-Elektrolyse [8] als sehr geeignet erwiesen. Durch Rühren in den beiden Halbzellen mittels Magnetrührer lässt sich das Prinzip von zirkulierenden Redox-Paaren simulieren.

Aziz et al. [1,2] beschreiben Flow-Batteries, bei denen als Kathode die Kohle/Brom-Elektrode verwendet wird. Der Gedanke liegt nicht fern, anstelle des Broms Sauerstoff zu reduzieren. In [8] haben wir gezeigt, dass sich die neuartige Kohleelektrode nach Oetken im Unterrichtsversuch sehr gut als Sauerstoffverzehrkatode (SVK) eignet. Wir haben diese Elektrode bereits erfolgreich bei Unterrichtsversuchen zu organischen Batterien eingesetzt [4]. Noch bessere Resultate sind zu erreichen, wenn statt der Schwefelsäure an dieser Elektrode Natriumperoxodisulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$) zugesetzt wird, welches in Lösung relativ schnell in Natriumsulfat, Wasserstoffperoxid und Sauerstoff zerfällt. Die Potentiale sind höher und beständiger als bei der rein passiven Aufnahme des Luftsauerstoffs.

Betrachtet man die Konstitutionsformel des Alizarins (Abb. 1), so fallen die orthoständigen Hydroxyl-Gruppen und die paraständigen Chinon-Funktionen ins Auge. Demnach könnte Alizarin in einer elektrochemischen Zelle durch Elektrolyse zu einem Anthrahydrochinon reduziert werden [1-3]. Andererseits könnten die orthoständigen Hydroxyl-Gruppen eine Oxidation zu einem 1,2-Chinon erlauben. Keinen Erfolg erbrachten Versuche, bei denen das Alizarin wie das Anthrachinon elektrochemisch reduziert werden sollte, da sich am Minuspol Wasserstoff abschied. Des Weiteren könnte Alizarin in saurer Lösung zu einem Chinon oxidiert werden. Aber auch Versuche Alizarin in saurer Lösung in einer elektrochemischen Zelle an einer Kohlefolie gegen die Sauerstoffelektrode nach Oetken umzusetzen, schlugen

fehl. Dagegen zeigen Versuche, wie im weiteren Verlauf berichtet wird, im alkalischen Milieu Erfolg. Alizarin ist auch ein Säure/Base-Indikator, der im pH-Bereich von 0 – 6 eine gelbliche Färbung, im pH-Bereich von 6 – 12 rot und darüber hinaus intensiv purpurblau aufzeigt. Man kann annehmen, dass bei pH-Werten zwischen 6 und 12 zunächst ein Proton einer Hydroxyl-Gruppe und bei noch höheren pH-Werten beide Protonen abgespalten werden (Abb. 2).

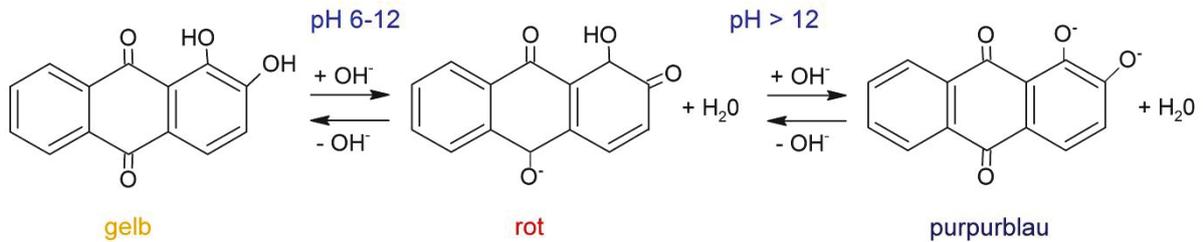


Abbildung 2: Verhalten von Alizarin in Abhängigkeit vom pH-Wert

Die Realisierung der elektrochemischen Zelle erfordert die Umsetzung des Alizarins in alkalischer Lösung und den Einsatz der Kohle/Sauerstoff-Elektrode in saurer Lösung. Das Terrakotta-Material des Tontopfs verhindert selbst über Stunden eine Vermischung der Natronlauge im äußeren Becherglas und der Schwefelsäure im Inneren des Tontopfs und kann dabei ist eine ausgezeichnete Ionen-Leitfähigkeit gewährleisten (Abb. 3).

