

## Fest, sicher, nachhaltig Festelektrolyt-Batterien im Chemieunterricht

T.S. Gabriel & D. Rosenberg

### Energiespeicher: Fest oder flüssig?

Die Energiewende erfordert sichere und leistungsfähige Energiespeicher [1]. Batterien und Akkumulatoren sind dafür zentral, stoßen mit Flüssigelektrolyten jedoch an ihre Grenzen. Neue Ansätze wie **Gel-, Almost-Solid-State-, Festelektrolyt- und Metall-Luft-Batterien** scheinen sicherer, leistungsfähiger, langlebiger und energiedichter zu sein [2,3]. Für den Chemieunterricht ist eine Betrachtung innovativer Batterietechnologien mittels **Modellexperimenten** spannend und unter sicherheitsrelevanter Aspekte zu bewerten. Solche Fragestellungen können aufgegriffen werden, beispielsweise über vergleichende Experimente zur Viskosität und Brennbarkeit verschiedener Elektrolytarten.

Tab. 1: Unterschiede verschiedener Elektrolytarten

| Elektrolyt          | Eigenschaft                                                                                                | Vorteile                                                                                            |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Flüssig (klassisch) | <ul style="list-style-type: none"> <li>hohe Leitfähigkeit</li> <li>leicht entflammbar, brennbar</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>einfacher Stand der Technik</li> </ul>                       |
| Gel-artig           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Flüssigkeit in Gelmatrix gebunden</li> </ul>                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>erhöhte Stabilität</li> <li>geringe Auslaufgefahr</li> </ul> |
| Almost-Solid-State  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Hybrid/ Polymersysteme mit Restflüssigkeit</li> </ul>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>geringe Brennbarkeit</li> </ul>                              |
| Fest                | <ul style="list-style-type: none"> <li>vollständig fest</li> <li>Keramik / Polymer</li> </ul>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>brandhemmend</li> <li>kompakte Bauweise</li> </ul>           |

### Schulische Relevanz

Es ist bedeutsam, dass im Chemieunterricht neue Technologien und Ansätze behandelt werden [4]. Am Beispiel von Batterien und Akkumulatoren können Lernende **Fachwissen** (Iontentransport, Redoxreaktionen, Elektrolytarten) erwerben, Chancen und Risiken neuer Technologien bewerten sowie durch Experimente **Erkenntnisse** gewinnen. Das Thema motiviert durch einen **Alltagsbezug** und eröffnet fächerübergreifende Inhalte zu Physik, Technik, Politik und Geographie. Der Einsatz von **Alltagsmaterialien** (Abb.1) bei einfachen und anschaulichen Modellexperimenten ist didaktisch sinnvoll [5]: Sie sind sicher, ressourcenschonend und ermöglichen praxisnahes, nachhaltiges Experimentieren.

Tab. 2: Vorteile von Alltagschemikalien und -materialien

| Perspektive          | Vorteile                                                                                                                                                     | Beispiele                                                                                                                                                                                 |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fachwissenschaftlich | <ul style="list-style-type: none"> <li>Lebensweltbezug</li> <li>Motivation durch Alltagsnähe</li> <li>Modellhaftigkeit</li> <li>Transferkompetenz</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Augenpads (Gel-Struktur)</li> <li>Zahnpasta (Viskoser Elektrolyt)</li> <li>Salzpaste (Leitfähigkeit)</li> <li>Tongefäße (Porenstruktur)</li> </ul> |
| Wirtschaftlich       | <ul style="list-style-type: none"> <li>geringe Kosten</li> <li>leicht verfügbar</li> <li>wiederverwendbar</li> <li>einfache Entsorgung</li> </ul>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Zahnpasta</li> <li>Kochsalzpaste</li> <li>Tongefäße</li> </ul>                                                                                     |

### Innovative, einfache Modellexperimente

#### Kupfer-Zink-Batterie

Die Kupfer-Zink-Zelle mit **festem Elektrolyten** eignet sich als Modellversuch, weil sie die grundlegenden Prinzipien moderner Batterieklassen verdeutlicht: Durch den Einsatz eines **festartigen Iontenträgers** statt einer Flüssigkeit werden, in Abhängigkeit vom Flüssigkeitsanteil, Aspekte von Gel-, Almost-Solid-State- und Festkörperbatterien anschaulich nachgebildet. Gleichzeitig macht der Versuch deutlich, dass auch diese modernen Systeme auf den **Grundprinzipien galvanischer Zellen** – Redoxreaktionen und dem Iontentransport durch ein Elektrolyt – beruhen.

