



Experimente zur Brennstoffzelle als zentrales Thema nachhaltiger Entwicklung

Brennstoffzellen im Nachhaltigkeitsdiskurs

Im Zuge der angestrebten Energiewende von fossilen zu regenerativen Energieträgern und -wandlern gewinnen Brennstoffzellensysteme zunehmend an Bedeutung, sodass sie unmittelbar mit dem Begriff der Nachhaltigen Entwicklung verknüpft sind [1]. Dieser Befund spiegelt sich darin wieder, dass bundesweit im Lehrplan für das Fach Chemie in der gymnasialen Oberstufe die Thematisierung von Brennstoffzellen und zumeist eine Bewertung unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit vorgesehen ist, z.B. [2].

Der Begriff Brennstoffzelle

Chemische Energiewandler, die einen Brennstoff direkt in elektrische Energie überführen, werden als *Brennstoffzellen* bezeichnet. Sie arbeiten unter kontinuierlicher Zufuhr von Brennstoffen und Ableitung von Reaktionsprodukten. Da sich grundsätzlich jede Reaktion mit ausreichend negativer freier Enthalpie zum Einsatz in Brennstoffzellensystemen eignet, koexistiert eine Vielzahl verschiedener Systeme. Der Brennstoff wirkt an der Anode als Reduktionsmittel, die freigesetzten Elektronen werden in einen externen Stromkreis eingespeist, bevor sie an der Kathode schließlich die Reduktion eines Oxidationsmittels bewirken. Man unterscheidet nach Betriebstemperatur zwischen Niedertemperatur- und Hochtemperatursystemen.

Im schulischen Kontext bieten sich Niedertemperatursysteme wegen der besseren Handhabbarkeit an, wobei hier aufgrund ihrer wachsenden Bedeutung biologische Brennstoffzellen vorgestellt werden.

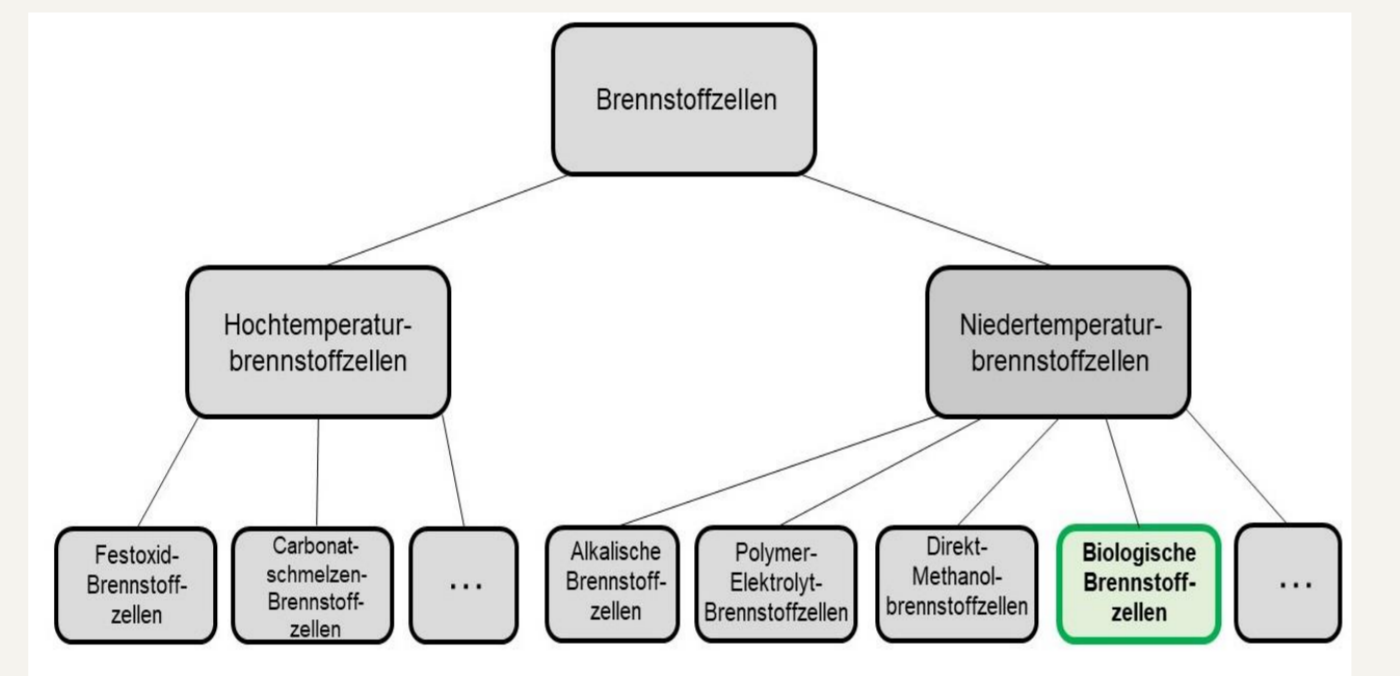


Abb. 1: Reduzierte Übersicht über die Einteilung von Brennstoffzellen.