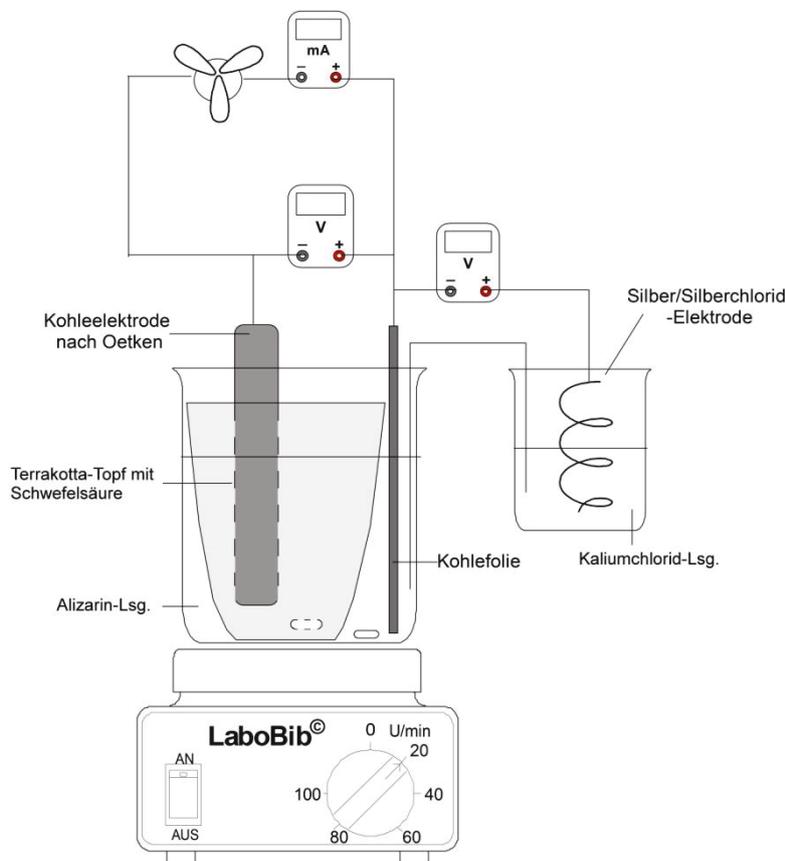


Abbildung 3: Versuchsaufbau zur Alizarin-Sauerstoff-Zelle

Bezugsquellen:

	Händler	Artikelnr.	Maße	Preis
Siebhülsen	Baumarkt	----	Ø = 16 mm, L = 5 mm	4 Stk für 2,65 €
Kohlestab- elektrode	http://www.eydam.de/	139098010	100 x 8 mm	2,80 € pro Stk
Graphitfolie	www.conrad.de	189 060	190 x 190 x 0,2 mm	5,99 € pro Stk
Multimeter	www.conrad.de	1090519-62		19,99 € pro Stk
Terrakotta- Blumentopf	Baumarkt	----	Ø = 65 mm, H = 80 mm	0,79 € pro Stk
Leistungs- starker Motor	www.heliocentris.com	H60-0047		20,00 € pro Stk.
Leistungs- schwacher Motor	www.lemo-solar.de	SMM502		47,90 € pro Stk.
Becherglas, breit	www.carlroth.com	C116.1	600 ml	10 Stk für 66,40 €

Versuch 1: Alizarin-Sauerstoff-Batterie

Geräte: Becherglas 600 mL breit, Blumentopf aus Terrakotta (Tontopf) - unten mit einem passenden Gummistopfen verschlossen, leistungsschwacher Elektromotor von Lemo Solar, 2 Multimeter, Kabelmaterial, Krokodilklemmen, Kohlefolie ca. 5 cm x 3 cm, neuartige Kohleelektrode nach Oetken, ggf. Magnetrührer mit Rührkernen, Stativ und Stativmaterial, Silber/Silberchlorid-Elektrode

Chemikalien: Alizarin (z.B. Sigma-Aldrich 100g/ 82,00 €), Schwefelsäure $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \text{ca. } 1 \text{ mol/L}$, Natronlauge $c(\text{NaOH}) = \text{ca. } 1 \text{ mol/L}$

Versuchsdurchführung a

Die Apparatur wird wie in Abb. 3 aufgebaut. In das Becherglas wird eine Lösung von 0,5 g Alizarin in etwa 150 mL Natronlauge gegeben und die Kohlefolie in die Alizarin-Lösung gehängt. In den Tontopf werden etwa 100 mL der Schwefelsäure gefüllt und die Kohleelektrode nach Oetken hineingestellt. Die Spannung zwischen den Elektroden kann mit einem Voltmeter gemessen werden. Zur Messung der Elektrodenpotentiale kann noch eine Silber/Silberchlorid-Elektrode installiert werden, welche über zwei Voltmeter mit den Elektroden verbunden wird, um die Potentiale der beiden Elektroden zu messen. Zunächst wird die Ruheklemmenspannung gemessen und die Ruhepotentiale werden bestimmt. Dann wird ein leistungsschwacher Elektromotor und ein Amperemeter in den Stromkreis zwischen den Elektroden geschaltet. Nun werden eine gewisse Zeit Klemmenspannung, Elektrodenpotentiale und Stromstärke gemessen.

Bei unserem Versuch betrug die Ruheklemmenspannung nach 5 Minuten 0,90 V, das Ruhepotential der Alizarin/Kohle-Elektrode war +0,09 V und das Potential der Sauerstoff/Kohle-Elektrode +0,98 V. Nach dem Einschalten des Motors und des Amperemeters in den Stromkreis betrug die Klemmenspannung 0,78 V, die Potentiale der Elektroden waren +0,18 V und +0,97 V und der Motor nahm einen Strom von 1,5 mA auf. Der Propeller drehte sich lebhaft und daran änderte sich auch im Laufe von 35 Minuten wenig. Nach Entfernung des Motors und des Amperemeters betragen nach 5 Minuten die Ruheklemmenspannung 0,87 V und die Potentiale +0,15 V bzw. +1,01 V (Abb. 4). Die Reaktionsgleichungen an den Elektroden sind in Abb. 5 dargestellt.