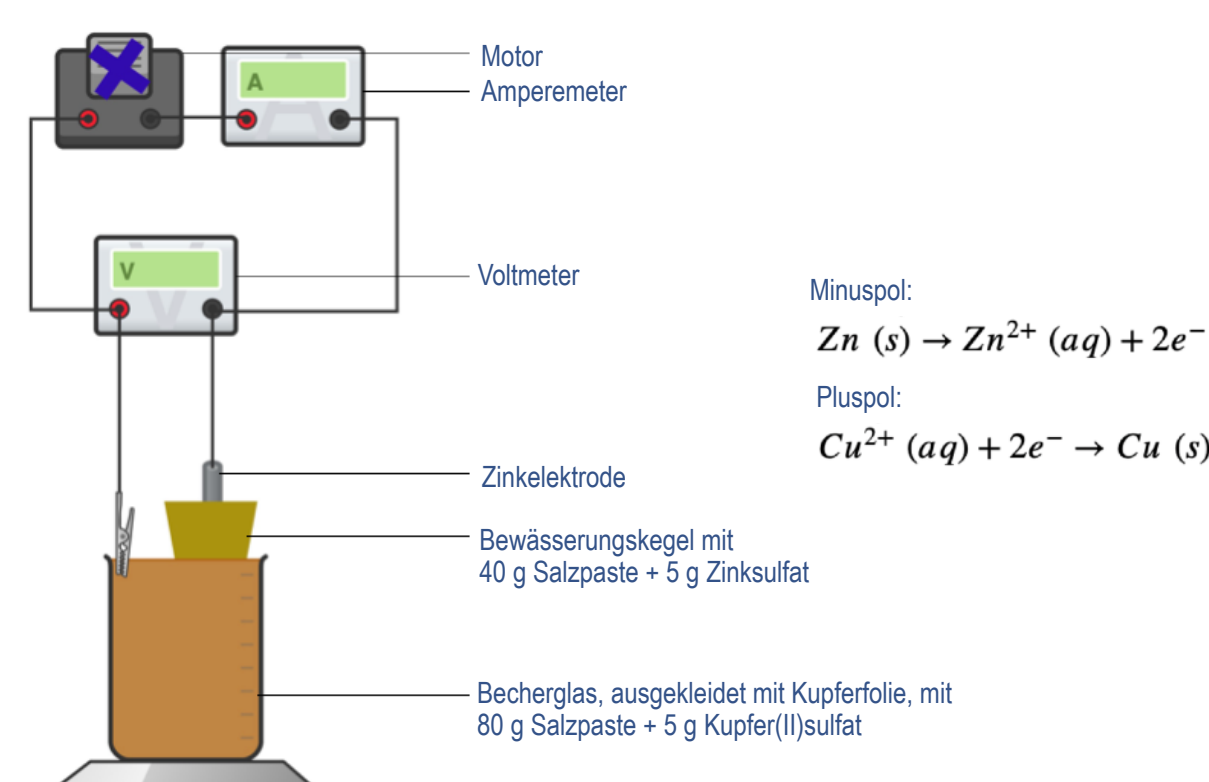


Abb. 4: Versuchsskizze und Reaktion der Kupfer-Zink-Batterie

Die Darstellung veranschaulicht den prinzipiellen Aufbau der Kupfer-Zink-Batterie mit festem Elektrolyten und zeigt die zugrundeliegende Redoxreaktion auf. In der praktischen Durchführung des Modellexperimentes zeigen sich folgende **Ergebnisse**:

Die Zelle weist eine **Ruheklemmspannung von 1,089 V** auf. Unter Last beträgt die **Betriebsspannung ca. 0,75 V** bei einer **Stromstärke von 2,68 mA**. Zudem lässt sich ein **stabiler Betrieb** über einen längeren Zeitraum verzeichnen, was ihre Eignung für den Chemieunterricht als anschaulicher Modellversuch unterstreicht.

