

UNTERRICHTSMODUL BRENNSTOFFZELLE

# BRENNSTOFFZELLE

ARBEITSBLATT UND LEHRERINFORMATION

---

**Fachinhalte:**

- ▶ **Elektrolyse und Knallgasreaktion**
- ▶ **Galvanische Gasbatterie**
- ▶ **Galvanische Elemente, Batterie, Akku, Brennstoffzelle in der Übersicht**
- ▶ **Historische Versuche von Schönbein und Grove**
- ▶ **Bauformen von Brennstoffzellen**
- ▶ **Fachbegriffe und Kenngrößen wie Elektrolyt, Katalysator**
- ▶ **Wirtschaftlichkeit der Brennstoffzelle**
- ▶ **Brennstoffzelle als Energiespeicher für erneuerbare Energien, Elektromobilität sowie Strom und Wärmeversorgung im Haushalt**

## BRENNSTOFFZELLE

### VORAUSSETZUNGEN

Die Schülerinnen und Schüler sind mit der Internet-Recherche vertraut. Sie verwenden Akkus und Batterien im Alltag und kennen vielleicht schon mobile oder eingebaute Brennstoffzellen aus dem Camping- und Wohnmobil-Bereich. Sie verfolgen die aktuelle Diskussion um Elektromobilität und kennen das Problem der Zwischenspeicherung von Strom aus Photovoltaik und Windkraftanlagen. Sie haben ein Grundverständnis von elektrischen Größen wie Spannung, Strom und elektrischer Leistung, kennen die Einheiten und einfache Berechnungsformeln. Aus der physikalischen Chemie sind ihnen der Aufbau von chemischen Elementen, von Molekülen und von Ionen bekannt. Die Schülerinnen und Schüler haben ein Grundverständnis von einfachen chemischen Reaktionen und kennen das Prinzip der Elektrolyse.

**GESAMTZEIT: 90 MINUTEN**

### HINWEISE ZUM STUNDENABLAUF

PHASE	INHALT	ZEIT
<b>1. Einstieg und Motivation</b>	Leiten Sie die Schülerinnen und Schüler in Kleingruppen an, selbstständig ein ungefährliches Experiment zur Elektrolyse von Wasser in Kleinstmengen durchzuführen. Hierbei führt die Erzeugung von Wasserstoffgas durch Zufuhr von elektrischer Energie ins Thema ein und verdeutlicht, dass Wasserstoff unter hohem Energieaufwand hergestellt werden muss. Die Schülerinnen und Schüler beschreiben im Anschluss den Versuch, stellen Fakten zusammen und diskutieren, wozu der Versuch nützlich ist.	20 Min.
<b>2. Einführung des Prinzips „Brennstoffzelle“ nach Schönbein und Grove und Einordnen in die Kategorie der „galvanischen Zellen“</b>	In Einzelarbeit machen sich die Schülerinnen und Schüler mit dem Gedankengang von der Elektrolyse über die Knallgasreaktion zur „kalten Verbrennung“ bis zur Brennstoffzelle vertraut und verstehen die historischen Versuche von Schönbein und Grove. Sie verstehen den Begriff „galvanische Gasbatterie“ und können sie den galvanischen Zellen zuordnen. Dabei lernen sie die notwendigen Fachbegriffe zur Brennstoffzelle kennen.	20 Min.
<b>3. Funktionsweise Brennstoffzelle und technische Umsetzung</b>	Die Schülerinnen und Schüler erarbeiten sich zunächst in Einzelarbeit die Funktionsweise einer Brennstoffzelle (BZ) und analysieren den technischen Aufbau eines Brennstoffzellen-Stapels. Gruppenpuzzle: Im Anschluss werden 6 Stammgruppen gebildet – eine für jede Bauform von BZ. Aus den Stammgruppen werden jeweils Expertengruppen gebildet, die sich mit einer Bauform von BZ genau auseinandersetzen. Zurück in den Stammgruppen vermitteln die Experten ihr Spezialwissen und sichern das Ergebnis mit den Einträgen im Diagramm.	30 Min.
<b>4. Wesentliche Anwendungen in Elektromobilität, Energiespeicherung und Haushaltsversorgung</b>	In Dreier-Gruppen erarbeiten sich die Schülerinnen und Schüler die drei Hauptanwendungen von BZ. Jede/r Schülerin/Schüler setzt sich mit einer Anwendung in Industrie und Gesellschaft auseinander. Zusätzlich zum Beschreibungstext der Anwendungen können sie auf die Informationen aus den Tabellen zurückgreifen. In der Gruppendiskussion erörtern sie in eigenen Worten die Vor- und Nachteile und die Wirtschaftlichkeit aller Anwendungen. Hier sollen sie sich auch überlegen, wie sich die Technologien am Markt besser durchsetzen können.	20 Min.