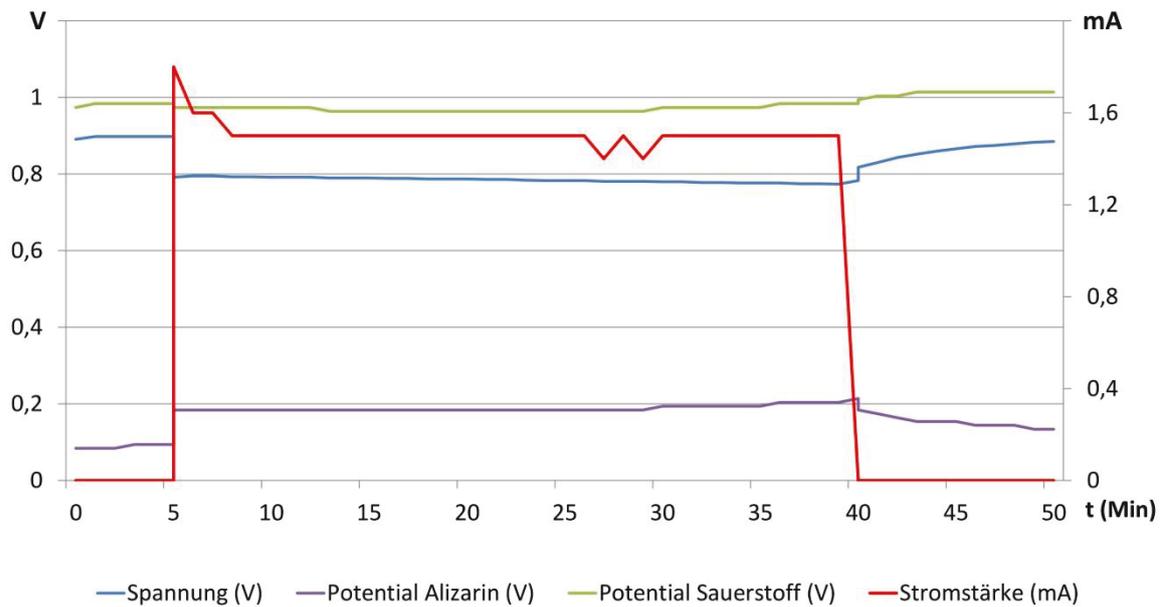
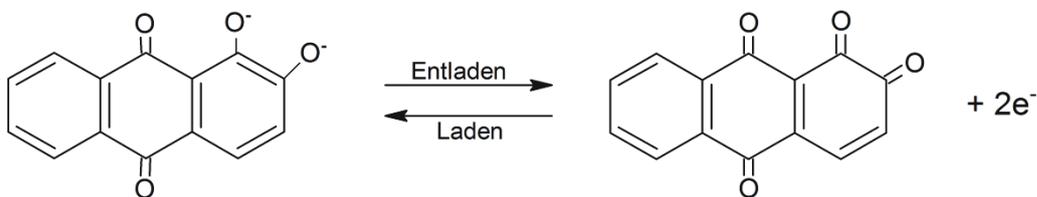


Abbildung 4: Zeitlicher Verlauf von Spannung, Stromstärke und den Potentialen der Alizarin-Sauerstoff-Zelle mit einem leistungsschwachen Motor

Minuspol



Pluspol



Abbildung 5: Reaktionen in der Alizarin-Sauerstoff-Zelle

Versuchsdurchführung b

Geräte und Chemikalien wie bei Versuchsdurchführung a, zusätzlich leistungsstarker Elektromotor von Heliocentris, Natriumperoxodisulfat (z.B. Roth 1kg /23,80€)

Die Apparatur wird wie in Versuchsdurchführung a aufgebaut. In den Tontopf werden zusätzlich zur Schwefelsäure noch 10 g Natriumperoxodisulfat gegeben und umgerührt. In das Becherglas wird eine Lösung von 2 g Alizarin in 150 mL Natronlauge gefüllt. Nun werden die Ruheklemmenspannung und die Elektrodenpotentiale gemessen. Anschließend wird der leistungsstarke Elektromotor von Heliocentris und ein Amperemeter in den Stromkreis geschaltet und es wird 30 oder 60 Minuten lang gemessen.

In unserem Versuch, der ohne Rühren durchgeführt wurde, betrug die Ruheklemmenspannung nach 10 Minuten 1,09 V, das Potential der Kohle/Sauerstoff-Elektrode +1,18 V und das Potential der Kohle/Alizarin –Elektrode +0,09 V. Nach dem Einschalten des Elektromotors und des Strommessers in den Stromkreis sank die Klemmenspannung auf 0,88 V, das Potential der Kohle/Alizarin-Elektrode betrug nun +0,24 V, die Stromaufnahme des Motors 24,0 mA. Im Verlauf von 60 Minuten änderte sich an diesen Werten wenig, da die Zellspannung 0,84 V, das Potential der Kohle/Alizarin-Elektrode +0,25 V und die Stromaufnahme des Motors 23,7 mA betrug. 10 Minuten nach Abschalten des Motors betrug die Ruheklemmenspannung wieder 1,10 V und das Potential der Kohle/Alizarin-Elektrode +0,12 V (Abb. 6).

Die Versuchsergebnisse zeigen die außerordentlich hohe Wirksamkeit dieser Alizarin/Sauerstoff-Batterie.