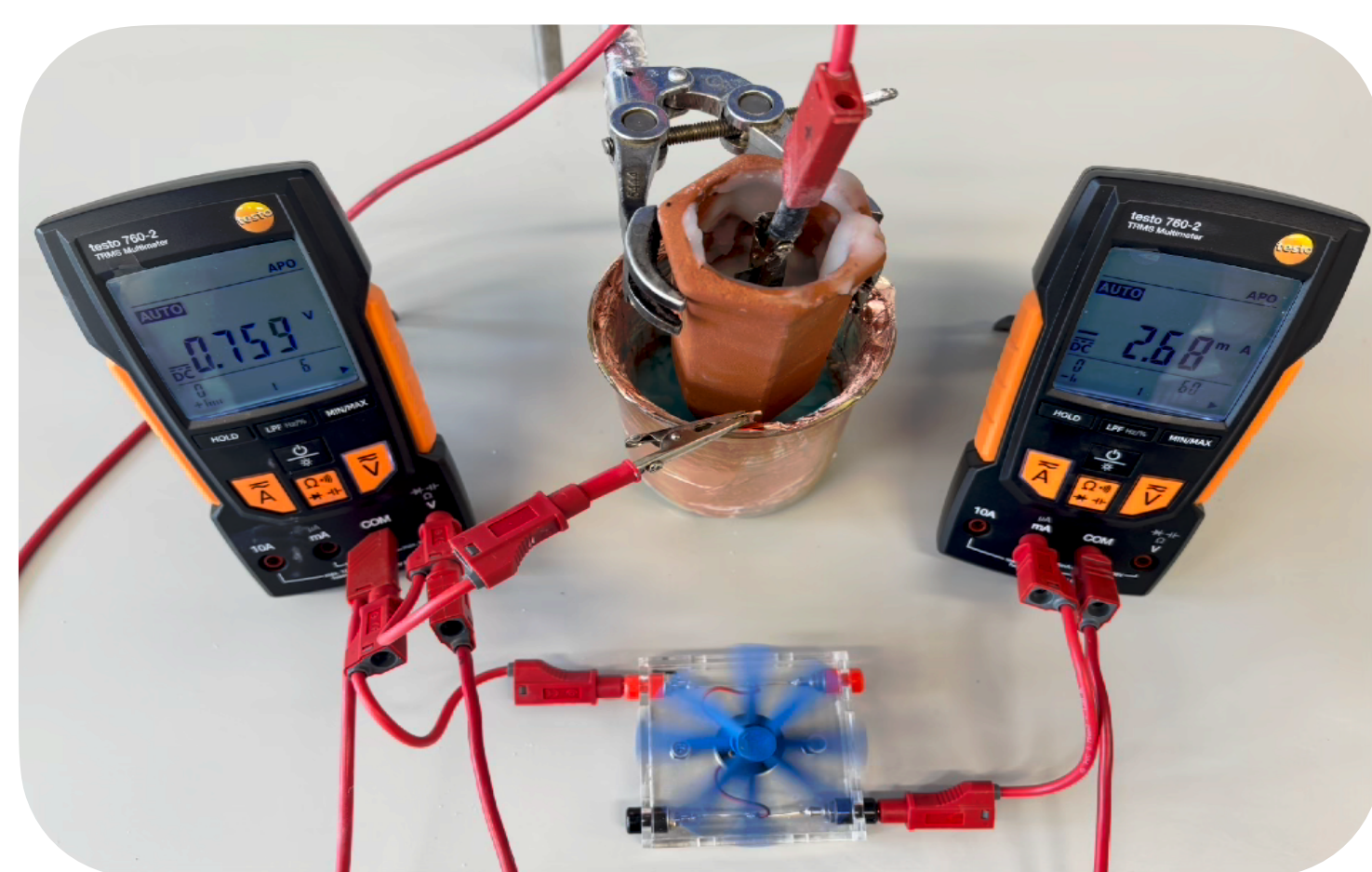


Abb. 6: Praktischer Versuchsaufbau der Kupfer-Zink-Batterie



Abb. 1: Darstellung verschiedener Alltagschemikalien und -materialien



Abb. 2: Vergleich der Viskosität verschiedener Elektrolyte am Beispiel der Cu-Zn-Zelle

