

Einleitung

- Der Anteil an **erneuerbaren Energien** aus Wind- und Solaranlagen an der Stromversorgung steigt zunehmend.
- Dadurch entsteht ein hoher Bedarf an **Energiespeichersystemen**, um Schwankungen in der Energieversorgung zu begegnen.
- Hierzu ist die **Entwicklung von Energiespeichersystemen** (z.B. neuartige Akkumulatoren) notwendig.
- Neben Lithium-Ionen-Akkumulatoren zählen sogenannte **Redox-Flow-Zellen** [1-3] zu den derzeit in der Erprobung befindlichen Systemen.
- Diese ermöglichen im Vergleich zu traditionellen Batterien einen größeren Stoffumsatz.

Theoretischer Hintergrund

- In einer **Redox-Flow-Zelle** ist für jede Halbzelle ein Kreislauf installiert, in dem ein Elektrolyt zirkuliert.
- In den Elektrolyten sind elektrochemisch **aktive Substanzen** gelöst.
- Der Elektrolyt gelangt von einem Tank über Pumpen in die Halbzelle, wird dort zur Umsetzung über die Elektrodenfläche und wieder in das Reservoir geleitet [1-3].
- Beim Ladevorgang werden die **Reaktionsprodukte** durch Oxidation bzw. Reduktion angereichert.
- Bei der Rückreaktion reagieren diese unter Freisetzung von elektrischer Energie zu den Ausgangsstoffen.

Vorkommen und Verwendung von Henna



Abb. 1: Hennastrauch [4]

- **Henna** besteht aus den **gepulverten Blättern** des in Ost- und Nordafrika bis Indien vorkommenden, im Orient angebauten Hennastrauchs [*Lawsonia inermis*, Ägyptischer Färberstrauch] (Abb. 1).
- Es ist u.a. ein **natürliches Haarfärbemittel**, das schon seit Jahrtausenden eingesetzt wird.

- Heutzutage wird es im Orient auch zur Färbung von Nägeln und Haut (z.B. der Handflächen und Fußsohlen) verwendet (Abb. 2).
- Je nach natürlicher Ausgangshaarfarbe ergeben sich Färbungen von **orange bis fuchsrot**. Die Färbung ist unschädlich und dauerhaft.
- Die farbgebende Komponente von Henna ist das **Lawson** (2-Hydroxy-1,4-naphthochinon) [5].
- Es ist ein **orange-gelber Farbstoff**, der in den Henna-Blättern zu ca. 1 % enthalten ist.
- Er diffundiert leicht in das Humanhaar ein und ist wasserlöslich.



Abb. 2: Traditionelle Färbung mit Henna [6]

Redox-Verhalten von Henna

- Mit dem Hennapulver lässt sich eine organische Batterie verwirklichen.
- Es wird eine **Suspension von Hennapulver** in einer 1 molaren Natronlauge verwendet.
- Die elektrochemische Umsetzung erfolgt durch Oxidation der in den Henna-Blättern enthaltenen Polyphenole und Tannine (ähnlich wie im grünen Tee).
- Als noch effektiver erwies sich eine Lösung aus **2-Hydroxy-1,4-naphthochinon** [5].



Abb. 3: Hennapulver (links) und 2-Hydroxy-1,4-naphthochinon gelöst in KOH (rechts)

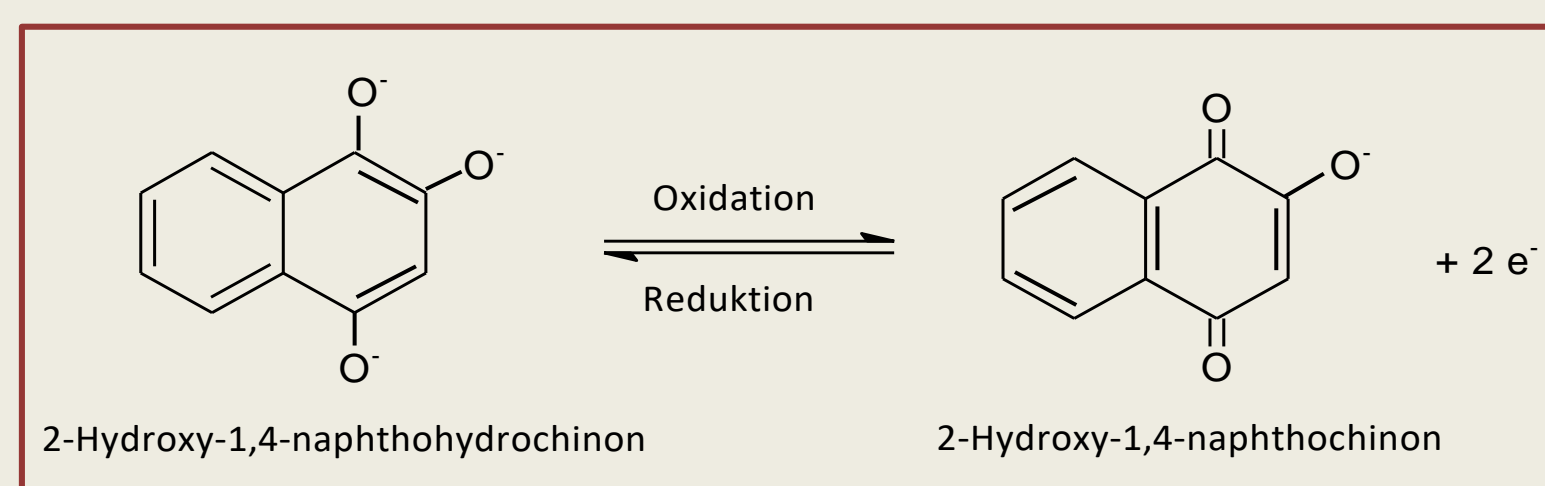


Abb. 4: Reaktionsgleichung von 2-Hydroxy-1,4-naphthochinon

- Nach dem Ladevorgang und unter Anschluss eines Motors kommt es auf der Anodenseite zu einer Oxidation des 2-Hydroxy-1,4-naphthohydrochinon zu 2-Hydroxy-1,4-naphthochinon (Abb. 4).

Experimente mit Henna in Redox-Flow-Batterien

Einfacher Versuchsaufbau im Becherglas (Abb.5):

- Verwendung eines Tontopfs als semipermeable Membran zwischen den Halbzellen.
- Nutzung von Graphitfolien als Elektrodenmaterial
- Verwendung einer **Sauerstoffverzehrkathode mit der Aktivkohlelektrode nach OETKEN** [7] auf der Kathodenseite.
- Darstellung des **Flow-Prinzips** mittels eines **Magnetrührers mit Rührkernen**.
- Auf der Anodenseite Einsatz einer **alkalischen Lösung** von 30 g Hennapulver in 1 molarer NaOH bzw. von 10 g 2-Hydroxy-1,4-naphthochinon in 1 molarer KOH.
- Zusätzlich zur Ruhespannung auch Potentialmessung mit einer **Ag/AgCl-Elektrode** möglich.

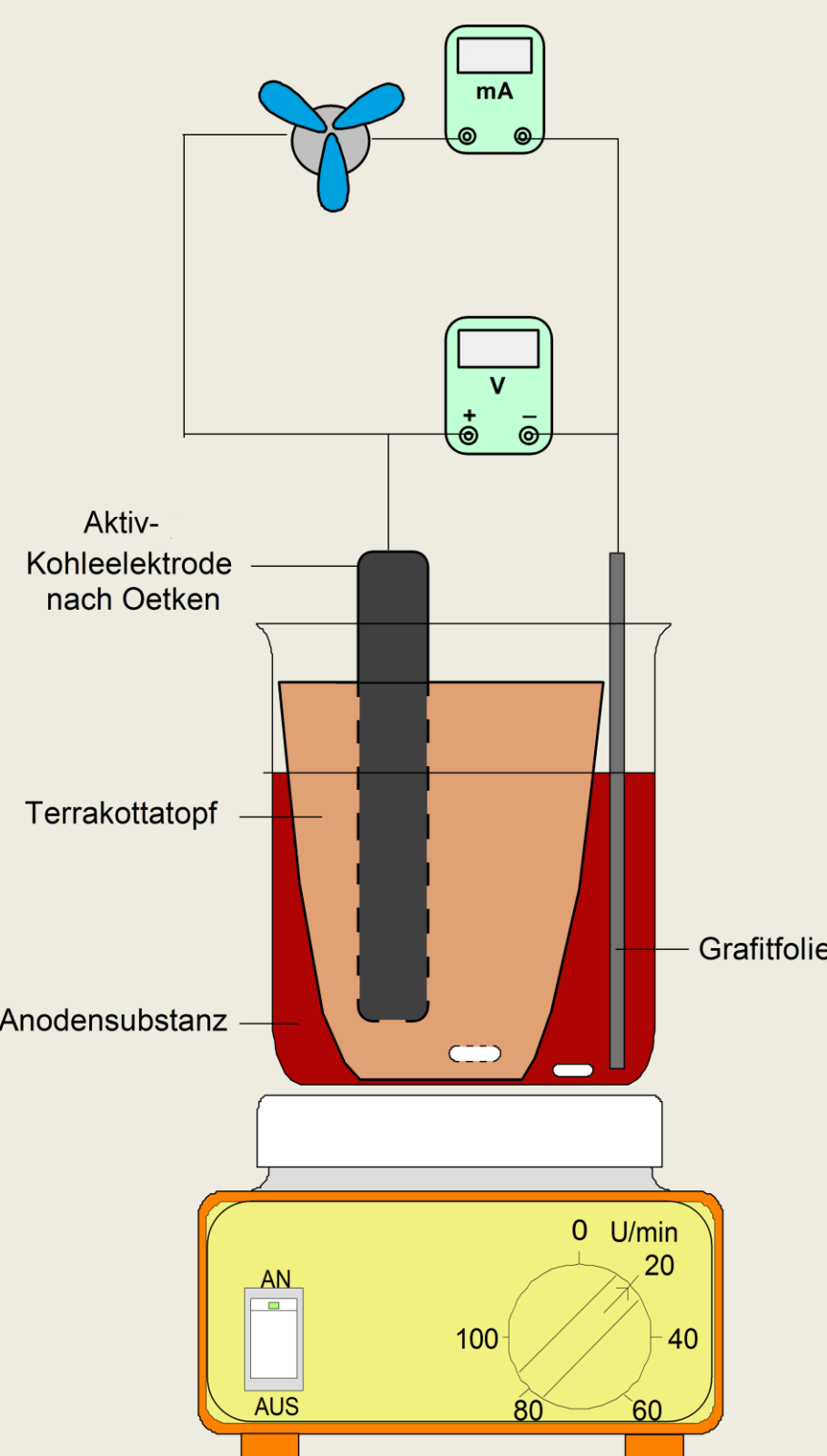


Abb. 5: Versuchsaufbau

- Die **Ruheklemmenspannung** beträgt nach dem Ladevorgang 1,72 V und das Ruhepotential der 2-Hydroxy-1,4-naphthohydrochinon/Graphit-Elektrode -0,33 V gegen NHE.
- Nach Einschalten eines **leistungsstarken Motors** wurde nach 3 Minuten eine Stromstärke von 20,5 mA und eine Spannung von 1,22 V wird gemessen.
- Während einer **Betriebszeit** von 30 Minuten halten sich Spannung und Potentiale der beiden Elektroden relativ konstant (Abb. 6b).