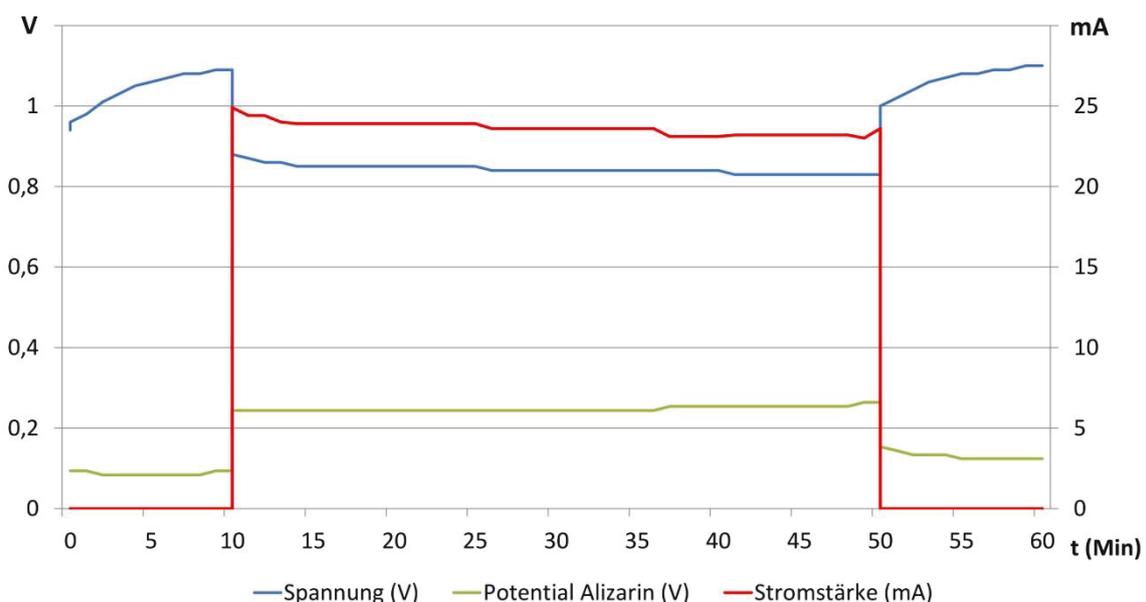


Abbildung 6: Zeitlicher Verlauf von Spannung, Stromstärke und Potential der Alizarin-Sauerstoff-Zelle mit Natriumperoxodisulfat und einem leistungsstarken Motor

Versuchsdurchführung c

Geräte und Chemikalien wie in Versuchsdurchführung b, anstelle des Elektromotors ein Widerstand von 47 Ohm, Messgerät Cassy Lab mit zugehörigem Laptop und Programm

Das Cassy Lab wird zur Messung der Zellspannung und der Stromstärke mit den Elektroden verbunden. Im Stromkreis zur Messung der Stromstärke befindet sich der Widerstand. Dieser Stromkreis bleibt zunächst offen, um Ruheklemmenspannung und Elektrodenpotential zu messen. Die Aufzeichnung des Anodenpotentials erfolgt per Hand.

Die Ergebnisse unseres Versuchs sind in der Abb. 7 niedergelegt. Sie entsprechen den Ergebnissen aus der Versuchsdurchführung b.

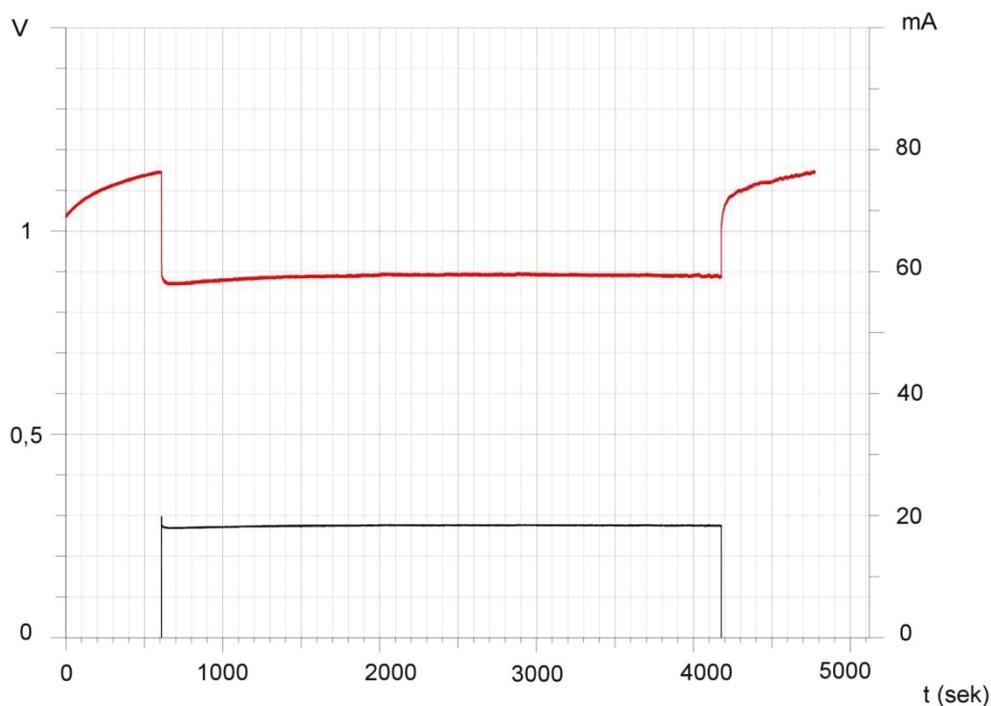


Abbildung 7: Zeitlicher Verlauf von Spannung und Stromstärke der Alizarin-Sauerstoff-Zelle mit Natriumperoxodisulfat und einem 47 Ohm Widerstand. Die Aufnahme erfolgte mit dem Cassy Lab.