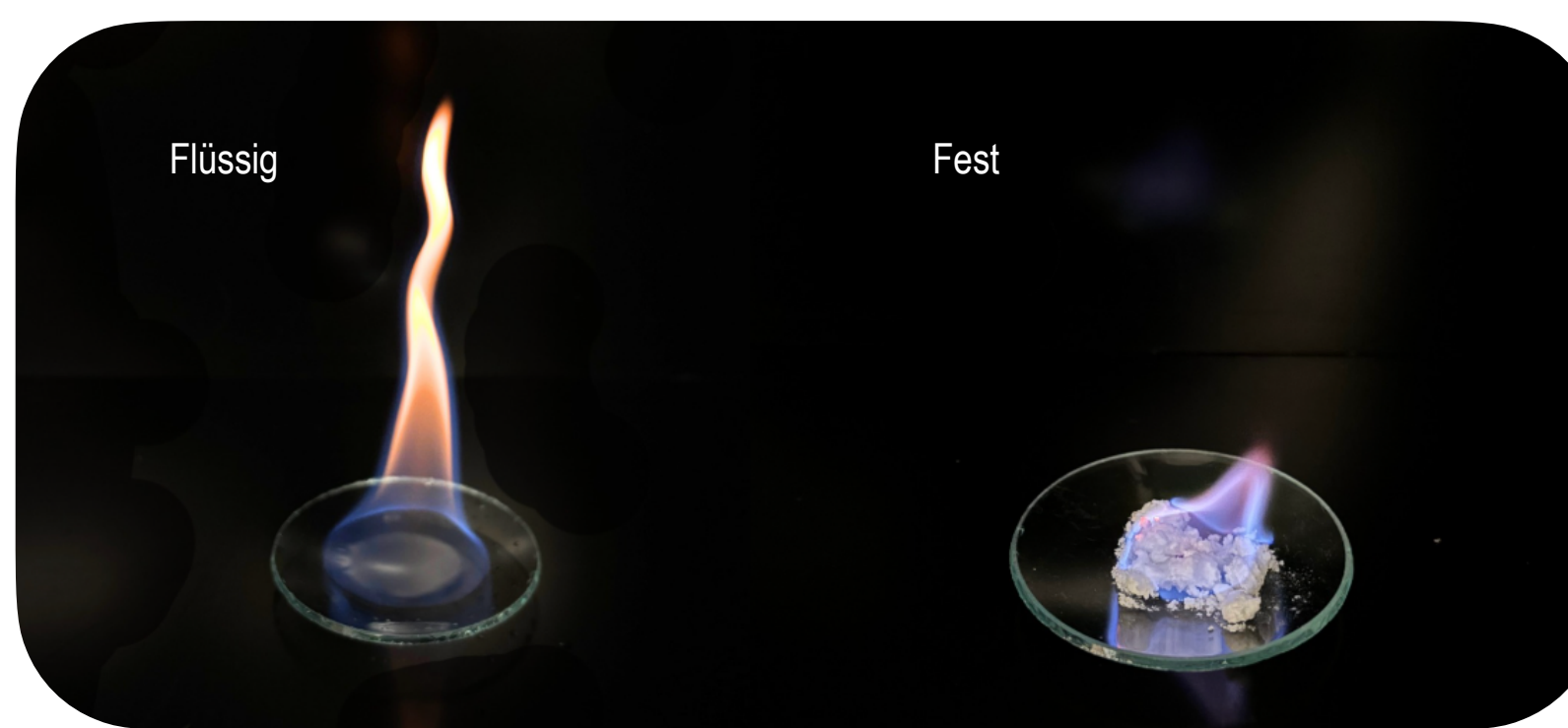


Abb. 3: Vergleich der Brennbarkeit

#### Magnesium-Sauerstoff-Batterie

Die Verwendung einer **Salzpaste als Elektrolyt** in einer Magnesium-Sauerstoff-Batterie eignet sich als Modellversuch für Metall-Sauerstoff-Batterien mit nicht flüssigen Elektrolyten. Die Salzpaste ist **halbfest und formstabil**, leitet aber durch gelöste Ionen und einen geringen Anteil an Wasser dennoch Strom. So lassen sich sicher und anschaulich Iontentransport sowie die Reaktionen an den Elektroden demonstrieren, wodurch die **Funktionsprinzipien von Metall-Sauerstoff-Batterien** verständlich werden.