**BINNENDIFFERENZIERUNG**

- ▶ Die Basisaufgabe ist von allen Schülerinnen und Schülern zu lösen.
- ▶ Die Bonusaufgabe ist optional, sie dient als Reserve oder Ergänzung für leistungsstärkere Lernende.

**HAUSAUFGABE:**

Suche bei dir zuhause nach „mobilen Vorrichtungen“ zur Erzeugung von elektrischer Energie für elektrische Verbraucher. Füge diese in die richtige Spalte der Tabelle ein.

Spontane Stromerzeugung	Speicherung von Strom aus dem Netz	Wiederaufladbar bzw. nachfüllbar

## HINWEISE UND LÖSUNGEN ZU DEN AUFGABEN

### LÖSUNGSMÖGLICHKEITEN ZU DEM EINSTIEGSEXPERIMENT

Jede Kleingruppe benötigt ein Glas mit wässriger Essiglösung (1/3 Haushaltessig, 2/3 Wasser), einen Bleistift mit zwei angespitzten Enden als Kathode, eine 5-Cent-Kupfermünze als Anode und zwei isolierte Kabel mit jeweils Krokodilklemmen an beiden Seiten. Ein Kabel verbindet das obere Bleistiftende mit dem Minuspol einer 4,5-V-Flachbatterie, das andere verbindet den Pluspol der Batterie mit der Kupfermünze. Für die Durchführung des Versuchs dürfen nur die Elektroden, nicht die Klemmen aus unedlem Metall in die Lösung eintauchen und müssen am besten von Hand so in der Flüssigkeit stabilisiert werden.

An der Kathode, also an der Bleistiftmine, steigen nach kurzer Zeit feine Wasserstoff-Gasbläschen auf. Die Bildung von Sauerstoff an der Anode ist so gering, dass kein Effekt an der 5-Cent-Münze zu beobachten ist. Die essigsaurer Lösung trennt das Wasser nur schwach und bildet positiv geladenen  $H^+$ -Teilchen, also Wasserstoff-Ionen und Sauerstoff. Je zwei  $H^+$ -Ionen nehmen an der Kathode zwei Elektronen auf und bilden  $H_2$ -Moleküle, also Wasserstoffgas, das an der Kathode entweicht.  $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$ .

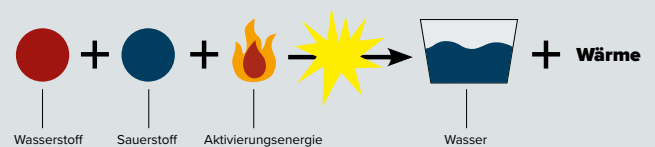
### DEUTUNG:

Bei Zufuhr von elektrischem Strom, also einem Elektronenstrom, in eine saure, wässrige Lösung aus Wasserstoff- und Sauerstoff-Ionen entsteht an der Kathode reiner Wasserstoff, an der Anode Sauerstoff. Elektrischer Strom kann Wasser in seine chemischen Bestandteile zerlegen. Diesen Prozess nennt man Elektrolyse. Der Prozess ist von großtechnischer Bedeutung und stellt Wasserstoff unter großem Energieaufkommen her.

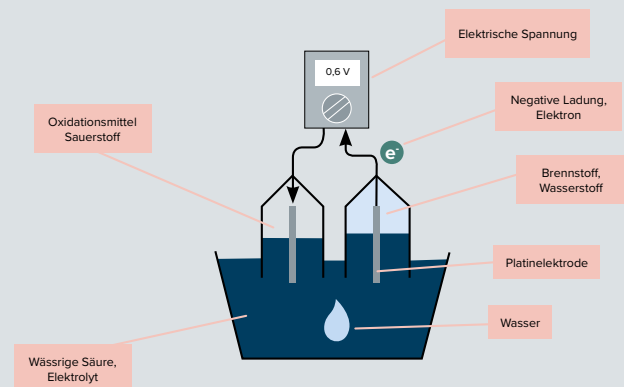
### 1. VON DER KNALLGASREAKTION ZUR BRENNSTOFFZELLE NACH SCHÖNBEIN UND GROVE

► Trage die passenden Überschriften und Textnummern ein.  
Lösungsvorschlag:

#### 1 Knallgasreaktion



#### 3 Galvanische Gasbatterie



#### 2 „Kalte Verbrennung“

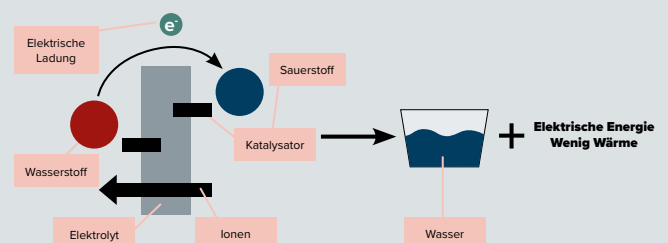


Abbildung 2

► Analysiere die Tabelle und ergänze die Felder.  
Lösungsvorschlag:

Galvanische Zellen (Bezeichnung nach Luigi Galvani (1737-1798), er entdeckte die spontane elektrische Energie aus einer physikalisch-chemischen Reaktion)			
	Batterie (Primärzelle)	Akku (Sekundärzelle)	Brennstoffzelle (Tertiärzelle)
Was geht hinein und wie?	Nichts	Elektrischer Ladestrom, meist über Kabel	Nachfüllbarer Brennstoff, flüssig oder gasförmig
Was passiert in der Zelle?	Die fest verbauten Stoffe reagieren in einer chemischen Reaktion miteinander.	Chemische Reaktion läuft in beiden Richtungen ab.	Katalysator und Elektrolyt aktivieren die „kalte Verbrennung“ des Brennstoffs durch Luft-Sauerstoff.
Endzustand, Abbauprodukt	Nicht umkehrbare Zersetzung der Inhaltsstoffe, Umweltgifte.	Umwandlung der chemischen Stoffe wird für viele Zyklen rückgängig gemacht.	Wasser, manchmal Kohlendioxid.
Was kommt heraus?	Elektrischer Strom	Elektrischer Strom	Elektrischer Strom

Abbildung 3

## 2. BRENNSTOFFZELLEN UND IHRE BAUFORMEN

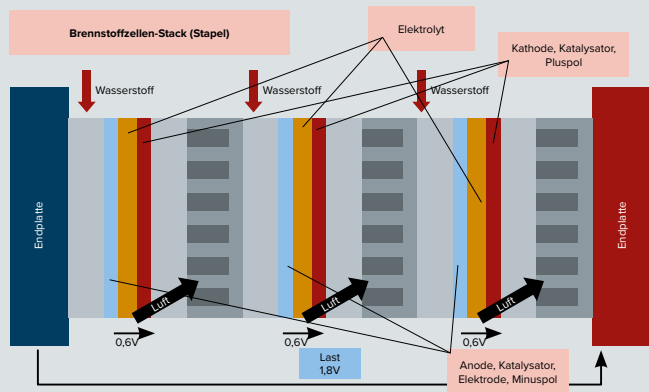
### ► ANALYSIERE DIE GRAFIK

Lösungsvorschlag:

Auf der linken Seite der Zelle tritt der Brennstoff, z. B. Wasserstoff, ein und trifft auf die negative Elektrode, die Anode. Sie ist gleichzeitig der Katalysator für die Reaktion. Die Elektronenabgabe des Brennstoffs erfolgt an die elektrische Leitung an der Anode. Dort wandern sie als elektrischer Strom durch den Verbraucher zum Pluspol. Die Ionen wandern durch den Elektrolyt zur positiven Elektrode, der Kathode. Dort nehmen die Ionen negative Ladungen auf und bilden als Abgas Wasser.

### ► MALE WEITER UND BESCHRIFTE DEINE ZEICHNUNG

Lösungsvorschlag:



Eine Anordnung von mehreren Brennstoffzellen hintereinander in elektrischer Reihenschaltung nennt man Brennstoffzellenstapel oder Stack. Die Einzelspannungen addieren sich.

Abbildung 5

### ► GRUPPENPUZZLE:

Es werden Sechser-Gruppen, die Stammgruppen, gebildet. Teilen Sie jeder Schülerin und jedem Schüler einen Typ der Brennstoffzellen (Abbildung 6) zu. Die Schülerinnen und Schüler treffen sich in den Expertengruppen und analysieren den zugeteilten Typ der Brennstoffzelle. Im Anschluss kehren sie in ihre Stammgruppe zurück, vermitteln ihr Expertenwissen und sichern das Ergebnis mit den Einträgen im Diagramm (Abbildung 7).