Der Grundgedanke einer Speicherung elektrischer Energie in Flow-Batteries ist der Umsatz von im Elektrolyten an die Elektrode transportierten Substanzen, die dort unter Freisetzung elektrischer Energie umgesetzt werden können. Später können die gebildeten Substanzen bei Vorhandensein überschüssiger elektrischer Energie wieder in einer Elektrolyse in die ursprünglichen Stoffe zurückgebildet werden. Neben den von Aziz et al. und Narayanan et al. vorgeschlagenen Systemen sollten Eisen(III)-Ionen eine geeignete Kathodensubstanz darstellen. Eisen(III)-Ionen lassen sich an Platin-Elektroden leicht zu Eisen(II)-Ionen reduzieren, der umgekehrte Prozess ist ebenso einfach möglich. Das Ionen-Umladungs-Potential beträgt +0,78 V. Da das Potential der Alizarin/Kohle-Elektrode bei etwa +0,05 V liegt, sollte die Ruheklemmenspannung einer solchen Batterie bei etwa 0,73 V liegen. Im folgenden

Versuch wird geprüft, ob das System Eisen(III)/Eisen(II)-Ionen an einer Kohlefolie ausreichend schnell reagiert und sich zusammen mit der Alizarin/Kohle-Elektrode eine funktionierende Batterie betreiben lässt.

Versuch: 2 Alizarin-Eisen(III)-sulfat-Batterie

Geräte und Chemikalien wie in Versuch 1, zusätzlich Eisen(III)-sulfat ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) und eine weitere Kohlefolie

Der Versuch wird wie in Abb 3. aufgebaut. Aus 10g Eisen(III)-sulfat in 100 mL Wasser wird eine Lösung zubereitet, die mit 5 mL der Schwefelsäure angesäuert und in den Tontopf gefüllt. Darin wird die zweite Kohlefolie eingehängt. Da das Potential dieser Elektrode besonders interessiert, wird es gegen die Silber/Silberchlorid-Elektrode gemessen. Nach der Messung der Ruheklemmenspannung und des Ruhepotentials werden ein leistungsschwacher Motor und ein Strommesser in den Stromkreis geschaltet und 30 bis 60 Minuten Spannung, Potential und Stromstärke gemessen.

In unserem Versuch betrug die Ruheklemmenspannung nach 8 Minuten 0,83 V und das Kathodenpotential +0,81 V. Nach Einschalten von Motor und Strommesser betrug die Klemmenspannung zunächst 0,54 V, das Potential der Kathode +0,72 V und die Stromaufnahme des Motor 2,1 mA. Der Propeller des Motors drehte sich dauerhaft während der gesamten Versuchsdauer von 60 Minuten. Die Spannung fiel im Laufe dieser Zeit leicht auf 0,47 V ab, während das Potential der Kohle/Eisen(III)-Elektrode bei +0,71 V verblieb. Die Stromaufnahme durch den Motor stieg stark an und erreichte schließlich 4,2 mA, was auch in einer schnelleren Drehbewegung des Propellers sichtbar wurde. Graphisch sind die Versuchsergebnisse in Abb.8 dargestellt.

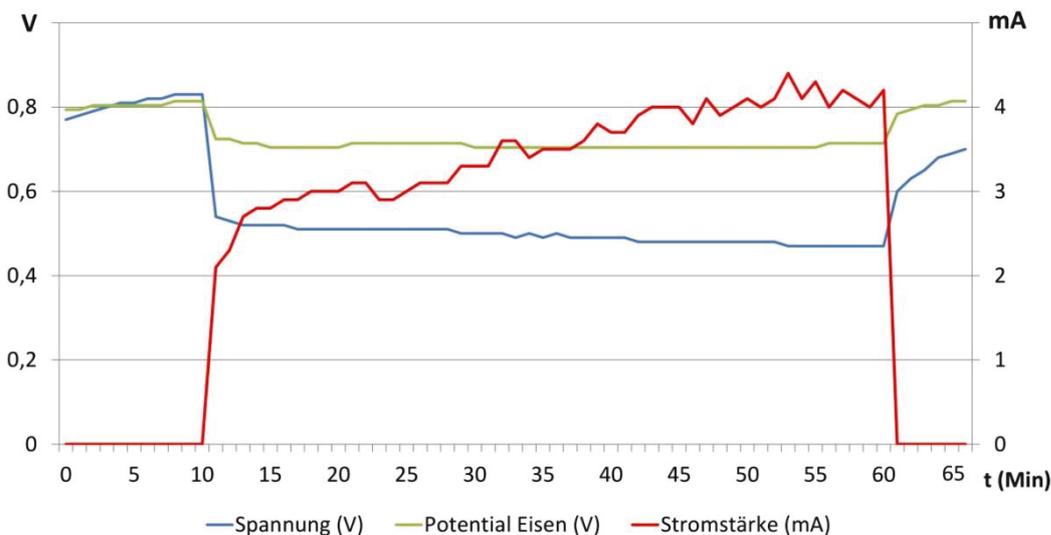


Abbildung 8: Zeitlicher Verlauf von Spannung, Stromstärke und Potential der Alizarin-Eisen(III)-sulfat-Zelle mit einem leistungsschwachen Motor

Die Wiederaufladbarkeit einer solchen Flow-Battery mit Eisen(III)-sulfat müsste noch gezeigt werden. Die Lösungen von Eisen(II)-Ionen lassen sich elektrochemisch sehr leicht wieder zu Eisen(III)-Ionen oxidieren.

