

Rosenberg, Dominique; Pansegrau, Svenja; Busker, Maike; Jansen, Walter Energiespeicherung in organischen Redox-Flow-Batteries mit dem roten Farbstoff in Henna

formal überarbeitete Version der Originalveröffentlichung in:

formally revised edition of the original source in:

Nachrichten aus der Chemie 65 (2017) 2, S. 167-171



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

urn:nbn:de:0111-pedocs-247012

10.25656/01:24701

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-247012>

<https://doi.org/10.25656/01:24701>

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

Energiespeicherung in organischen Redox-Flow- Batteries mit dem roten Farbstoff in Henna

Dominique Rosenberg – Svenja Pansegrau - Maike Busker – Walter Jansen

Redox-Flow-Batteries zur Energiespeicherung aus Wind- und Solaranlagen sind derzeit Gegenstand intensiver Forschung insbesondere auch mit organischen Redoxpaaren. Wir zeigen, dass solche Systeme auch im Unterricht an Schulen und Hochschulen erfolgreich eingesetzt werden können.

Einleitung

Im Rahmen der Energiewende werden die Anteile der so genannten erneuerbaren Energien aus Wind- und Solaranlagen an der Stromversorgung steigen. Um den daraus resultierenden Schwankungen in der Energieversorgung zu begegnen, sind Energiespeichersysteme von Nöten. Da elektrische Energie als solche nicht in größerem Umfang gespeichert werden kann, werden derzeit Pumpspeicherwerke, die elektrolytische Wasserspaltung und geeignete große Akkumulatoren diskutiert.

Seit Kurzem werden in der aktuellen Diskussion so genannte Flow-Batteries beschrieben, die im Vergleich zu traditionellen Batterien einen größeren Stoffumsatz ermöglichen sollen.

Hierzu ist für jede Halbzelle ein Kreislauf installiert, in dem ein Elektrolyt mit einem geeigneten Redox-Paar zirkuliert. Aus dem Reservoir gelangt der Elektrolyt in die Halbzelle, wird dort über die Elektrodenfläche geleitet, wobei die im Elektrolyten enthaltenen elektrochemisch wirksamen Stoffe umgesetzt werden. Der Elektrolyt gelangt nach Durchfluss und elektrochemischer Reaktion wieder in ein Reservoir. Auf diese Weise werden beim Ladevorgang durch Oxidation bzw. Reduktion Reaktionsprodukte angereichert, die bei der Rückreaktion wieder unter Freisetzung elektrischer Energie zu den Ausgangsstoffen reagieren. Wesentlich für die Wirksamkeit der Flow-Battery ist der Einsatz geeigneter Redoxpaare. Vanadin-Ionenpaare in verschiedenen Oxidationsstufen und Oxidationspotenzialen wie V^{2+}/V^{3+} und VO_2^+/VO^{2+} wurden als Redoxpaare erfolgreich erprobt.^{1,2)} Der Aufbau einer solchen Redox-Flow-Battery ist in Abb. 1 dargestellt.

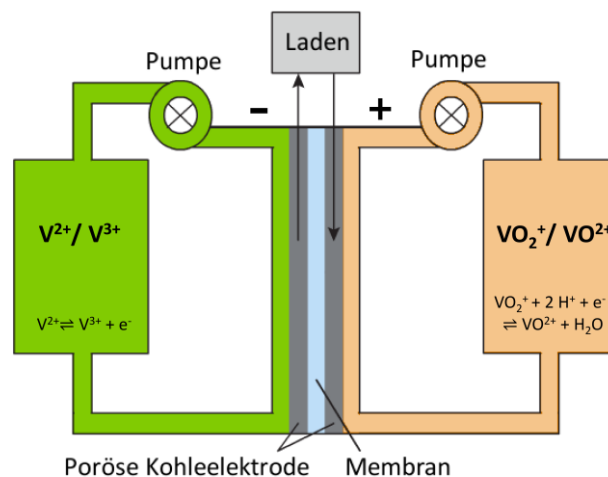


Abbildung 1: Redox-Flow-Battery mit Vanadiumsalzen als Redoxpaare [vgl. 6]