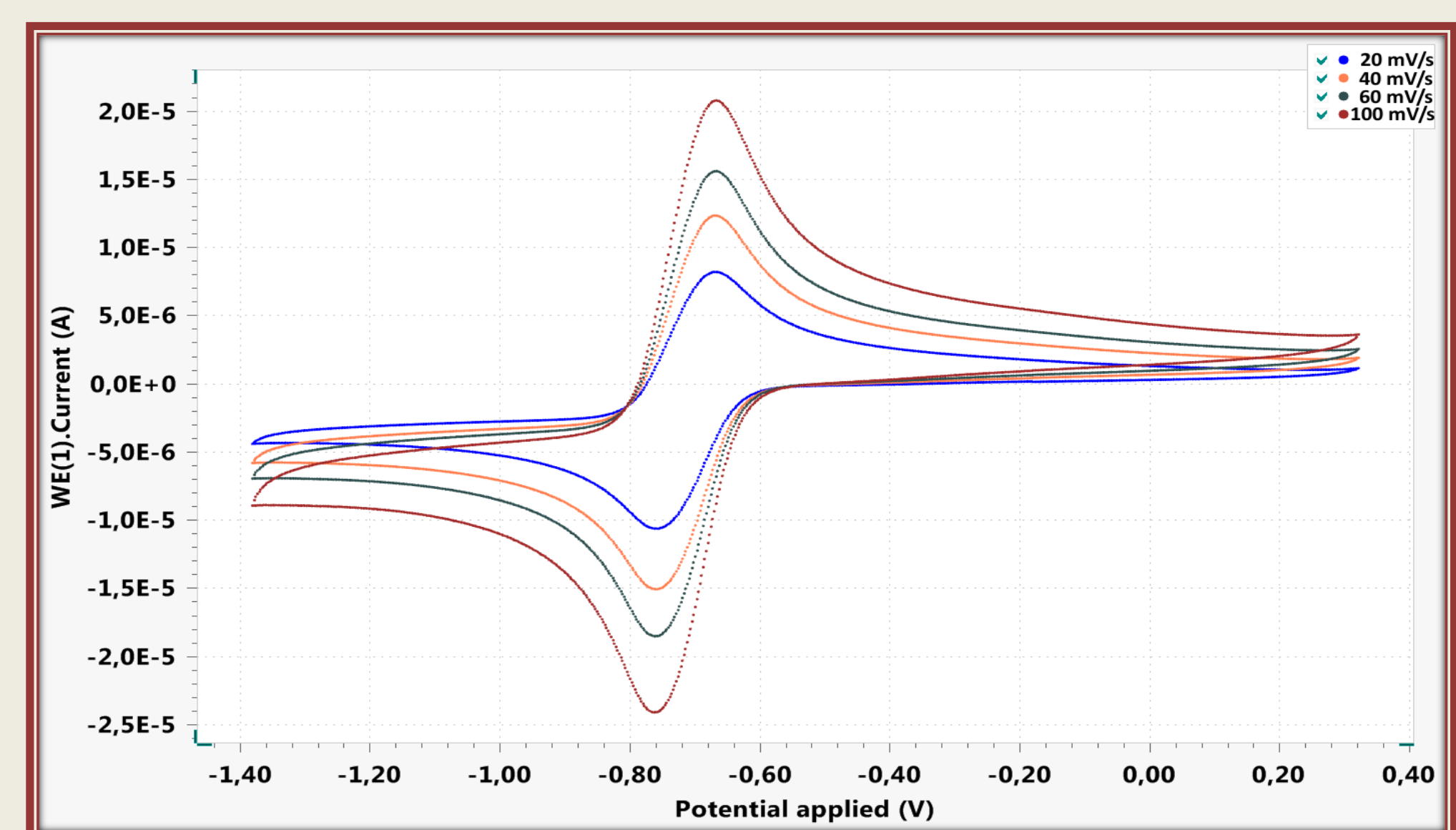


Abb. 7: Cyclovoltammogramm des 2-Hydroxy-1,4-naphthochinon

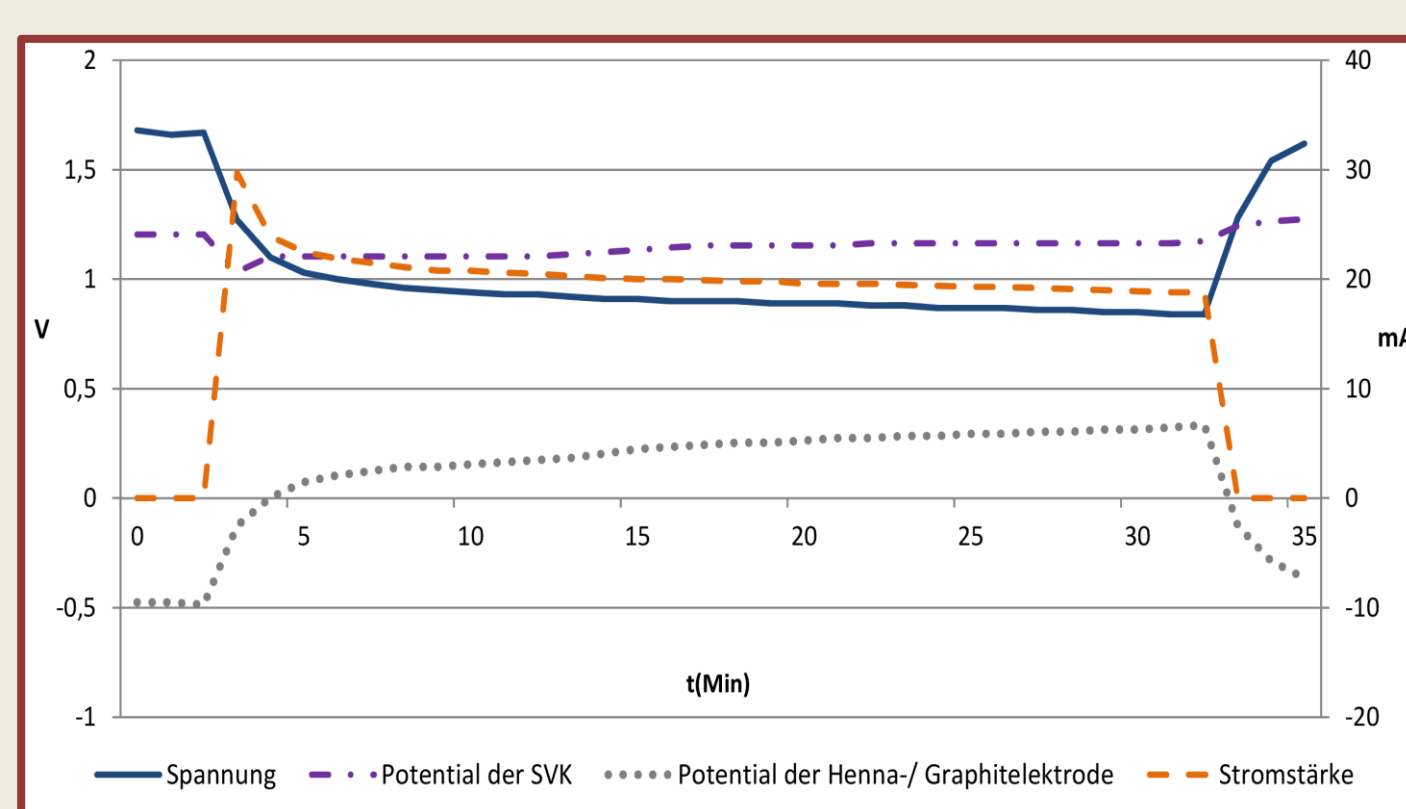


Abb. 6a: Zeitlicher Verlauf von Spannung, Stromstärke und Potentialen der Henna/Sauerstoff-Batterie