Aufgrund der verwendeten Konzentrationen ist die Färbung alkalischer Alizarin-Lösungen sehr intensiv, so dass eine Farbänderung im Laufe der Versuche nicht beobachtet werden kann. Der folgende Versuch wird daher mit sehr geringen Konzentrationen durchgeführt, um bei vollständiger Oxidation des Alizarins eine Farbänderung zum orange-gelblichen feststellen zu können. Danach müsste bei einem elektrochemischen Reduktionsprozess die purpurblaue Farbe des Alizarins in alkalischer Lösung wieder erscheinen.

Versuch 3: Alizarin-Sauerstoff-Batterie in sehr verdünnter Alizarin-Lösung

Geräte und Chemikalien wie in Versuch 1, regelbare Spannungsquelle, Becherglas 1000 mL oder Meßkolben 1000 mL

Zunächst werden 1,5 mg Alizarin in 1000 mL Natronlauge gelöst. Die Apparatur wird wie in Versuch 1 (Abb. 3) aufgebaut. In das Becherglas werden 200 mL der verdünnten Alizarin-Lösung eingefüllt und die Kohlefolie eingehängt. In einen frischen Tontopf werden 100 mL Schwefelsäure und 10 g Natriumperoxodisulfat gegeben und die Kohlelektrode nach Oetken hineingestellt. Die Alizarin-Lösung ist noch deutlich purpurblau gefärbt. Um einen schnellen Verbrauch des Alizarins zu erreichen, wird ein leistungsstarker Motor mit hoher Stromaufnahme gewählt.

In unserem Versuch betragen die Ruheklemmenspannung nach 5 Minuten 1,03 V und das Potential der Anode +0,05 V. Nach Einschalten des Motors in den Stromkreis fiel die Spannung sofort stark ab und das Potential der Anode stieg stark an. Nach 10-minütigem Betrieb blieb der Propeller des Motors stehen. Die Spannung betrug hier noch 0,21 V und das Potential der Anode +0,82 V. Nach insgesamt 60 Minuten war die purpurblaue Farbe der Lösung völlig verschwunden (Abb.9). Die Lösung hatte eine gelbe Farbe angenommen. Die Spannung betrug nun noch 0,14 V und das Potential der Anode +0,93 V (Abb. 10).



Abbildung 9: Die Darstellung der Verfärbung der Alizarin-Sauerstoff-Zelle mit einer stark verdünnten Alizarin-Lösung

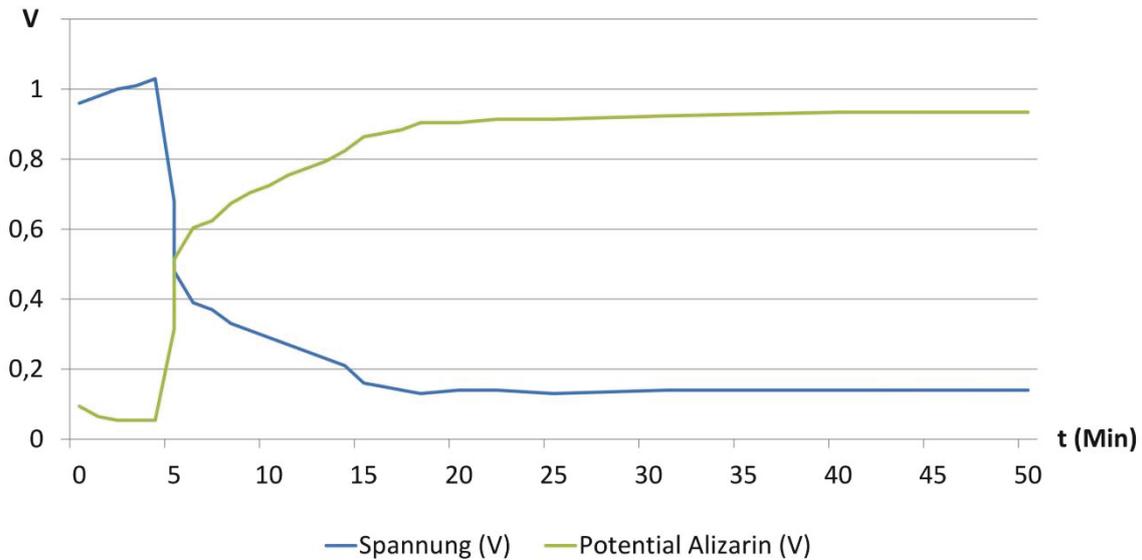


Abbildung 10: Zeitlicher Verlauf von Spannung und Potential der Alizarin-Sauerstoff-Zelle mit einer stark verdünnten Alizarin-Lösung

Nach dem Verbinden der Kohle/Alizarin-Elektrode mit dem Minuspol und der Kohleelektrode nach Oetken mit dem Pluspol einer Spannungsquelle wurde versucht, die Zelle bei etwa 3 V wieder aufzuladen. Dabei zeigte sich, dass die purpurblaue Färbung der Alizarin-Lösung nicht wiederkehrte. Vielmehr konnte an der Kohlefolie eine Gasentwicklung (Wasserstoff) beobachtet werden. Das bedeutet, dass die Alizarin-Batterie nicht wieder aufladbar ist.