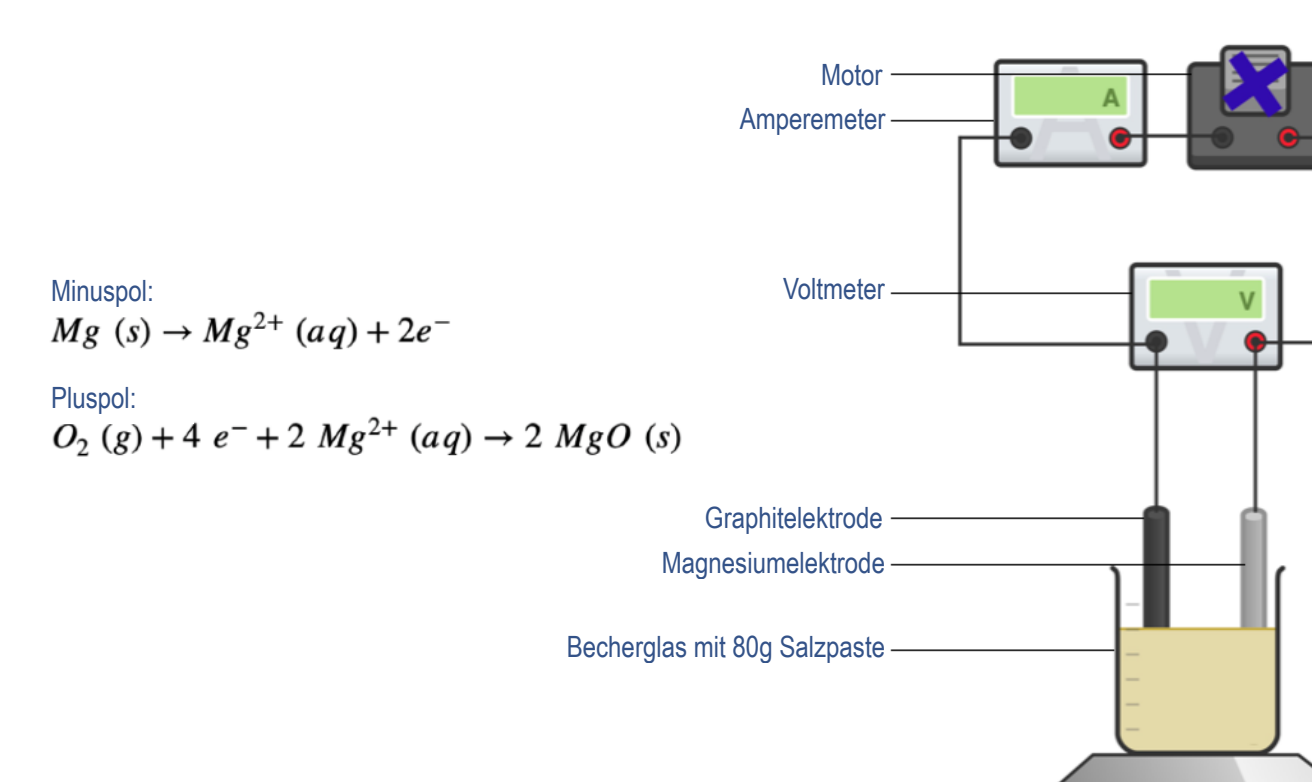


Abb. 5: Versuchsskizze und Reaktion der Magnesium-Sauerstoff-Batterie

Die Darstellung veranschaulicht den prinzipiellen Aufbau der Magnesium-Sauerstoff-Batterie mit festem Elektrolyten und zeigt die zugrundeliegende Redoxreaktion auf. In der praktischen Durchführung des Modellexperimentes zeigen sich folgende **Ergebnisse**:

Die Zelle weist eine **Ruheklemmspannung von 1,8–2,2 V** auf, abhängig von der Körnungsgröße und Hersteller. Unter Last beträgt die **Betriebsspannung ca. 1–1,2 V** bei einer **Stromstärke von 3,6 mA**. Es lässt sich ein stabiler Betrieb verzeichnen und der Elektrolyt ist längere Zeit **haltbar**.



Abb. 7: Praktischer Versuchsaufbau der Magnesium-Sauerstoff-Batterie

### Experimente zur Sicherheit

Die Untersuchung von Batterieelektrolyten ermöglicht es Lernenden, deren Sicherheit kritisch zu bewerten, um fundierte Entscheidungen im Alltag zu treffen. In einem ersten Experiment lässt sich das **Auslaufen** über die **Viskosität verschiedener Elektrolyte** untersuchen, wobei die Kupfer-Zink-Batterie als Referenz dient und feste bzw. gelartige Varianten mit Salzpasten hergestellt werden (Abb. 2). Ein weiterer Versuch vergleicht die **Brennbarkeit**: Flüssiges Dimethylcarbonat als Batterielösungsmittel wird mit einer brandhemmenden Paste bestehend aus Dimethylcarbonat und Kieselgel kontrastiert (Abb. 3).

### Ausblick & Fazit

Die vorgestellten Modellexperimente lassen sich im Unterricht anschaulich und mit einfacher Durchführung umsetzen, um den Aufbau und die Funktionsweise elektrochemischer Systeme anschaulich darzustellen. Eine **Weiterentwicklung** bietet sich vor allem durch die Betrachtung weiterer Batteriemodelle an. Besonders spannend sind **feste Lithium-Sauerstoff-Systeme**, die bereits im Labor erprobt werden und somit interessante Einblicke in aktuelle Entwicklungen ermöglichen.

Erste kreative Experimente zu Gelbatterien – zum Beispiel mit **Zahnpasta oder Augenpads** – zeigen, dass sich auch alltägliche Materialien zur Verdeutlichung elektrochemischer Prozesse einsetzen lassen. Anschauliche und einfache Modellversuche zu Batterietechnologien gestalten diese Batterietechnologie erfahrbar für die Lernenden, insbesondere durch den **direkten Alltagsbezug** sowie die Nutzung von Alltagsmaterialien.

#### Referenzen:

- [1] Fraunhofer ISI: Solid-State battery Roadmap 2035+; Karlsruhe; 2022
- [2] Kurzweil, P.; Dietlmeier, O.K.: Elektrochemische Speicher; 2. Auflage; Springer Vieweg; Wiesbaden, 2018
- [3] Yada, C.; Brasse, C. (2014): Bessere Batterien mit festem statt flüssigem Elektrolyt. ATZ Elektron 9, 20–25
- [4] Streller, S., et. al. (2019): Chemiedidaktik an Fallbeispielen: Anregungen für die Unterrichtspraxis. Springer Spektrum.
- [5] Eilks, I., & Rauch, F.: (2012). Sustainable development and green chemistry in chemistry education. Chemistry Education Research and Practice. 13. 57–58

#### Kontakt:

Tom S. Gabriel & Prof. Dr. Dominique Rosenberg  
 Albert-Einstein-Straße 27  
 18059 Rostock

tom.gabriel2@uni-rostock.de