

## Einleitung

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

- Als mögliche Lösung werden **Flow-Batteries** diskutiert.
- In diesen Batterien werden die elektrochemisch wirksamen und im Elektrolyten gelösten Stoffe den Elektroden einer Halbzelle kontinuierlich zugeführt.
- 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.

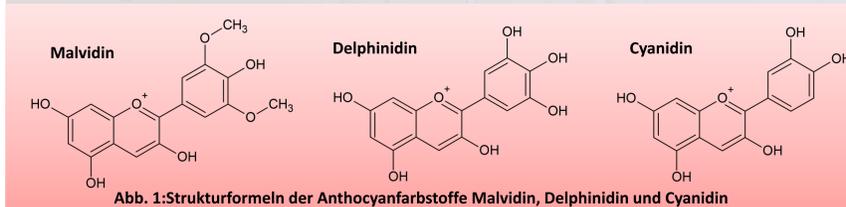
In vorherigen Arbeiten konnten bereits eine Reihe von **Experimenten für den Chemieunterricht** entwickelt werden, mit denen das Prinzip von Redox-Flow-Zellen mit organischen Substanzen verdeutlicht wird.

- Durch den Einsatz von **anthocyanhaltigen Lebensmitteln** können weitere spannende Experimente mit Alltagsmaterialien erschlossen werden.

## Anthocyane

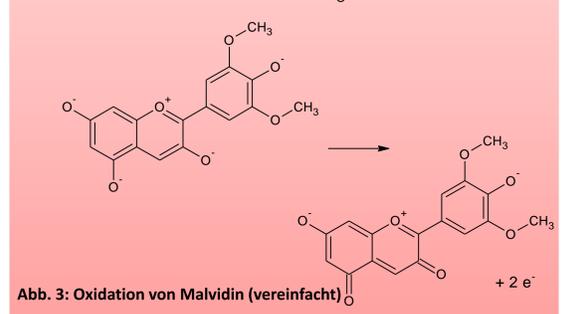
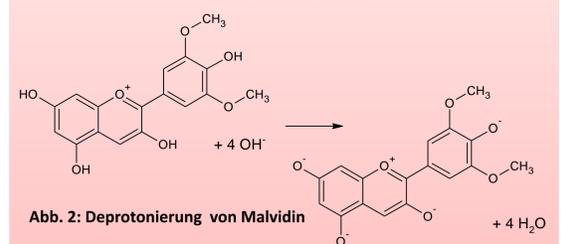
- Wasserlösliche **Pflanzenfarbstoffe**
- Vorkommen in höheren Pflanzen.
- Intensiv rote, violette oder blaue **Färbung** von Blüten und Früchten.
- Blaue Trauben, Holunderbeeren und Heidelbeeren sind reich an Anthocyanen.
- Vertreter sind **Malvidin**, **Cyanidin** und **Delphinidin**.
- Malvidin-Gehalt in Rotwein je nach Rebsorte unterschiedlich, besonders reichhaltig: Dornfelder Rotwein.

Lebensmittel	Gehalt an Anthocyanen
Holundersaft	1900-6600 mg/100 ml <b>Cyanidin</b>
Johannisbeersaft (schwarz)	1300-4000 mg/100 ml <b>Delphinidin</b>
Rotkohl	12-40 mg/100 g <b>Cyanidin</b>
Rotwein	2-1000 mg/100 ml <b>Malvidin</b>



- Aufgrund der phenolischen OH-Gruppen der Anthocyane ist eine **Oxidation zu Chinonen** möglich.

### Reaktionsschemata zur Oxidation von Malvidin



## Einsatz von Rotwein

- Einfacher Aufbau in einem Becherglas (Abb. 4).
- Zwischen den beiden Halbzellen dient ein **Tontopf** als semipermeable Membran.
- Als **Elektrodenmaterial** hat sich die Nutzung von Graphitfolien bewährt.
- Auf der Kathodenseite wird eine Sauerstoffverzehrkathode mit der Kohleelektrode nach Oetken [4] verwendet
- Zur Verdeutlichung des **Flow-Prinzips** wird ein Magnetrührer mit Rührkern genutzt (Abb. 4).

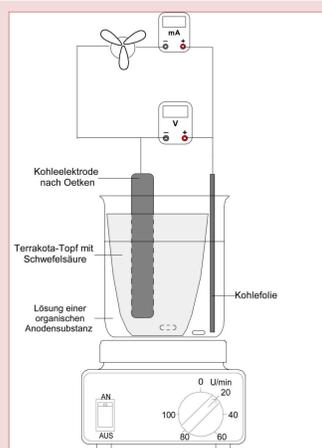


Abb. 4: Versuchsaufbau

Mit diesem Versuchsaufbau kann der Einsatz von Anthocyanen in organischen **Flow-Batteries** in einem Modellversuch untersucht werden.

- Anthocyanhaltige Lebensmittel als Anodensubstanz.
- Verwendung einer **alkalischen Anthocyan-Lösung** (Holundersaft, Johannisbeersaft oder Rotwein in 1 mol/l NaOH).
- Zusätzlich zur Ruhespannung auch Potentialmessung mit einer **Ag/AgCl-Elektrode** möglich.

Im Versuchsverlauf von 30 Minuten werden Spannung, Stromstärke und die Potentiale der beiden Elektroden gemessen (Abb. 5).

- Die **Ruheklemmspannung** betrug 1,23 V und das Ruhepotential der Kohle/Rotwein-Elektrode -0,44 V gegen NHE (s. Abb. 5).
- Nach Einschalten eines **leistungsstarken Motors** wurde nach 3 Minuten eine Stromstärke von 15,4 mA und eine Spannung von 0,62 V gemessen.
- Während einer **Betriebszeit** von 30 Minuten halten sich die Spannung sowie die Potentiale der beiden Elektroden konstant.

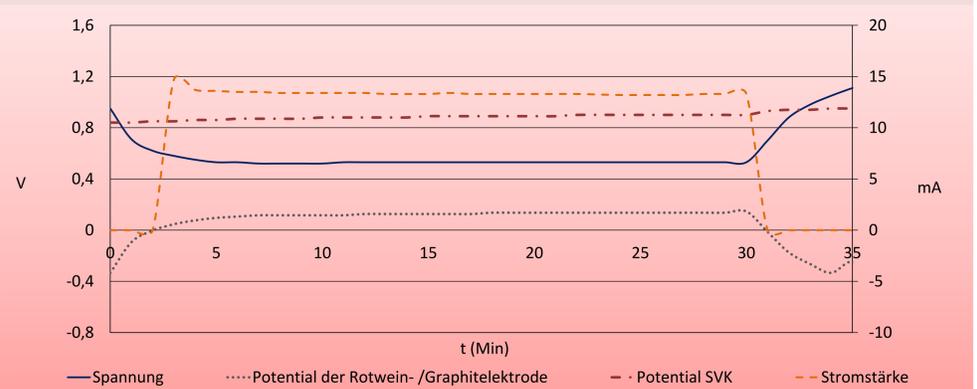


Abb. 5: Zeitlicher Verlauf von Spannung, Stromstärke und Potentialen der Rotwein-Sauerstoff-Batterie

### Fazit

Die **Anthocyan/Sauerstoff-Batterien** laufen auch unter Belastung mit einem leistungsstarken Motor stabil. Die Versuche zeigen, dass Anthocyane in alkalischer Lösung **geeignete Anodensubstanzen** für **Flow-Batteries** darstellen; eine Wiederaufladbarkeit ist allerdings nicht zu erwarten.