

Einleitung

- In **Flow-Batteries** werden die in Elektrolyten gelösten Stoffe kontinuierlich einer Kohlelektrode zugeführt.
- Bei Bedarf können die **Substanzen oxidiert bzw. reduziert** und in separaten Tanks gelagert werden, bis elektrische Energie zur Verfügung steht oder benötigt wird.
- Aziz [1,2] und Narayanan [3] beschreiben Systeme, bei denen Chinone und Hydrochinone als geeignete elektrochemisch umsetzbare Substanzen hervorgehoben werden.
- Es lassen sich ebenfalls alkalische Lösungen von **Farbstoffen wie Alizarin** und **Aromastoffen wie Vanillin** als elektrochemisch wirksame Substanzen einsetzen.
- Während die Autoren aus [1-3] Benzochinon bzw. Brom an der Kathode verwenden, können mit einer **Sauerstoffverzehrkathode** ebenfalls hervorragende Ergebnisse erzielt werden [4].

Versuchsaufbau

Für die **experimentelle Untersuchung** im Labormaßstab wird folgender Versuchsaufbau eingesetzt:

- Der in Natronlauge ($c=1 \text{ mol/L}$) gelöste organische Stoff wird in ein Becherglas gegeben.
- Als Elektrode wird Graphitfolie verwendet.
- Ein Tontopf aus dem Baumarkt dient als semi-permeable Membran.
- Für die SVK wird eine **poröse Kohlelektrode nach Oetken** [5] in eine mit Natriumperoxodisulfat versetzte Schwefelsäure ($c=1 \text{ mol/L}$) gehängt.
- Um der Idee einer **Flow-Battery** näher zu kommen, wird ein Magnetrührer eingesetzt.

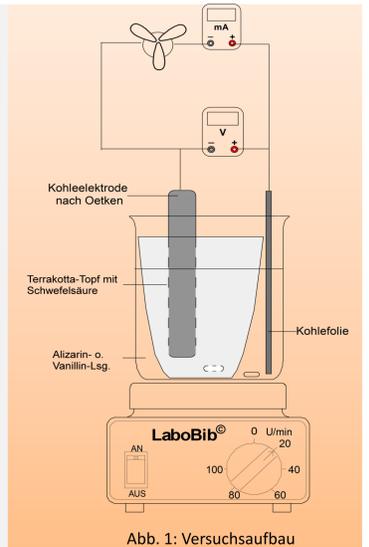


Abb. 1: Versuchsaufbau

Experimentelle Arbeit

Alizarin

Alizarin ist der färbende Bestandteil der Krappwurzel, der ein besonders leuchtendes Rot hervorruft – besser bekannt als **Türkischrot**.

Aus der **Krappwurzel** oder auf synthetischem Wege gewonnenes Alizarin hat eine orangegelbe Farbe (Abb. 2). Löst man Alizarin in Natronlauge, rufen bereits kleinste Menge eine **purpurblaue Farbe** hervor (Abb. 3).



Abb. 2: Alizarinpulver



Abb. 3: Alizarin in NaOH

Alizarin eignet sich in den bereits erwähnten **Flow-Batteries** äußerst gut, da es sich in deprotonierter Form (Abb. 4) leicht oxidieren lässt [6].

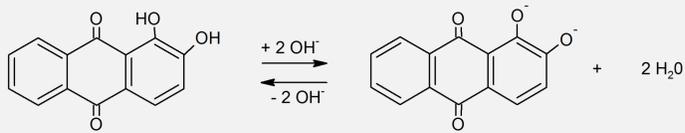


Abb. 4: Alizarin in NaOH

Aufbau eines Modellversuchs nach Abb. 1: Auf der Anodenseite befindet sich eine Lösung aus Alizarin (0,5 g) in 150 ml Natronlauge ($c=1 \text{ mol/L}$).

Zusätzlich wird mit einer Ag/AgCl-Elektrode das Potential der **Alizarin-Kohlelektrode** gemessen.

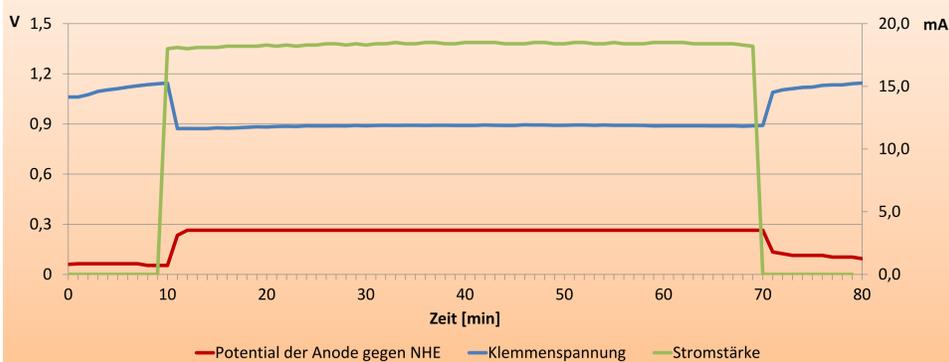


Abb. 5: Zeitlicher Verlauf von Spannung, Potential und Stromstärke der Alizarin-Sauerstoff-Zelle

Es zeigt sich, dass die **Alizarin-Kohlelektrode** unter Belastung (47Ω Widerstand) ein sehr **konstantes Potential** von unter $+0,3 \text{ V}$ besitzt (Abb. 5).