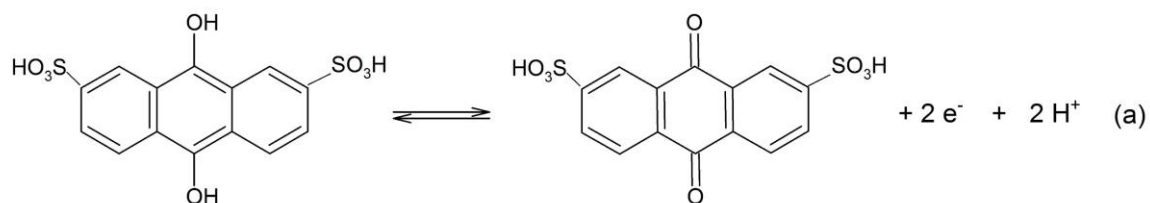
Mitte Juli 2014 ist in Braderup an der Westküste Schleswig-Holsteins ein Hybrid-Stromspeicher für einen 18 MW-Bürgerwindpark mit einer Gesamtkapazität von 3,4 MWh in Betrieb gegangen. In diesem Stromspeicher werden zum einen Lithium-Ionen-Batterien und zum anderen ein Vanadium-Redox-Flow-Speicher verwendet. Das Gesamtsystem wurde von der Firma Bosch entwickelt und installiert.³⁾ Inzwischen wird auch von ersten Elektroautos, die mit Redox-Flow-Batteries betrieben werden, berichtet.⁴⁾

Arbeitsgruppen um M. Aziz von der Harvard University und S.R. Narayanan von der Southern California University haben kürzlich geeignete Systeme aus Chinonen und Hydrochinonen entwickelt, die in Redox-Flow-Zellen an Grafitelektroden umgesetzt werden können.⁵⁻⁷⁾ Die Arbeitsgruppe von Aziz et al. setzt für ihre Flow-Zellen am negativen Pol 9,10 Anthrachinon-2,7-disulfonsäure (die Disulfonsäure wird auf Grund ihrer guten Löslichkeit in Wasser gewählt) und am positiven Pol Bromid-Ionen ein. Im Ladevorgang werden an gewöhnlichen Graphitfolien ohne Zusatz von Katalysatoren diese Substanzen zu Anthrahydrochinon-2,7-disulfonsäure reduziert bzw. zu elementarem Brom oxidiert. Das Anthrachinon/Anthrahydrochinon-Potenzial beträgt in Schwefelsäure +0,09 V, das Brom/Bromid-Potenzial unter Standard-Bedingungen + 1,09 V, so dass die Ruheklemmenspannung dieser elektrochemischen Zelle 1,0 V ergibt. Wird die Batterie nach der Aufladung über einen Verbraucher entladen, so laufen die umgekehrten Reaktionen ab (Abb. 2, Gleichung a).

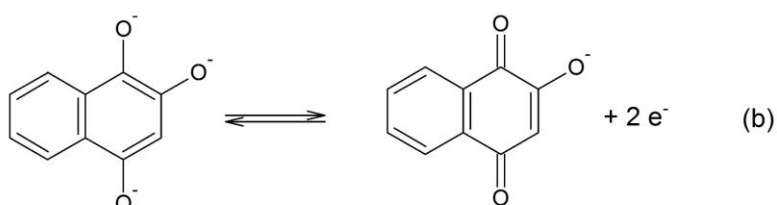
Narayanan et al. verwenden als positive Elektrode anstelle von Brom eine weitere organische Substanz mit einem recht positiven Potenzial: 1,2-Benzochinon-3,5-Disulfonsäure. Diese Substanz besitzt in Schwefelsäure ein Potenzial von + 0,85 V, so dass die Ruheklemmenspannung einer Batterie mit Anthrahydrochinon-disulfonsäure an der Gegenelektrode 0,74 V beträgt. Die Wiederaufladbarkeit und Zyklenstabilität liegt bei etwa 100 %. Abb. 2c zeigt die Reaktionsgleichungen.

Reaktionen auf der Anodenseiten:

9,10-Anthrahydrochinon-2,7-disulfonsäure

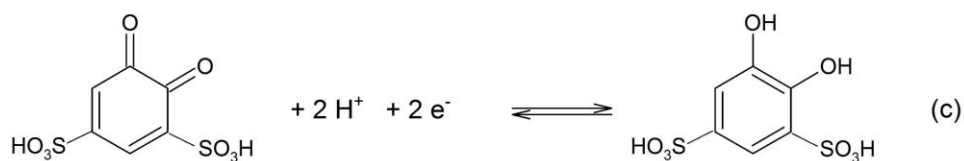


2-Hydroxy-1,4-naphthochinon

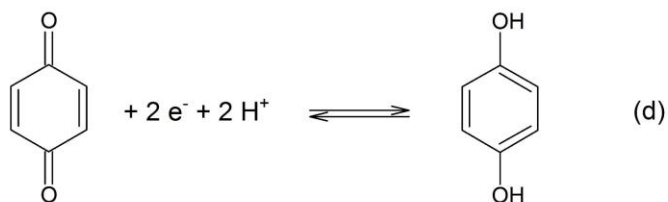


Reaktionen auf der Kathodenseiten:

1,2-Benzochinon-3,5-disulfonsäure



1,4-Benzochinon



Brom



Abbildung 2: Elektrodenreaktionen bei den Redox-Flow-Batteries

- (a) 9,10-Anthrachinon-2,7-disulfonsäure/ 9,10-Anthrahydrochinon-2,7-disulfonsäure
- (b) 2-Hydroxy-1,4-naphthochinon/ 2-Hydroxy-1,4-naphthohydrochinon
- (c) 1,2-Benzochinon disulfonsäure/ Brenzcatechin disulfonsäure
- (d) 1,4-Benzochinon/ Hydrochinon
- (e) Brom/ Bromwasserstoffsäure

Versuche mit organischen Redox-Flow-Zellen

Ziel des im Juli 2014 begonnenen Chemiedidaktikprojekts ist die Erschließung dieses Themenfelds für den Chemieunterricht an Schulen und Hochschulen. Vanadiumsalze kommen aufgrund ihrer Toxizität für die Schule nicht in Frage. Deshalb werden in Anlehnung an Aziz et al. und Narayanan et al. in den folgenden Arbeiten organische wiederaufladbare Systeme untersucht.

Anstelle von Selbstbaumodellen der Redox-Flow-Zellen werden hier jedoch für die Schule und das Laborpraktikum eine einfache Laboranordnung beschrieben, mit der das Prinzip der organischen Batterien demonstriert werden kann.⁸⁾

Als wirksames Diaphragma dient in den Versuchen ein Tontopf aus Terrakotta ($\varnothing = 65$ mm, H = 80 mm), der unten durch einen Gummistopfen verschlossen ist. Wie vorangegangene Arbeiten bereits zeigten, ist eine gute Ionenleitfähigkeit durch den Tontopf gewährleistet, während eine Vermischung von Anoden- und Kathodenelektrolyten über mehrere Stunden wirksam verhindert wird.⁹⁻¹¹⁾ Der Tontopf wird in ein Becherglas (600 ml weit) gestellt. Als Elektroden werden Grafitfolien der Firma Conrad (Art. 2-572-198) oder die Aktivkohleelektrode nach Oetken verwendet. Bei letzterer handelt es sich um eine Elektrode aus gekörnter Aktivkohle (Roth, Aktivkohle, Art.-Nr. 5966.2), die sich in einer Siebhülse aus dem Baumarkt befindet und in der eine Aktivkohleelektrode steckt. Mit dieser Elektrode können sowohl Luftsauerstoff (Sauerstoffverzehrkatode) als auch Halogene umgesetzt werden.^{12,13)} Das Flow-Prinzip lässt sich nachstellen, indem die Anordnung auf einen Magnetrührer gestellt wird, und sowohl in das Becherglas sowie in den Tontopf Rührkerne gegeben und die eingebrachten Lösungen intensiv gerührt werden (Abb. 3). Als Verbraucher konnten z.B. Elektromotore der Firmen LemoSolar (Stromaufnahme etwa 3 mA) und Dreibein Lehrsysteme (Stromaufnahme zwischen 15 -20 mA) verwendet.