Mikrobielle Brennstoffzellen (MFC)

Neben den enzymatischen sind auch die mikrobiellen Brennstoffzellen Vertreter der biologischen Brennstoffzellen. In diesen Systemen werden organische Substrate mithilfe von Biokatalysatoren an der Anode oxidiert. An der Kathode wird ein Oxidationsmittel reduziert. Durch den Elektronenfluss im externen Stromkreis kann ein Verbraucher betrieben werden. Da viele Enzym- und Mikroorganismus-Substrat-Kombinationen möglich sind und die Stoffwechselprozesse

zum größten Teil nicht eindeutig aufgeklärt sind, lassen sich keine allgemein gültigen Reaktionsgleichungen formulieren. MFC finden bislang in der Wasseraufbereitung, Energieversorgung kleiner technischer Geräte und der Sensorik Anwendung. Die Verwendung als Implantat im menschlichen Körper, etwa zur Energieversorgung von Herzschrittmachern durch Verstoffwechslung des Blutzuckers ist Gegenstand aktueller Forschung [5].

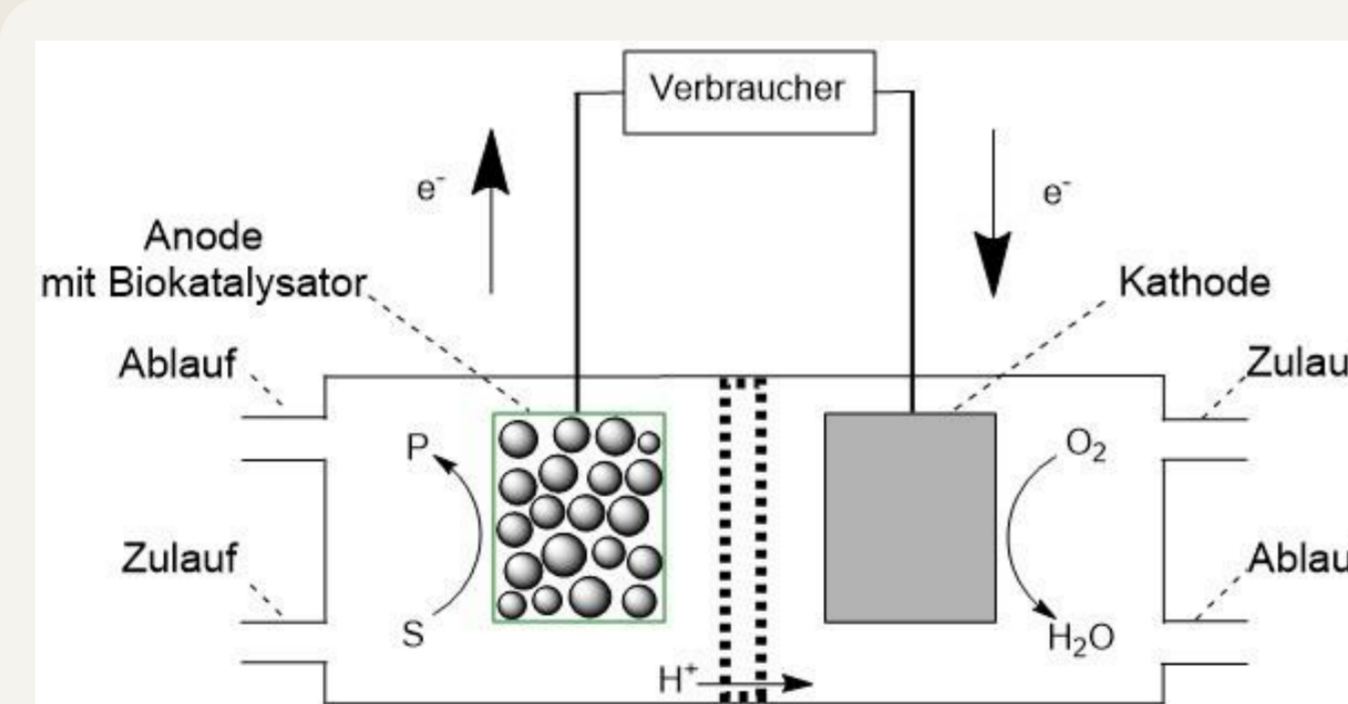


Abb. 2: Schematische Darstellung des Aufbaus biolog. Brennstoffzellen; mit S für Substrat und P für Produkt.