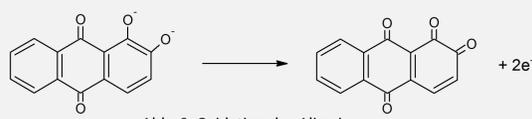


Abb. 6: Oxidation des Alizarins

Wie aus Abb. 6 zu entnehmen, bilden die deprotonierten OH-Gruppen Doppelbindungen unter Abgabe von zwei Elektronen aus. Die hierbei entstandene **oxidierte Form des Alizarins** ist farblos bis leicht gelblich. In weiteren Versuchen hat sich gezeigt, dass sich das zu einem Chinon oxidierte Alizarin elektrochemisch nicht wieder reduzieren lässt.

Vanillin

Vanillin, welches als **Inhaltsstoff** zu 1,5 - 2,5% in der **Vanilleschote** enthalten ist, gehört zu den wichtigsten und am häufigsten verwendeten **Aromastoffen** [7]. Es wird für viele Lebensmittel wie Back- und Süßwaren und Kosmetikartikel verwendet. Das Vanillinpulver ist weiß (Abb. 7) und bildet in Natronlauge gelöst eine gelbe Lösung (Abb. 8).



Abb. 7: Vanillinpulver



Abb. 8: Vanillin in NaOH

Vanillin eignet sich für **organische Batterien**, da es sich gut oxidieren lässt, wenn es, wie im alkalischen Milieu, deprotoniert (Abb. 9) vorliegt [8].

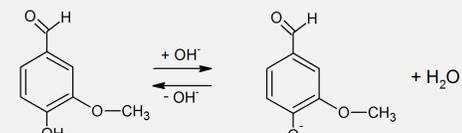


Abb. 9: Vanillin in NaOH

Der Aufbau einer Batterie ist nach Abb. 1 erfolgt, jedoch wurde kein Magnetrührer verwendet. Auf der Anodenseite befindet sich eine Lösung aus Vanillin (0,3 g) in 150 ml Natronlauge ($c=1 \text{ mol/L}$).

Ebenso wird mit einer Ag/AgCl-Elektrode das Potential der **Vanillin-Kohlelektrode** gemessen.

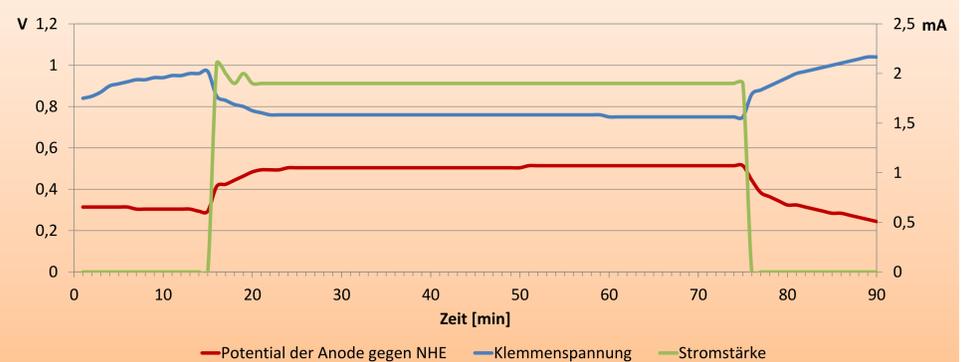


Abb. 10: Zeitlicher Verlauf von Spannung, Potential und Stromstärke der Vanillin-Sauerstoff-Zelle

Es zeigt sich, dass die **Ruheklemmspannung** bei etwa 1 V liegt. Die **Klemmspannung** liegt bei Belastung bei etwa $+0,75 \text{ V}$ (Abb. 10).

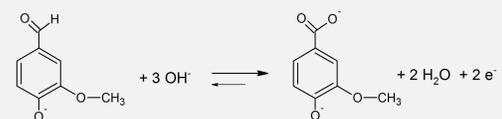


Abb. 11: Oxidation des Vanillins

Wie aus Abb. 11 zu entnehmen, wird das **deprotonierte Vanillin** zu dem Salz der Vanillinsäure oxidiert.

In einem weiteren Versuch hat sich gezeigt, dass sich die Vanillinsäure zu Vanillin reduzieren lässt, jedoch ist diese Reaktion gehemmt, sodass sich eine Wiederaufladbarkeit als schwierig gestaltet.

Literatur:

- [1] B. Huskinson et al. (2013), Novel Quinone-Based Couples for Flow-Batteries. ECS Transactions 57 (7), 101-105 [2] B. Huskinson et al. (2014), A metal-free organic – inorganic aqueous flow-battery. Nature Vol. 505, 195-198 [3] B. Yang et al. (2014), An Inexpensive Aqueous Flow Battery for Large-Scale Electrical Energy Storage Based on Water-Soluble Organic Redox Couples. ESC 161(p), A1371-A1380 [4] P. Fischer et al. (2013), Salzsäureelektrolyse mit der Sauerstoffverzehrkathode, PdN Chemie 5/62, 32-36 [5] M. Klaus et al. (2014), Metall-Luft-Batterie mit einer neuartigen Kohlelektrode. Moderne elektrochemische Speichersysteme im Schulexperiment. CHEMKON 21/2, 65-71 [6] A. Müller (2000), Die Naturfarbstoffe Alizarin und Indigo, Protokoll zum Experimentalvortrag, Philipps-Universität Marburg [7] S. Ballschmiede (2011), Woher kommt Vanillin und wie stellt man es her?, Berlin, Deutschland [8] F. K. Beilstein (1896), Handbuch der Organischen Chemie. In F. K. Beilstein, Zweiter Band, Dritte, unb. Auflage

Gefördert durch:

