

Einleitung

Fast ein Viertel unseres Stroms wird heutzutage **aus erneuerbaren Energien** gewonnen. Die optimale Energiespeicherung der wachsenden Mengen an Solar- und Windstrom stellt eine ungelöste Problematik dar.

- Als mögliche Lösung werden sogenannte **Flow-Batteries** diskutiert.
- **Flow-Batteries** sind **Zellen**, in denen elektrochemisch wirksame Stoffe im Elektrolyt gelöst den Elektroden einer Halbzelle in einem Kreislauf kontinuierlich zugeführt werden.
- Diese Substanzen können **beim Ladevorgang** oxidiert bzw. reduziert werden, um dann bei Bedarf durch Entladen elektrische Energie zu liefern.
- Da die elektrochemisch wirksamen **Lösungen in Tanks** gelagert werden, können große Mengen an elektrischer Energie gespeichert werden.

Theoretischer Hintergrund

Arbeitsgruppen um Aziz [1,2] und Narayanan [3] haben für den Einsatz in **Flow-Batteries** geeignete Systeme aus **Chinonen** und **Hydrochinonen** entwickelt, die an Graphitelektroden umgesetzt werden.

- Chinone und deren Derivate sind in diesem Bereich aufgrund **geringer Kosten und Toxizität** sowie einer **hohen Reversibilität** vielversprechend.
- In der Salzsäure- und Chlor-Alkali-Elektrolyse werden heute Großanlagen mit sogenannten **Sauerstoffverzehrkathoden** (SVK) ausgestattet, mit deren Hilfe etwa ein Drittel der elektrischen Energie eingespart werden kann.
- Durch die einfache Umsetzung der SVK im Modellversuch bietet diese sich auch für einen **Modellversuch zu Flow-Batteries** an.

Modellversuch zur Flow-Battery

- Für einen **ausreichenden Sauerstoffumsatz** ist eine große elektrochemisch aktive Oberfläche an der SVK notwendig.
- Daher wird die **Kohlelektrode nach Oetken** [4], bestehend aus einer Plastiksiebhülle gefüllt mit körniger Aktivkohle und einem Kohlestab, eingesetzt.
- Für eine kontinuierliche Sauerstoffzufuhr wird als Elektrolyt eine **schwefelsaure Na₂S₂O₈-Lösung** bei der SVK verwendet.
- Zwischen den beiden Halbzellen dient ein **Tontopf** als semipermeable Membran.
- Als **Elektrodenmaterial** hat sich die Nutzung von Graphitfolien bewährt.
- Um das **Flow-Prinzip** zu verdeutlichen, wird ein Magnetrührer mit Rührkern genutzt (Abb. 1).

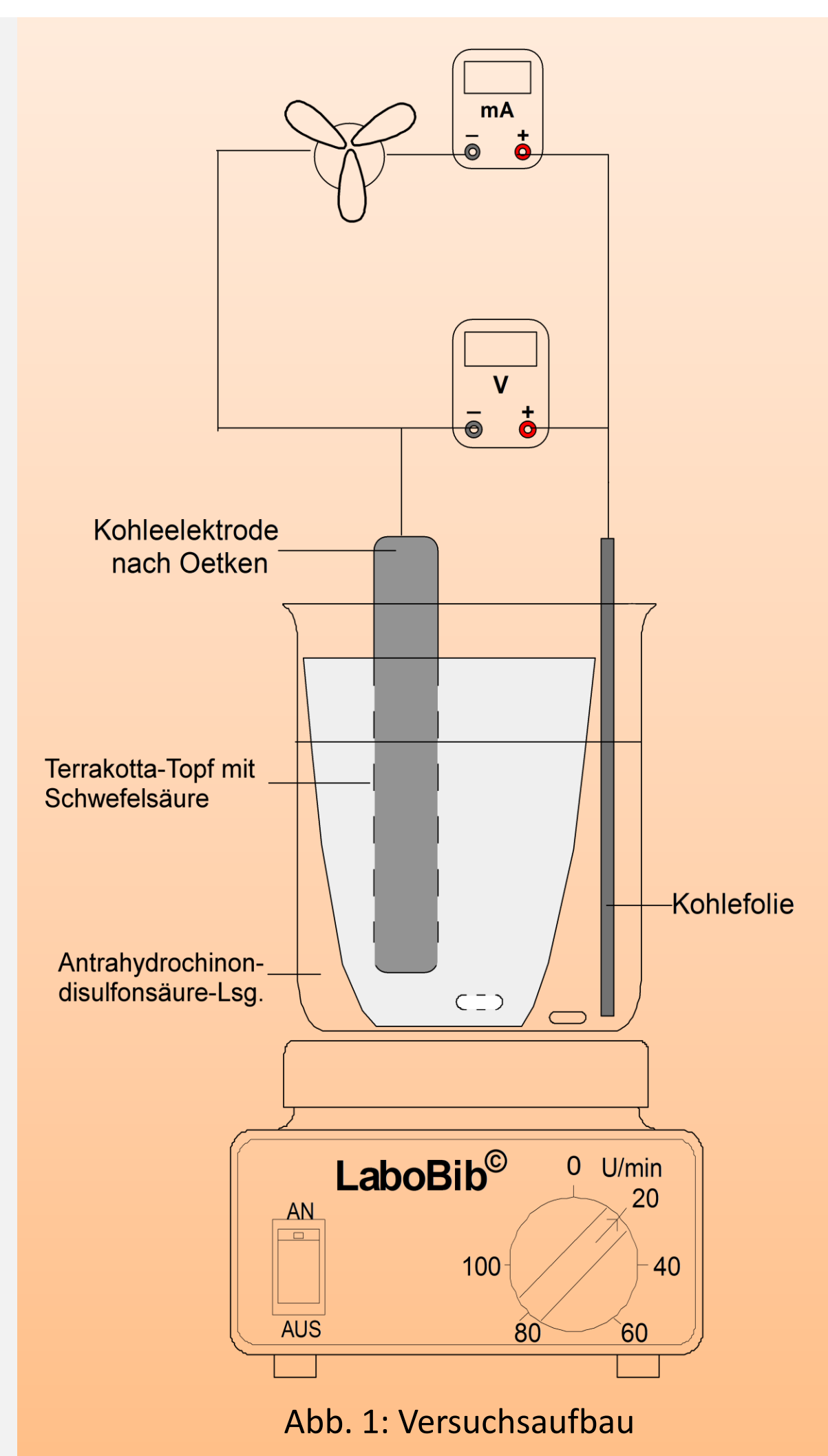


Abb. 1: Versuchsaufbau

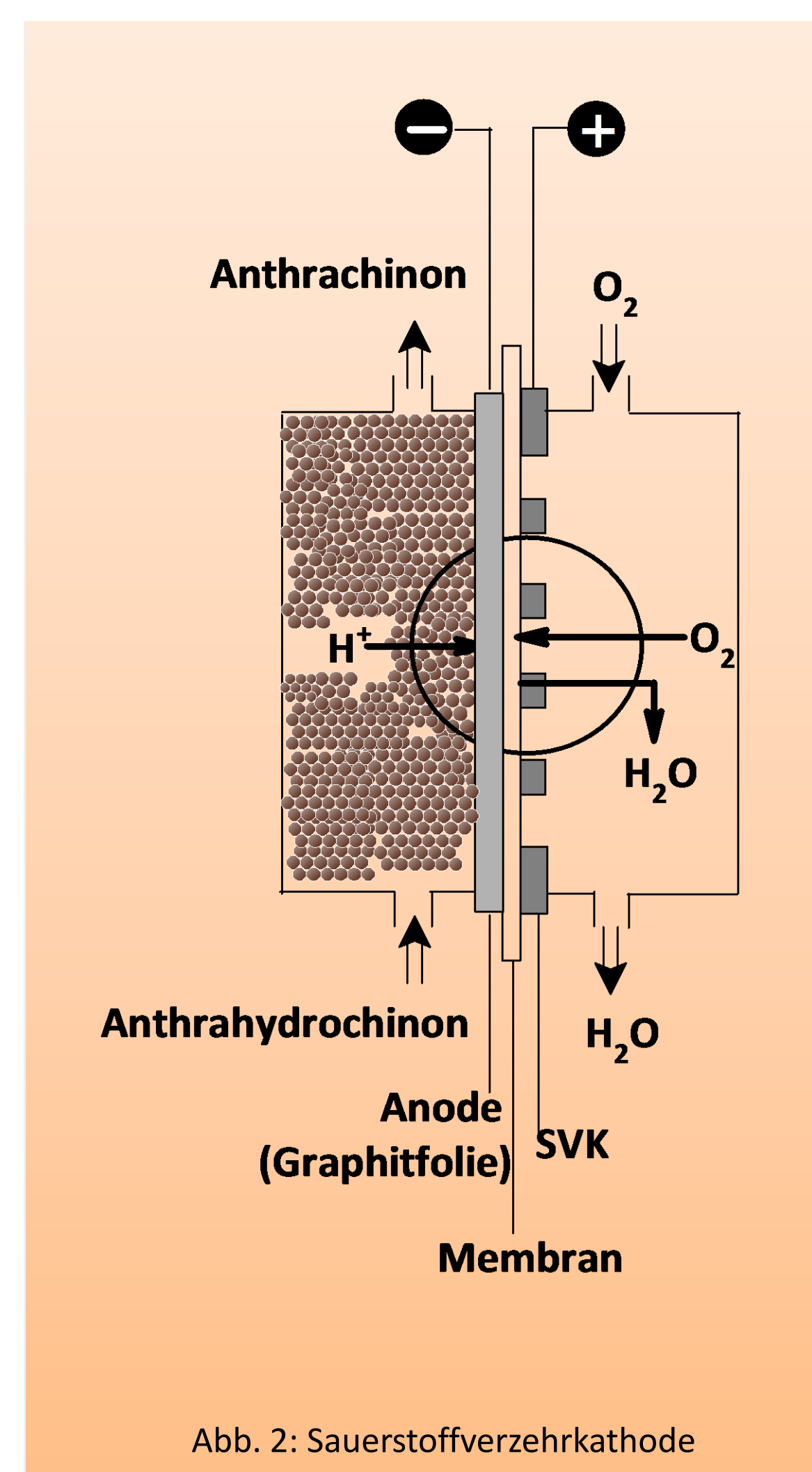
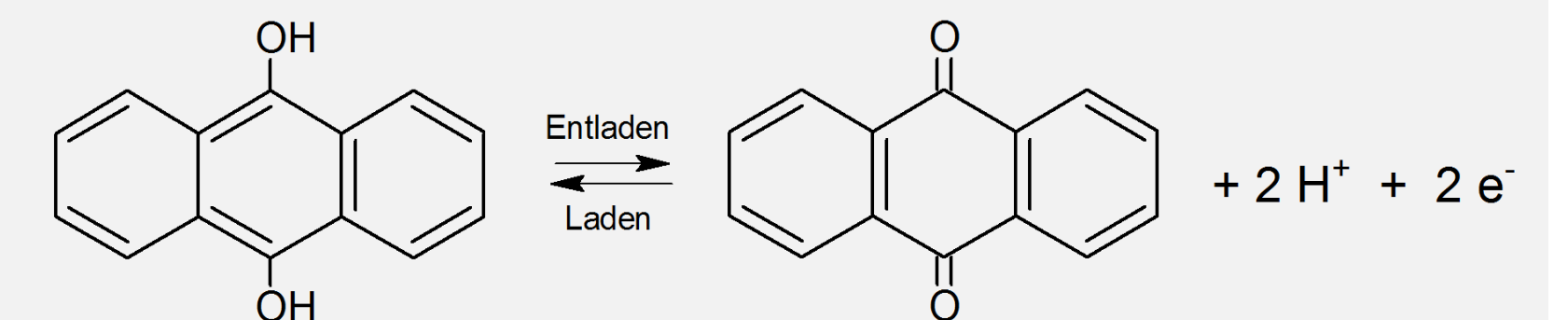


Abb. 2: Sauerstoffverzehrkathode

- Verwendung von **9,10-Anthrachinon-2,7-disulfonsäure** (in Anlehnung an [1,2,3]).
- Beim Laden Reduktion von Anthrachinon zu Anthrahydrochinon; beim Entladen Oxidation von **Anthrahydrochinon** (Abb. 2).
- An der SVK beim Laden Oxidation von Wasser zu Sauerstoff; analog beim Entladen Reduktion von Sauerstoff (Abb. 3).