Die Bäckerhefe als schulgeeigneter Mikroorganismus



Abb. 3: Trockenhefegranulat.

Die Bäckerhefe *Saccharomyces cerevisiae* als etabliertes Produkt aus der Lebenswelt eignet sich sehr gut für die Verwendung in Schulversuchen: Ihr Umgang erfordert keinerlei besondere Schutzmaßnahmen. Als Trockenhefe ist sie gut zu bevorraten und weist eine zuverlässige Stoffwechselaktivität auf [6].

Schulgeeignete Experimente zur mikrobiellen Brennstoffzelle

Es liegen mehrere Vorschläge für schulgeeignete mikrobielle Brennstoffzellen vor [7,8,9]. Eine auf die wesentlichen Komponenten fokussierte Version von Hefe-Glucose-Brennstoffzellen als Vertreter der MFC wird derzeit in verschiedenen Geometrien an der Universität Tübingen entwickelt (Abb. 4) [10]. Anhand dieser Aufbauten kann die grundlegende Funktionsweise von MFC experimentell von Schüler*innen erschlossen werden.

Aufbau der Hefe-Brennstoffzellen

Im *Zwei-Topf-Aufbau* enthalten beide Bechergläser eine Glucose-Lösung. Im Anodenraum liegt zusätzlich Bäckerhefe vor. Als Elektrolytbrücke kann gerolltes Toilettenpapier genutzt werden, Eisennägel oder Eisenbleche dienen als Elektroden. Ein *Ein-Topf-Aufbau* kann mit analogen Lösungen bzw. Suspensionen und Elektroden realisiert werden. Um die Reaktionsräume voneinander zu trennen, wird eine Soxhlet-Hülse oder Eierkarton-Mulde als Fassung der Anoden-Halbzelle genutzt. Der *Kompakt-Aufbau* wird derzeit optimiert. Bislang enthält die Anodenhalbzelle eine Paste aus Frischhefe und Glucose in einem Filterpapier, ein Eisenblech die Anode. Aufgrund seiner guten Luftdurchlässigkeit wird ein Edelstahl-Spülschwamm als Kathode verwendet.