Lösungsvorschlag:



Abbildung 7

### BONUSAUFGABE: BERECHNUNG EINES BRENNSTOFFZELLEN-STAPELS FÜR PKW

Lösungsvorschlag:

$$P = 12 \text{ V} \cdot 40 \text{ A} = 480 \text{ Watt}$$

$$U = 12 \text{ V} / 0,6 \text{ V} = 20 \rightarrow \text{Der Stapel enthält 20 Zellen mit einer Dicke von je 2,8 mm}$$

$$D = 20 \cdot 2,8 \text{ mm} = 56 \text{ mm} = 5,6 \text{ cm}$$

$$\text{Die Maße des Stapels betragen also z. B. } 10 \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm} \cdot 5,6 \text{ cm} = 560 \text{ qcm}$$

$$100 \text{ kWatt} / 480 \text{ W} = 208 \text{ Stapel}$$

$$208 \cdot 560 \text{ qcm} = 0,116 \text{ qm, das entspricht 116 Liter}$$

### 3. ANWENDUNGEN FÜR BRENNSTOFFZELLEN IN INDUSTRIE, VERKEHR UND HAUSHALT

Lösungsvorschlag:

#### ZU ELEKTROMOBILITÄT MIT DER PEFC-BRENNSTOFFZELLE

- Keine Abgase außer Wasser
  - Brennstoffzelle braucht weniger Platz als ein Akku vergleichbarer Leistung
  - Die Betriebstemperatur ist gering und für mobilen Einsatz geeignet
  - Die PEFC hat ein dynamisches Leistungsverhalten
  - Zelle leichter als Akku
  - Die Reichweite ist bei 5-kg-Tank groß
  - Schnelles Tanken
- Die Zelle benötigt reinen Wasserstoff
  - Wasserstoff muss energieaufwändig durch Elektrolyse hergestellt werden
  - Sichere Lagerung von Wasserstoff schwierig
  - Es muss getankt werden
  - Kein ausreichendes Tankstellennetz vorhanden
  - Tank und Brennstoffzelle brauchen viel Platz
  - Lohnt eher für größere Fahrzeuge
- Es werden in jeder Zelle des Stapels zwei Platin-Katalysatoren benötigt
  - Das Gesamtsystem erfordert mehrere Komponenten mit hohen Anforderungen (Tank, BZ)
- Billigere Katalysatoren, kompaktere Bauform

#### ZU ENERGIESPEICHERUNG AUS WIND- UND SOLAR-ENERGIE

- Kostengünstig, da doppelte Ausnutzung des Materials
  - Doppelte Funktion als Elektrolyseur und Versorgungssystem für Strom und Wärme
  - Speicherung von überschüssigem elektrischem Strom von Windkraftanlagen und Solarenergie
  - Kein Betanken, da die Zelle ihr eigenes Brenngas produziert
- Noch in der Entwicklungsphase, nicht kommerziell verfügbar
  - Es kann kein Brennstoff von außen verwendet werden

- Noch in Entwicklung
- Kompakte Bauweise für mobilen Einsatz würde die BZ zur Zwischenspeicherung von Solarstrom für die Nacht im privaten Haushalt attraktiv machen
  - Preisgünstiges Massenprodukt

#### ZU ENERGIEEFFIZIENTE HAUSVERSORGUNG

- Kostengünstige Stromproduktion
  - Kein teurer Katalysator notwendig
  - Erdgas über die Infrastruktur im Haushalt verfügbar
  - Ein Gerät liefert Wärme und Strom
  - Kostensenkung durch Einspeisung von Strom ins Netz
- Hohe Investitionskosten
  - Hohe Betriebstemperatur erfordert kostspielige Materialien
  - Relativ große Abmessungen
  - SOFC-Brennstoffzelle eignet sich nur für Dauerbetrieb, da geringe Leistungsdynamik
- Aufwändige Materialien wegen der hohen Betriebstemperaturen bis 1000 °C
- Staatliche Förderung

#### HAUSAUFGABE

Lösungsvorschlag:

Spontane Stromerzeugung	Speicherung von Strom aus dem Netz	Wiederaufladbar bzw. nachfüllbar
1,5 V Mignon-Zelle	Akkuladekabel	Akku
Dynamo am Fahrrad	Akku in der Zahnbürste	Autobatterie
Kurbel-Taschenlampe		Brennstoffzelle
Solarzelle		im Wohnmobil