Reaktionen:

Anode:



Kathode

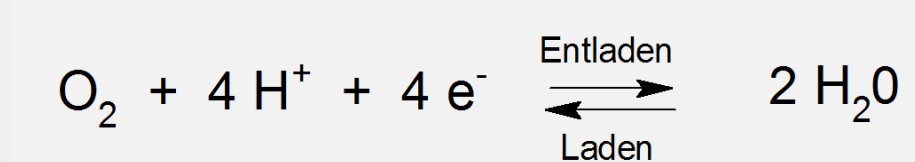


Abb. 3: Reaktionen an den Elektroden

Einsatz von Gallussäure

Gallussäure ist ein weißes Pulver (Abb. 3), welches in vielen natürlichen Produkten, wie beispielsweise **Beerenobst**, vorkommt.

Es ist eine aromatische Verbindung mit drei **Hydroxygruppen**, die im alkalischen Milieu hervorragend deprotoniert und per Oxidation in **Chinone** überführt werden können (Abb. 4).



Abb. 3: Gallussäure

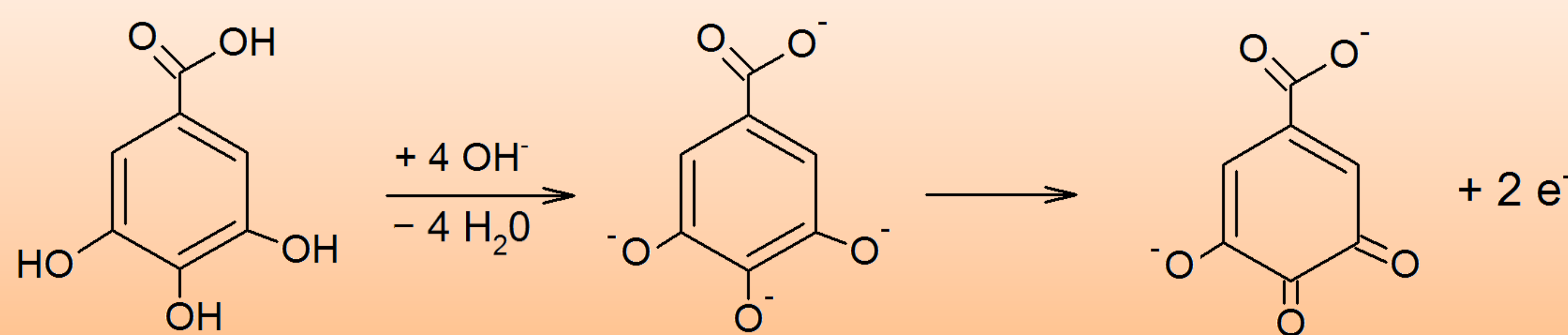


Abb. 4: Reaktionsverhalten Gallussäure im alkalischen Milieu

Aufgrund dieser strukturellen Eigenschaften eignet sich Gallussäure für den Einsatz in einer **Flow-Battery**.

Für den **Modellversuch** mit Gallussäure als Anodensubstanz wird der Aufbau aus Abb. 1 wie folgt verändert:

- Verwendung einer **alkalischen Gallussäure-Lösung** (5g/150ml NaOH).
- Potentialmessung mit einer **Ag/AgCl-Elektrode**.

Im Versuchsverlauf von 60 Minuten werden Spannung, Stromstärke und die Potentiale der beiden Elektroden gemessen (Abb. 5).

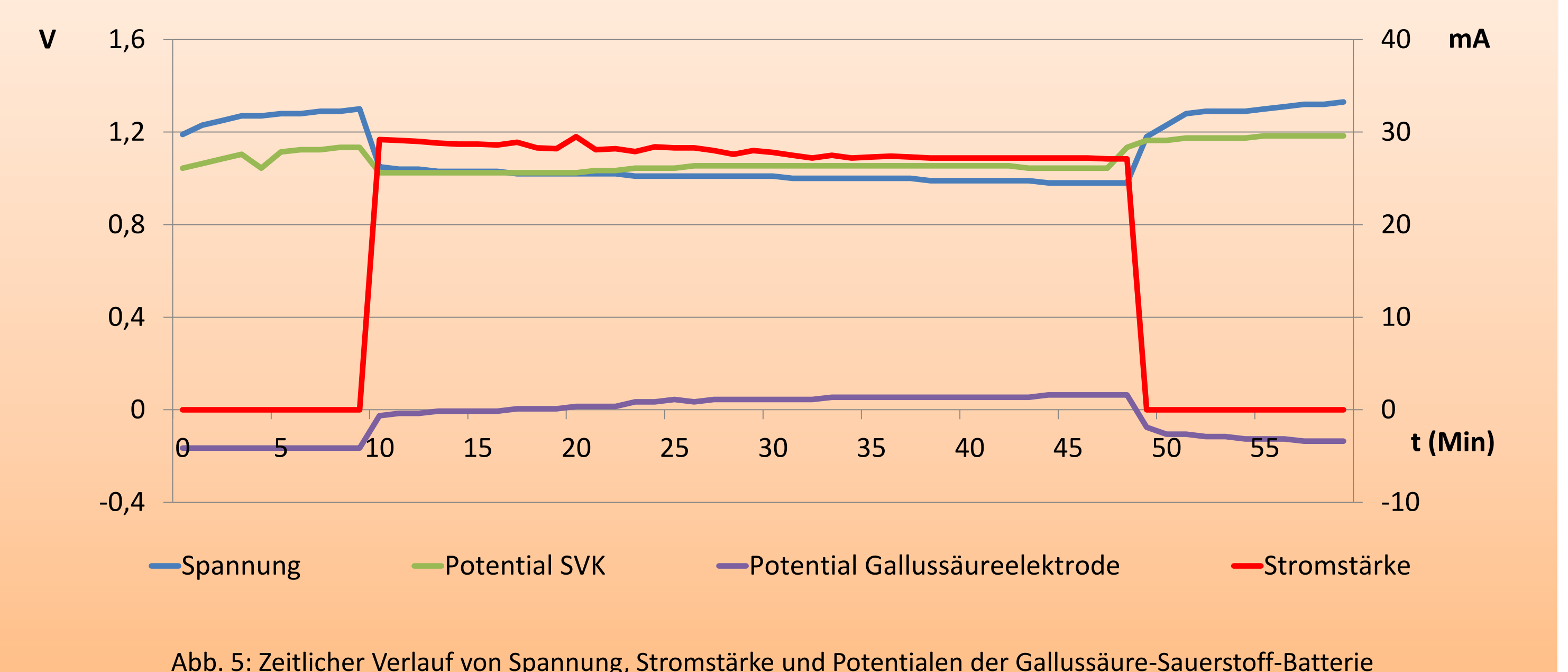


Abb. 5: Zeitlicher Verlauf von Spannung, Stromstärke und Potentialen der Gallussäure-Sauerstoff-Batterie

- Die **Ruheklemmspannung** betrug nach 10 Minuten 1,3 V und das Ruhepotential der Kohle/Gallussäure-Elektrode -0,16 V.
- Nach Einschalten eines **leistungsstarken Motors** mit einer Stromaufnahme von etwa 28 mA fiel die Spannung nur relativ gering auf 1,05 V ab.
- Während einer **Betriebszeit** von 40 Minuten halten sich die Spannung sowie die Potentiale der beiden Elektroden konstant.

Fazit

Die **Gallussäure/Sauerstoff-Batterie** läuft auch unter Belastung mit einem leistungsstarken Motor stabil. Der Versuch zeigt also, dass Gallussäure in alkalischer Lösung eine **sehr geeignete Anodensubstanz** für Flow-Batterie darstellt.