Zum Schluss soll noch eine rein organische Batterie mit Alizarin beschrieben werden. Als Kathodenmaterial soll wie bei Narayanan [3] Benzochinon zum Einsatz kommen.

Versuch 4: Alizarin-Benzochinon-Batterie

Geräte und Chemikalien wie in Versuch 1, Versuchsdurchführung c ohne Kohle/Sauerstoff-Elektrode nach Oetken und Natriumperoxodisulfat, zusätzlich eine weitere Kohlefolie, 1,4-Benzochinon (z.B. Sigma-Aldrich 100g/25,60€), Ethanol

Der Versuch wird wie in Versuch 1, Versuchsdurchführung c, aufgebaut. Spannung und Stromstärke werden mit dem Cassy Lab gemessen, die Elektrodenpotentiale, die gegen die Silber/Silberchlorid-Elektrode gemessen werden, werden von Hand aufgezeichnet. Als Widerstand im Stromkreis dient ein Widerstand von 47 Ohm. Anstelle dessen kann auch ein leistungsschwacher Elektromotor verwendet werden.

In unserem Versuch betrug die Ruheklemmenspannung 0,70 V, das Potential der Anode +0,06 V und das der Kathode +0,77 V. Nach Einschalten des Widerstands in den Stromkreis wurden Spannung und Stromstärke 60 Minuten lang aufgezeichnet (Abb. 11). Das Potential der Anode stieg lediglich von +0,19 V auf +0,21 V an, das Potential der Kathode änderte sich ebenfalls kaum und lag zwischen +0,64 und +0,67 V (Abb. 12). Damit zeigt die Batterie ein sehr stabiles Verhalten bei Belastung.

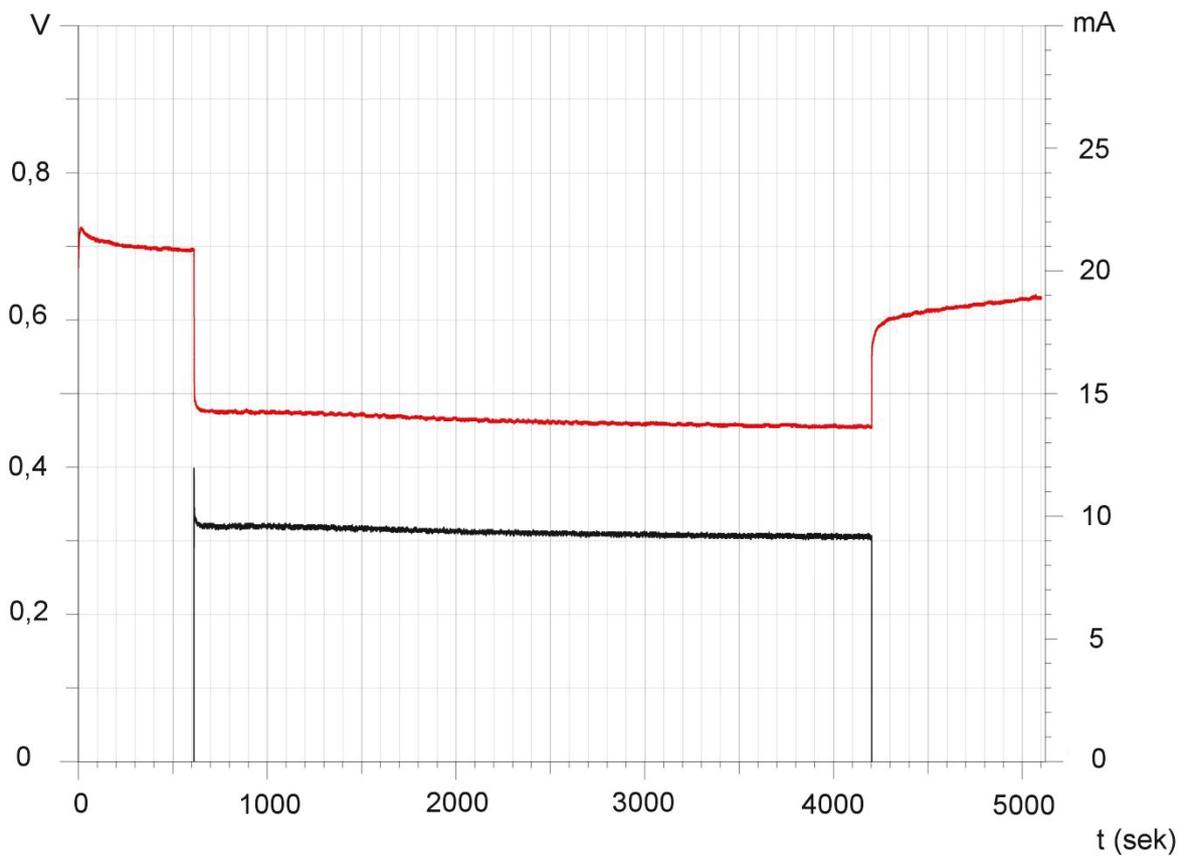


Abbildung 11: Zeitlicher Verlauf von Spannung und Stromstärke der Alizarin-Benzochinon-Zelle mit einem 47 Ohm Widerstand. Die Aufnahme erfolgte mit dem Cassy Lab.