Zwei-Topf-Aufbau



Ein-Topf-Aufbau



Kompakt-Aufbau

Abb. 4: Verschiedene Geometrien

Experimentelle Befunde

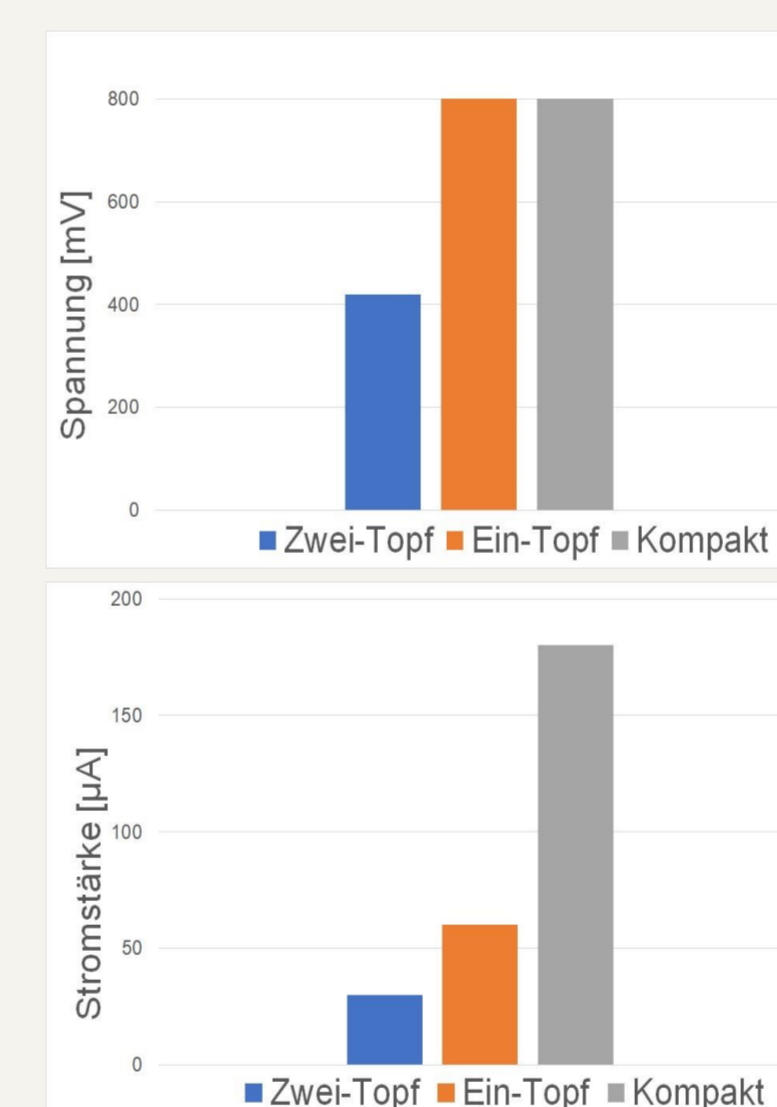


Abb. 5: Maximal gemessene Spannungen und Stromstärken verschiedener Geometrien

Durch die Stoffwechselaktivität der Hefe entsteht eine Potentialdifferenz, eine Spannung ist messbar. Vom Zwei-Topf- über den Ein-Topf- zum Kompakt-Aufbau wird die Zelleistung gesteigert (vgl. Abb. 5). Die Zellgeometrien können mit verschiedenen Substraten, etwa Glucose, Fructose und Saccharose betrieben werden (vgl. Abb. 6). Beim Einsatz von Saccharose wird diese von der Hefe in einem zusätzlichen Stoffwechselschritt zu Glucose und Fructose umgesetzt.

Glucose wird gegenüber Fructose bevorzugt verstoffwechselt. Solange noch Glucose vorhanden ist, wird Fructose nicht umgesetzt. Mit Glucose als Substrat wird im Zwei-Topf-Aufbau eine Spannung von etwa 400 mV und im Ein-Topf-Aufbau von 800 mV erreicht. Nach längerer Laufzeit fällt die Spannung aufgrund sinkender Substratkonzentrationen ab.

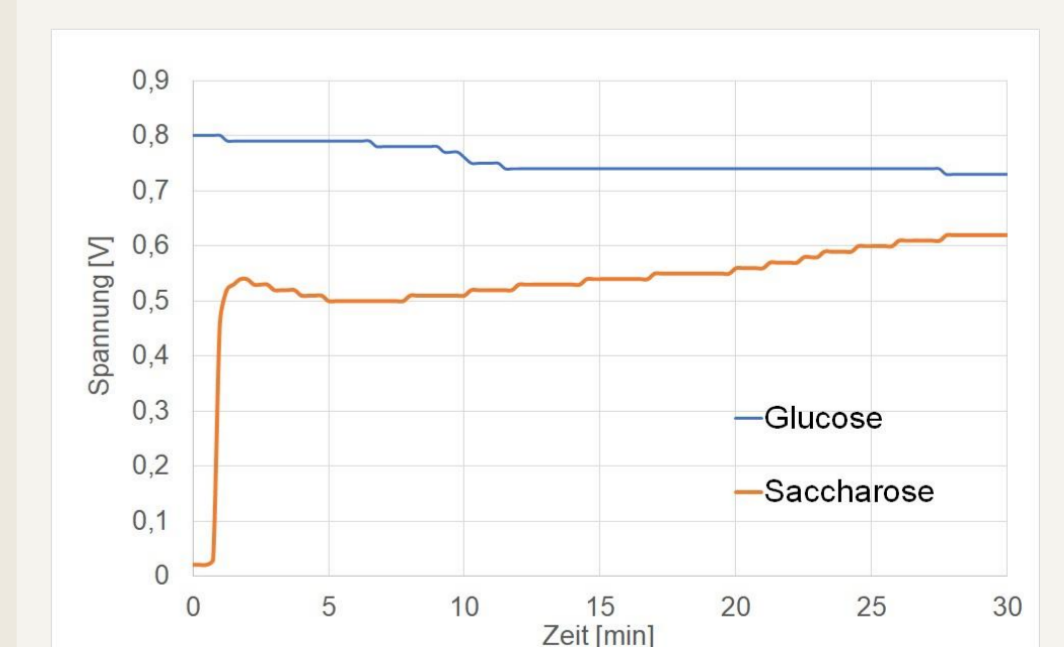
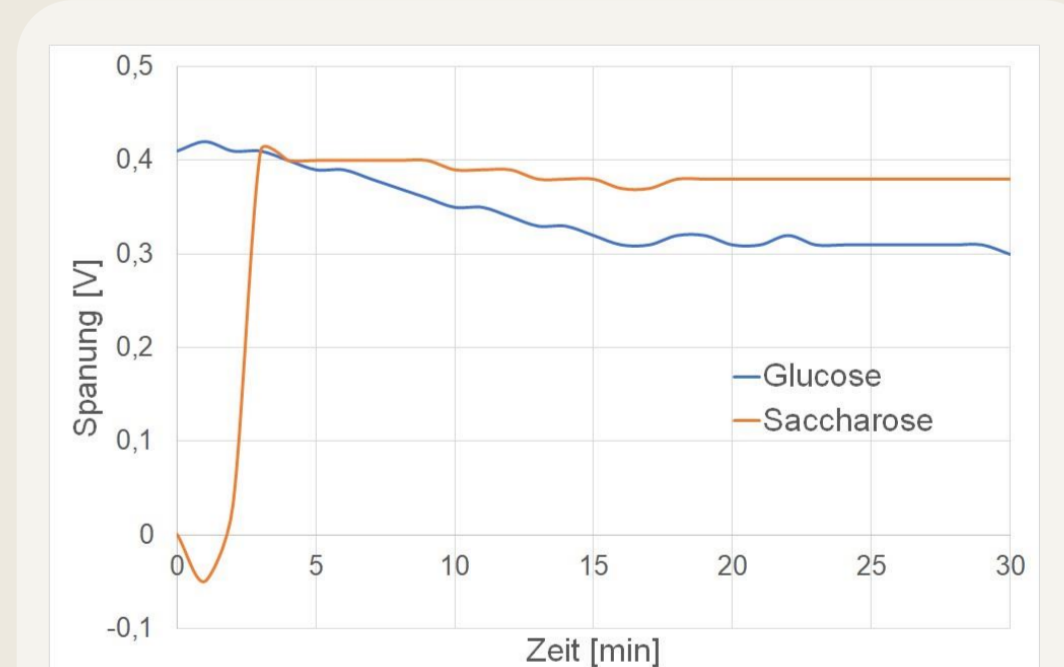