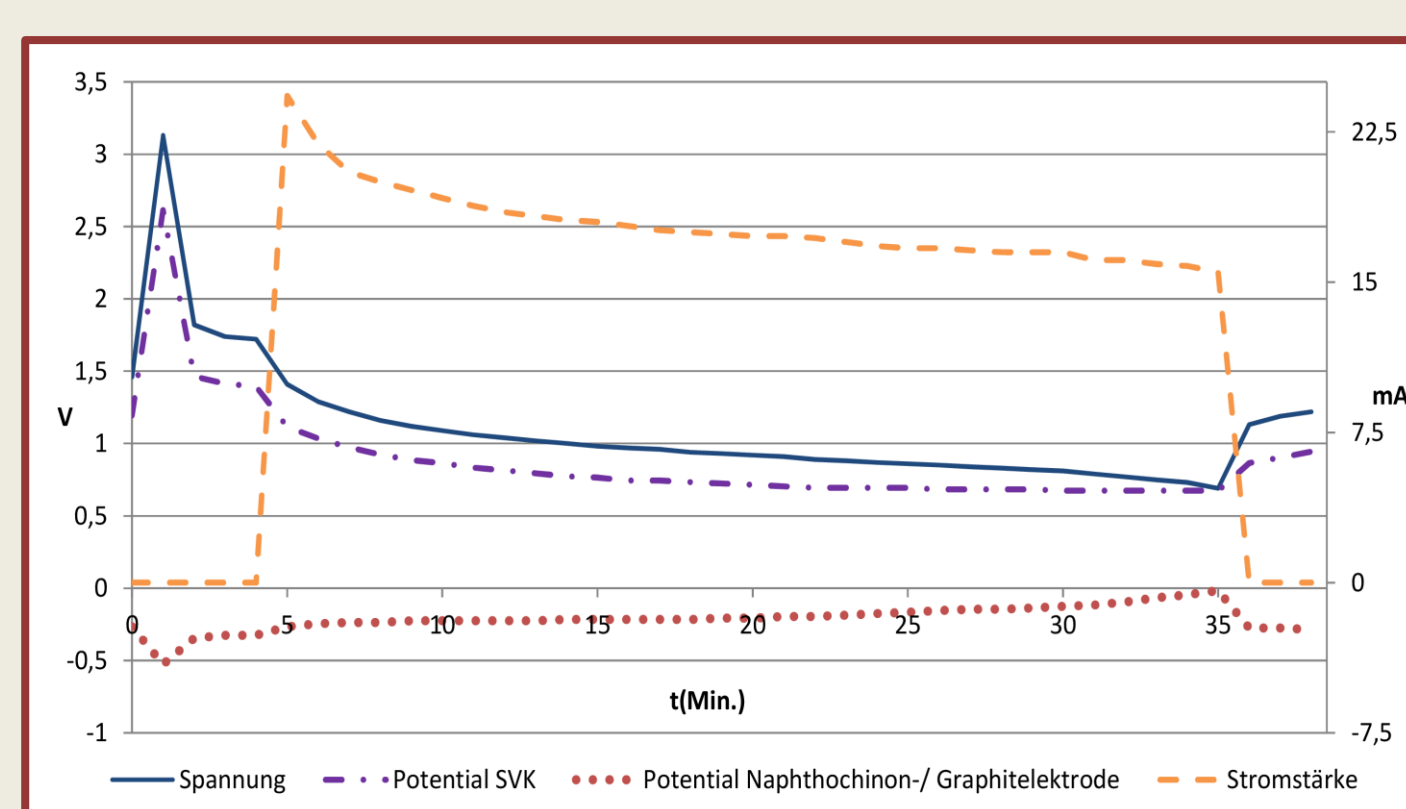


Abb. 6b: Zeitlicher Verlauf von Spannung, Stromstärke und Potentialen der 2-Hydroxy-1,4-naphthohydrochinon/Sauerstoff-Batterie

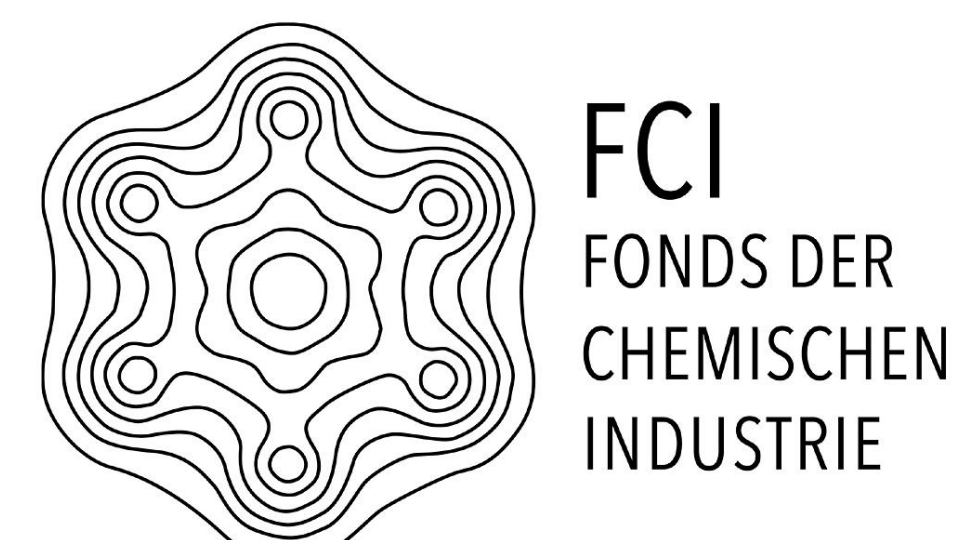
Fazit

- Die **2-Hydroxy-1,4-naphthohydrochinon/Sauerstoff-Batterien** läuft auch unter Belastung mit einem leistungsstarken Motor stabil. Die Versuche zeigen, dass Henna sowie der darin enthaltende rote Farbstoff in alkalischer Lösung **geeignete Anodensubstanzen** für **Flow-Batteries** darstellen.
- Desweiteren handelt es sich bei der **2-Hydroxy-1,4-naphthohydrochinon/Sauerstoff-Batterie** um ein **reversibles System** wie die Untersuchung mit Hilfe der Cyclovoltammetrie zeigt (Abb. 7).

Quellen:

[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, 505, 195-198 (2014) [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] wikipedia.de (2007), https://de.wikipedia.org/wiki/Hennastrauch#/media/File:Lawsonia_inermis_0001.jpg [5] D. Rosenberg et al. (2017), Hennafarbstoff statt Vanadium. Nachrichten der Chemie 65 (2) 167-171. [6] pixabay.com (2016), <https://pixabay.com/de/henna-braut-hochzeit-kultur-mode-1370136/> [7] M. Klaus et al. (2014), Metall-Luft-Batterie mit einer neuartigen Kohlelektrode. Moderne elektrochemische Speichersysteme im Schulexperiment. CHEMKON 21/2, 65-71

Gefördert durch:



FCI
FONDS DER
CHEMISCHEN
INDUSTRIE