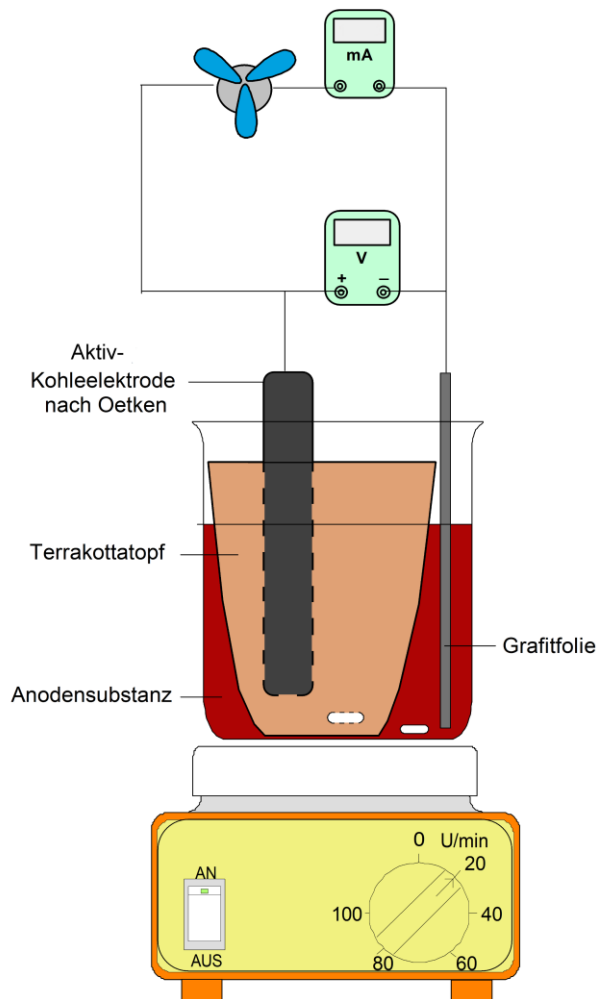


Abbildung 3: Versuchsaufbau einer Redox-Flow-Battery für den Unterricht, hier mit einer neuartigen Kohlelektrode nach Oetken

Eine Batterie nach Aziz et al. lässt sich mit einer käuflichen Anthrachinon-2-sulfonsäure-Lösung, welches in einem Gemisch aus gleichen Teilen Eisessig und Schwefelsäure $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1 \text{ mol/l}$ gelöst ist, und einer Natriumbromid-Lösung in gleichen Teilen Wasser und Schwefelsäure $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1 \text{ mol/l}$ mit $c(\text{NaBr}) = 2 \text{ mol/L}$ realisieren. Als Elektrode für die Anodenseite wird eine Grafitfolie und für die Kathodenseite die kompakte Grafitelektrode nach Oetken eingesetzt. Die Batterie wird zunächst bei etwa 3,3 V ca. 10 Minuten geladen. Dabei wird Anthrachinon-2-sulfonsäure zu Anthrachinonhydrochinon-2-sulfonsäure reduziert, während Bromid-Ionen zu elementarem Brom oxidiert werden. Die Ruheklemmenspannung betrug in unserem Versuch 0,83 V, das Potenzial der Brom-/Kohlelektrode +1,00 V und das der Anthrachinonsulfonsäure-/ Grafittelektrode +0,17 V. Ein leistungsschwacher Elektromotor (LemoSolar) konnte bei nur geringem Spannungsabfall lange Zeit betrieben werden.

Eine rein organische Batterie, wie sie von Narayanan et al. beschrieben wird, lässt sich mit Anthrachinon-2-Sulfonsäure und Brenzcatechin realisieren.⁷⁾ In diesem Versuch wurde nun eine Grafitfolie in die Brenzcatechin-Lösung im Tontopf gehängt. Nach Aufladung (10 Minuten bei 3,3 V) der Anordnung betrug die Ruheklemmenspannung etwa 0,55 V, das Potenzial der Anthrachinonhydrochinonsulfonsäure-/ Grafittelektrode etwa +0,2 V und das der o-Benzochinon-/Grafittelektrode etwa +0,75 V.⁹⁾

Die Potenziale geeigneter Verbindungen für die Anodenseite sind in Natronlauge bedeutend negativer als im sauren Milieu. So beträgt das Potenzial der Anthrachinonsulfonsäure-/

Grafitelektrode in Natronlauge $c = 0,2 \text{ mol/L}$ nach dem Aufladen $-0,35 \text{ V}$ und die Ruheklemmenspannung $1,36 \text{ V}$. Ein leistungsstarker Elektromotor mit einer Stromaufnahme von etwa 17 mA kann somit lange Zeit betrieben werden.

Versuche mit Gallussäure, Pyrogallol, p -Phenylendiamin, Ellagtannin oder Gallotannin in Natronlauge und insbesondere auch Fotoentwickler mit einer alkalischen p -Aminophenol-Lösung haben als Anodensysteme sehr gute Ergebnisse geliefert.^{11,14)} Dabei liegen die Elektrodenpotenziale bei $-0,1$ bis $-0,3 \text{ V}$. Für die Kathodenseite kann neben einer p -Benzochino-Lösung auch eine Eisen(III)-sulfat-Lösung und die Sauerstoffverzehrkathode verwendet werden.¹²⁾ p -Benzochinon haben bereits Aziz et al. erfolgreich genutzt.⁶⁾ Bei der Recherche nach weiteren geeigneten Systemen stießen wir auf den roten Farbstoff des Hennastrauches, der in den warmen Regionen der Erde gedeiht. Die getrockneten und gemahlenen Blätter des Hennastrauchs, das Hennapulver, werden zur Färbung der Haare und z.B. in Indien auch zur Färbung von Händen und Füßen genutzt.¹⁵⁾ Der einzige wirksame Farbstoff ist 2-Hydroxy-1,4-naphtochinon, das auch im Laborhandel in reiner Form erhältlich ist (Abb. 4).