Abb. 6: Spannungsverlauf im Zwei-Topf- (oben) und Ein-Topf-Aufbau (unten).

Ausblick

Im Rahmen eines Dissertationsprojektes werden derzeit Experimentiersequenzen und Lehr-Lerneinheiten in Print- und digitaler Form zu Brennstoffzellen zum Einsatz in Schülerlaboren entwickelt. Der thematische Schwerpunkt liegt dabei auf biologischen Brennstoffzellen.

Literatur:

- [1] Töpler, Johannes; Lehmann, Jochen (Hg.) (2017): Wasserstoff und Brennstoffzelle. Technologien und Marktperspektiven. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage.: Springer Vieweg.
- [2] Ministerium für Jugend, Kultus und Sport Baden-Württemberg (2016): Bildungsplan des Gymnasiums - Chemie.
- [3] Kurzweil, Peter (2016): Brennstoffzellentechnik. Grundlagen, Materialien, Anwendungen, Gaserzeugung. Unter Mitarbeit von Ottmar Schmid. 3. Aufl.: Springer Vieweg.
- [4] Santoro, Carlo; Arbizzani, Catia; Erable, Benjamin; Ieropoulos, Ioannis (2017): Microbial fuel cells. From fundamentals to applications. A review. In: *Journal of power sources* 356, 225–244.
- [5] Walker, G. M. Yeasts (2009). In: M. Schaechter Ed. Desk encyclopedia of microbiology, ELSEVIER 1174–1187.
- [6] Bennetto, H. P. (1990): Electricity generation by microorganisms. In: *Biotechnology Education* 1 (4), 163–168.
- [7] Orth, Jean Marc; Wenck, Helmut (2001): Biochemische Brennstoffzellen im schulchemischen Experiment. In: *CHEMKON* 8 (3), 138–142.
- [8] Silveira, Gustavo; Ikegaki, Masaharu; Schneedorf, José Mauricio (2016): A low-cost yeast-based biofuel cell. An educational green approach. In: *Green Chemistry Letters and Reviews* 10 (1), 32–41.
- [9] Zückert, Rebecca ; Bohrmann-Linde, Claudia (2018): Die Biologische Brennstoffzelle im Chemieunterricht – einfache Experimente mit kostengünstigen Materialien. In: *CHEMKON*; eingereicht.