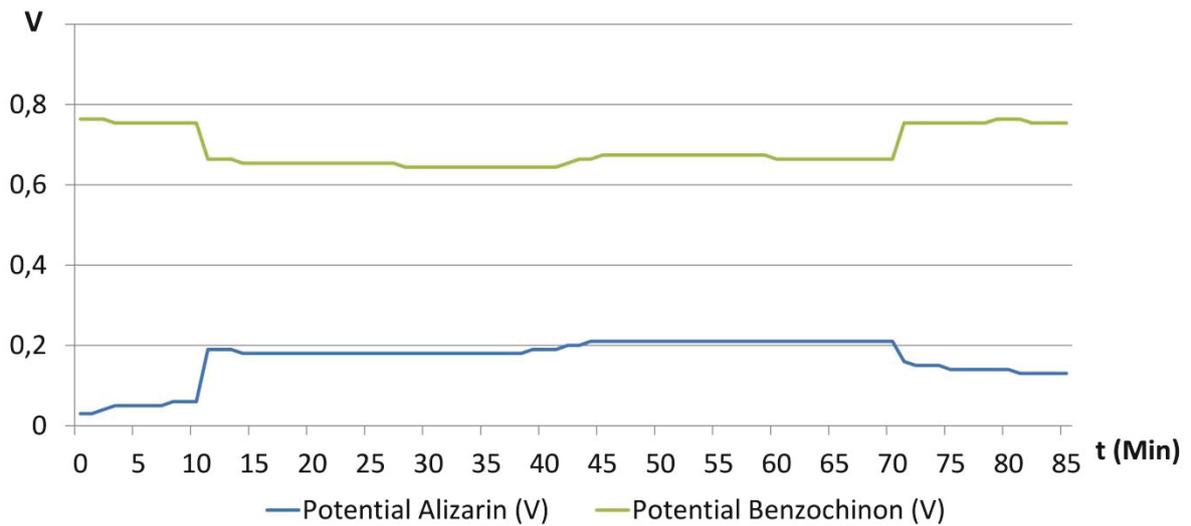


Abbildung 12: Zeitlicher Verlauf von den Potentialen der Alizarin-Benzochinon-Zelle mit einem 47 Ohm Widerstand

Ausblick

Die Untersuchungen zeigen, dass elektrochemische Zellen mit Alizarin an Kohlefolien in alkalischer Lösung ein geeignetes Anodensystem für Flow-Batteries darstellen. Als Kathodensystem kommen neben Sauerstoff auch Eisen(III)-sulfat und Benzochinon in Frage. In einer Folgearbeit werden wir zeigen, dass als Anodensubstanzen auch Pyrogallol und Gallussäure in Frage kommen. Vorversuche haben sogar ergeben, dass sich Medikamente, wie Ascorbinsäure und Paracetamol, sowie Aromastoffe, wie Vanillin, ebenfalls für Batteriezwecke eignen.

Dank

Wir danken Frau Hanne Rautenstrauch für die kritische Durchsicht des Textes und für die professionelle Bearbeitung der Grafiken.

Literatur

- [1] B. Huskinson, S. Nawar, M. R. Gerhardt, M. Aziz, Novel Quinone-Based Couples for Flow-Batteries. ECS Transactions 57 (7), 101-105 (2013)
- [2] B. Huskinson, M. P. Marshak, S. Changwon, E. Süleyman, M. R. Gerhardt, C. J. Galvin, X.Chen, A. Aspuru-Guzik, R. G. Gordon, M. Aziz, A metal-free organic – inorganic aqueous flow-battery. Nature Vol. 505, 195-198 (2014)
- [3] B. Yang, L. Hooper-Burkhardt, F. Wang, G. K. S.Prakash, S. R. Narayanan, An Inexpensive Aqueous Flow Battery for Large-Scale Electrical Energy Storage Based on Water-Soluble Organic Redox Couples. ESC 161(p), A1371-A1380 (2014)
- [4] D. Rosenberg, M. Behnisch, S. Pansegrau, M. Busker, W. Jansen, Speicherung elektrischer Energie mit neuartigen, organischen Batterien, PdN Chemie 8/64, Seite x (2015)
- [5] J. Falbe, M. Regitz (Hrsg), Römpp Chemie Lexikon, 9. Erweiterte Auflage, Stuttgart/ New York, 97-98 (1989)
- [6] C. Gräbe, C. Liebermann, Über künstliches Alizarin, Ber. d. deutsch. Chem. Ges. 2, 332-334 (1869)
- [7] M. Hasselmann, M. Oetken, Elektrische Energie aus dem Kohlenstoffsandwich Lithium-Ionen. CHEMKON 18/4, 160-172 (2011)
- [8] T. Otto, C. Pöhls, M. Busker, W. Jansen, Chlor-Alkali-Elektrolyse mit der Sauerstoffverzehrkatode, PdN Chemie 8/64, Seite x (2015)