Abbildung 4: Hennastrauch (a) [19], Hennapulver (b) und Lösung von $0,25 \text{ g}$ 2-Hydroxy-1,4-naphtochinon in 300 ml Natronlauge

Für die 2-Hydroxy-1,4-naphtochinon-Brom-Batterie löst man zunächst 10 g 2-Hydroxy-1,4-naphtochinon in 300 mL Natronlauge $c(\text{NaOH}) = 0,2 \text{ mol/l}$, füllt diese in das Becherglas und hängt die Graphitfolie ein. In den Tontopf wird die Brom-Bromid-Lösung gegeben und die Aktivkohleelektrode nach Oetken hineingestellt. Beim 10 Minuten dauernden Aufladen bei $3,3 \text{ V}$ werden 2-Hydroxy-1,4-naphtochinon zu 2-Hydroxy-1,4-Naphtohydrochinon reduziert und Bromid-Ionen zu Brom oxidiert (Abb. 2 Gleichungen b und e). Die Ergebnisse sind aus Abb. 5 Diagramm a ersichtlich.

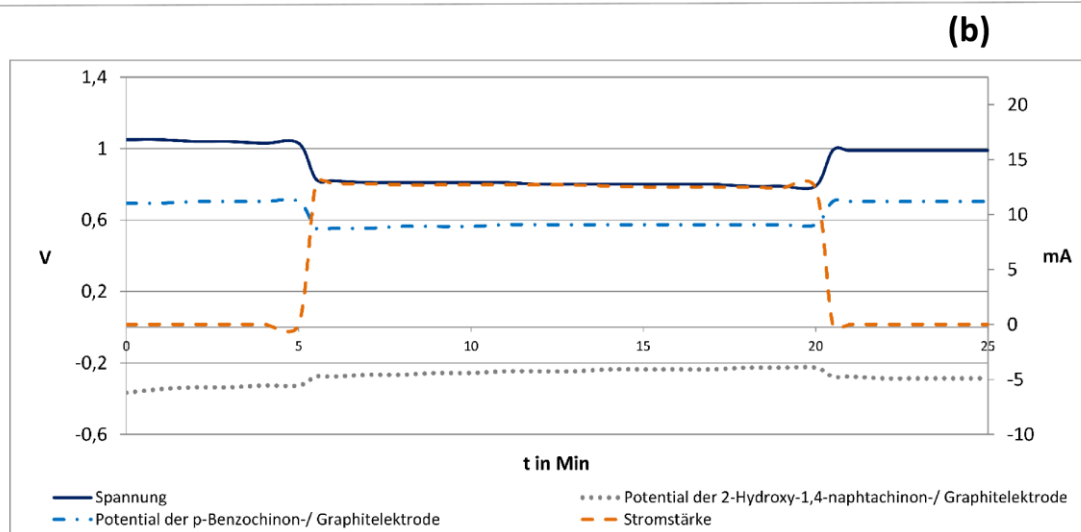
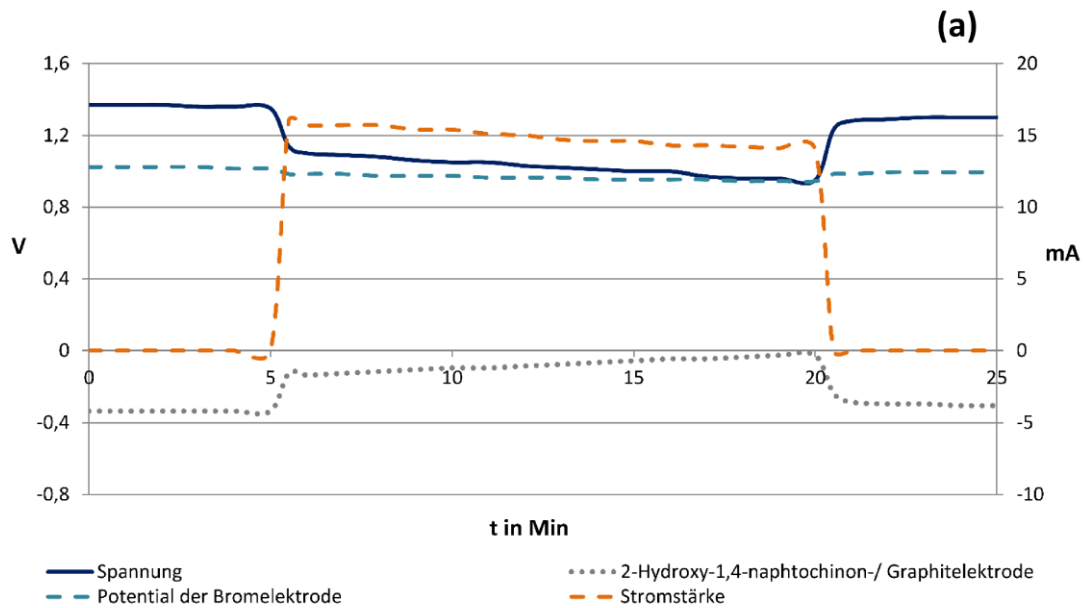


Abbildung 5: Zeitlicher Verlauf von Spannung, Stromstärke und Potenzialen von (a) 2-Hydroxy-1,4-naphthoquinon und Brom und (b) 2-Hydroxy-1,4-naphthoquinon und 1,4-Benzochinon

Anstelle von der Brom-Bromid-Lösung wird nun eine Lösung von 10 g *p*-Benzochinon in einem Gemisch von 100 ml Eisessig und 100 ml Schwefelsäure $c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1 \text{ mol/l}$ eingesetzt. In den Lösungen von 2-Hydroxy-1,4-naphthoquinon und von *p*-Benzochinon wurden anstelle der Grafitfolien auch Graphitfilze von SGL Carbon gestellt, die speziell für eine Verwendung in Redox-Flow-Batteries hergestellt werden. Mit den Graphitfilzen SGL Carbon können noch etwas bessere Ergebnisse als mit den Grafitfolien erzielt werden (Abb. 5 Diagramm b). Eine organische Batterie lässt sich auch mit Hennapulver verwirklichen. Dazu werden 20 g Hennapulver (Aurica Henna rot intensiv, Apotheke) in 200 ml Natronlauge $c(\text{NaOH}) = 0,2 \text{ mol/l}$ gegeben und die Suspension in das Becherglas gefüllt. Im Tontopf befindet sich die Sauerstoffverzehrkathode (Aktivkohleelektrode nach Oetken) in Schwefelsäure. Das Erstaunliche ist, dass man nun auch ohne Aufladen einen Kleinelektromotor mit einer Stromaufnahme von 2,8 mA eine lange Zeit betreiben kann. Es ist anzunehmen, dass sich wie im Grünem Tee elektrochemisch oxidierbare Polyphenole und Tannine in den Blättern befinden.¹¹⁾ Nach dem Aufladen erhält man noch deutlich bessere Werte. Es bildet sich an

dieser Elektrode offensichtlich ein Mischpotenzial für die verschiedenen im Hennapulver oxidierbaren Spezies aus.

Die Wiederaufladbarkeit der beschriebenen Batterien lässt sich u. a. mit Hilfe der Cyclovoltammetrie beurteilen. Die Grundlagen dieser elektrochemischen Methode sind in J. Heinze und C. H. Hamann/ W. Vielstich beschrieben.^{16,17)} Nähere Ausführungen zur Methode und zur Auswertung haben wir in einem vorangegangenen Beitrag gemacht.¹⁴⁾ Das System *p*-Benzochinon/Hydrochinon in saurer Lösung (Abb. 6 Bild a) zeigt ein ideales Verhalten für die Wiederaufladbarkeit mit ΔE_p ca. 30 mV, was einem reversiblen System für einen 2 Elektronenübergang entspricht. ΔE_p zeigt bei höheren Scangeschwindigkeiten keinerlei Abweichungen. Die Systeme Anthrachinon-2-sulfonsäure/Anthrahydrochinon-2-sulfonsäure zeigen in saurer wie in alkalischer Lösung ein ebenfalls fast reversibles Verhalten (Abb. 6 Bild b und c), desgleichen das System 2-Hydroxy-1,4-naphtochinon/2-Hydroxy-1,4-naphtohydrochinon (Abb. 6 Bild d) in alkalischer Lösung.

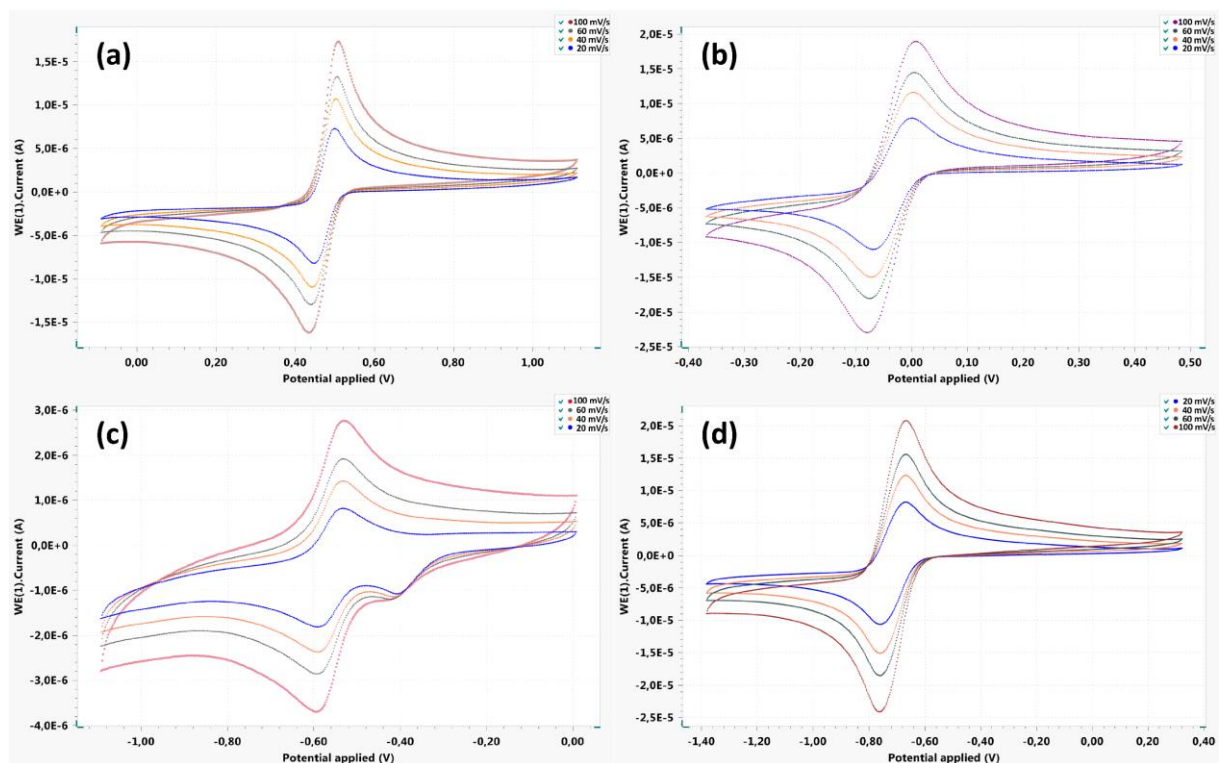


Abbildung 6: Cyclovoltammogramme (a) 1,4-Benzochinon/ Hydrochinon, (b) Anthrachinon disulfonsäure/ Anthrahydrochinon disulfonsäure in saurer Lösung, (c) Anthrachinon disulfonsäure/ Anthrahydrochinon in alkalischer Lösung und (d) 2-Hydroxy-1,4-Naphtochinon/ 2-Hydroxy

Carl Gräbe hat bereits 1868 die Sulfonsäure des 2-Hydroxy-1,4-naphtochinon synthetisiert und festgestellt, dass diese Verbindung außerordentlich gut in Wasser löslich ist.¹⁸⁾ 2-Hydroxy-1,4-naphtochinon-sulfonsäure könnte damit in der Tat eine für Redox-Flow-Batteries geeignete Substanz sein.

Wir danken dem Fonds der Chemischen Industrie für die Unterstützung dieser Arbeit.

Literatur

- 1) A. Z. Weber, M. M. Mench, J. P. Meyers, P.N. Ross, J. T. Gostick, Q. Liu, Redox flow batteries: a review., 2011, Appl Electrochem 41, 1137-1164
- 2) M. Bartolozzi, Development of Redox Flow Batteries. A Historical Bibliography, 1989, Journal of Power Sources 27, 219-234
- 3a) A. Gillhuber, Eine Woche Strom für 40 Häuser?, 2014, im Internet unter <http://www.elektroniknet.de/power/energiespeicher/artikel/111844/>
- 3b) A. Gillhuber, Leistungs- vs. Energiebatterie – der feine Unterschied, 2014, im Internet unter <http://www.elektroniknet.de/power/energiespeicher/artikel/111844/1/>
- 3c) A. Gillhuber, Energiespeicher Chance für Energiewende, 2014, im Internet unter <http://www.elektroniknet.de/power/energiespeicher/artikel/111844/2/>
- 4) W. Kempkens: Elektroautos mit Redox-Flow-Batterie können wirklich fahren, 2016, im Internet unter <http://www.ingenieur.de/Themen/Automobil/Elektroautos-Redox-Flow-Batterie-koennen-wirklich-fahren>
- 5) B. Huskinson, S. Nawar, M. R. Gerhardt, M. Aziz, Novel Quinone-Based Couples for Flow-Batteries, 2013, ECS Transactions 57 (7), 101-105
- 6) 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, 2014, Nature Vol. 505, 195-198
- 7) 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, 2014, ESC 161(p), A1371-A1380
- 8) D. Rosenberg, M. Busker, W. Jansen, Modell-Versuche zu Redox-Flow-Batteries, im Druck, PdN-ChiS
- 9) D. Rosenberg, M. Behnisch, S. Pansegrau, M. Busker, W. Jansen, Speicherung elektrischer Energie mit neuartigen, organischen Batterien, 2016, PdN-ChiS 4/65, 36-42
- 10) D. Rosenberg, M. Wachholz, M. Busker, W. Jansen, Organische Batterien mit Alizarin, 2016, PdN-ChiS 3/65, 14-19
- 11) D. Rosenberg, A. Rehling, M. Busker, W. Jansen, Organische Batterien mit Gallussäure, Pyrogallol und grünem Tee, 2016, PdN-ChiS 6/65, Seite 22-28
- 12) M. Klaus, M. Hasselmann, J. Rubner, B. Mößner, M. Oetken, Metall-Luft-Batterien mit einer neuartigen Grafitelektrode – Moderne elektrochemische Speichersysteme in Schulexperiment, 2014, CHEMKON, 21 (2), 65-71
- 13) T. Otto, C. Pöhls, M. Busker, W. Jansen, Chlor-Alkali-Elektrolyse mit der Sauerstoffverzehrkathode, 2015, PdN Chemie 8/64, 36-39
- 14) D. Rosenberg, S. Pansegrau, M. Wachholz, A. Köppen, M. Busker, W. Jansen, Organische Batterien mit Haarfärbemittel und Medikamenten, eingereicht, PdN-ChiS 4/66
- 15) <https://de.wikipedia.org/wiki/Henna>
- 16) J. Heinze, Cyclic Voltammetry, 1984, Angew. Chem. Int. Ed. Engl. 23, 831-847
- 17) C. H. Hamann, W. Vielstich, Elektrochemie, 4. Auflage, Wiley-VCH, 2005, 275-296
- 18) C. Gräbe, Untersuchungen über Chinone, Johann-Ambrosius Barth Verlag, Leipzig, 1911, 134-135
- 19) Bild Hennastrauch, Autor: Atamari, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lawsonia_inermis_0001.jpg

Autoren-Kurzbiographien:

Prof. em. Dr. Walter Jansen, Jahrgang 1938, ist emeritierter Professor für Didaktik der Chemie an der Universität Oldenburg und Lehrbeauftragter der Abteilung Chemie und ihre Didaktik der Universität Flensburg. Es ist Ehrenmitglied der Fachgruppe Chemieunterricht der Gesellschaft Deutscher Chemiker.

Dr. Maïke Busker hat Chemie und Mathematik für das Lehramt an Gymnasien an der Universität Oldenburg studiert und dort im Bereich Chemiedidaktik promoviert. Nach ihrer Tätigkeit als Post-Doc am IPN in Kiel war sie von 2010-2016 Juniorprofessorin an der Universität Flensburg. Derzeit ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Universität Hamburg.

Dominique Rosenberg ist Doktorandin im Arbeitskreis der Chemiedidaktik der Universität Flensburg. Sie studierte an der Universität Flensburg BA Vermittlungswissenschaften und MA of Education die Fächer Chemie und Wirtschaft/ Politik. Seit Januar 2015 promoviert sie auf dem Gebiet der Redox-Flow-Batteries zur Energiespeicherung als Thema des Chemieunterrichts.

Svenja Pansegrau studiert an der Universität Flensburg im Studiengang BA Bildungswissenschaften und MA of Education die Fächer Chemie und Sport. Ihre Bachelorarbeit über Redox-Flow-Batteries wurde mit dem Preis zur vorbildlichen Umsetzung des Leitbildes hinsichtlich Gerechtigkeit, Nachhaltigkeit und Vielfalt der Universität Flensburg ausgezeichnet.