

Chemie für die Sekundarstufe II

Wasserstoff

Energie für morgen



Martyn Berry & Averil Macdonald

heliocentris

Inhalt

Teil 1

Vorbereitete experimentelle Lektionen mit Lehrerinformationen zur Vermittlung von Rahmenplaninhalten und experimentellen Fertigkeiten

- | | |
|--|----------|
| 1. Der Treibhauseffekt | Seite 12 |
| 2. Die Elektrolyse von Wasser | Seite 18 |
| 3. Die Avogadro-Konstante | Seite 24 |
| 4. Die Kennlinie eines Elektrolyseurs | Seite 30 |
| 5. Der Faraday-Wirkungsgrad eines Elektrolyseurs | Seite 36 |
| 6. Die Kennlinie einer Brennstoffzelle | Seite 42 |
| 7. Der Wirkungsgrad einer Brennstoffzelle | Seite 48 |
| 8. Das 1. faradaysche Gesetz am Beispiel einer Brennstoffzelle | Seite 54 |
| 9. Reaktionsgeschwindigkeiten an Elektroden | Seite 60 |
| 10. Die Kennlinie einer Methanol-Brennstoffzelle | Seite 62 |
| 11. Die Abhängigkeit der Leistung einer Methanol-Brennstoffzelle von der Methanolkonzentration | Seite 68 |
| 12. Die zerlegbare Brennstoffzelle: Einfluss der Katalysatorbelegung auf die Kennlinie | Seite 74 |
| 13. Die zerlegbare Brennstoffzelle: Einfluss der Gaszufuhr auf das Leistungsverhalten | Seite 80 |
| 14. Gruppenarbeit: Vergleich der Wasserstoff- mit der Methanol-Brennstoffzelle | Seite 86 |
| 15. Theoretische Grundlagen zur Funktionsweise von Brennstoffzellen | Seite 88 |

Teil 2

Schriftliche Aufgaben

- | | |
|---|-----------|
| 1. Brennstoffzellen: Gestern und heute | Seite 96 |
| 2. Das dritte Jahrtausend der Energieversorgung | Seite 98 |
| 3. Batterien oder Brennstoffzellen: Wo liegt die Zukunft? | Seite 100 |
| 4. Kraftfahrzeuge ohne Emissionen | Seite 102 |
| 5. Die erste Wasserstoff-Tankstelle | Seite 106 |
| 6. Kohlenstoff-Nanofasern | Seite 110 |

Schlusswort/Literatur

Seite 112

Teil 1

Experimentelle Lektionen

Diese Lektionen umfassen eine Vielzahl von Themen, die Gegenstand der Rahmenpläne für das Fach Chemie in der Sekundarstufe II sind.

Einsatz der Lektionen im Unterricht

Mit den Schülerübungsgeräten von heliocentris wird eine illustrierte Kurzanleitung geliefert.

Diese kann den Schülerinnen und Schülern zur Erleichterung der Experimentvorbereitung ebenfalls ausgehändigt werden.

Die Schüleranleitung: Die Schülerinnen und Schüler werden bei der Vorbereitung, der Durchführung und der Auswertung des Experimentes angeleitet. Vor- und nachbereitende Fragen stellen sicher, dass die experimentelle Arbeit auf einer soliden theoretischen Basis und in Bezug zum Alltag steht. Die Schülerinnen und Schüler entwickeln dabei vielfältige experimentelle Fertigkeiten wie den Entwurf und Aufbau von elektrischen Schaltungen, die Auswertung und Protokollierung von Messungen und die Nutzung von Computern bei der Auswertung von Messreihen. Die Experimentanleitungen können den Schülerinnen und Schülern kopiert werden.

Die Lehreranleitung: Diese umfangreiche Anleitung bietet zusätzliche Informationen zur konkreten Durchführung der Experimente und zu den Lerninhalten jedes Experiments. Sie enthält Details zum experimentellen Aufbau und Hinweise zu den zu erwartenden Ergebnissen.

Die Anleitungen enthalten theoretische Grundlagen des Experiments und Beispiele für die Auswertung. Falls die Schülerinnen und Schüler über die Schüleranleitungen hinaus Informationen zur Durchführung des Experimentes benötigen, können ihnen je nach Ermessen der Lehrerin/des Lehrers Teile der Lehrerinformation zur Verfügung gestellt werden. Dies ist manchmal von Vorteil, um die Richtung des Experiments vorzugeben oder Details der Messmethode zu vermitteln.

Inhalt

E1. Der Treibhauseffekt S. 12

Die Schülerinnen und Schüler entwickeln eine Methode zur Beobachtung des Treibhauseffektes in einem Glasgefäß, zunächst ohne und später mit einer im Gefäß enthaltenen schwarzen Oberfläche, die sichtbares Licht absorbiert und Infrarotstrahlung emittiert. Die Ergebnisse werden grafisch ausgewertet, die experimentelle Technik wird bewertet.

E2. Die Elektrolyse von Wasser S. 18

Das Solarmodul und der PEM-Elektrolyseur werden vorgestellt und verwendet, um das Verhältnis der Gase bei der Spaltung von Wasser zu bestimmen. Die Gase werden chemisch identifiziert und in der Brennstoffzelle umgesetzt. Die experimentelle Technik wird bewertet.

E3. Die Avogadro-Konstante S. 24

Die Kenntnis von der Elementarladung eines Elektrons gestattet die Bestimmung der Avogadro-Konstante, N_A , unter Verwendung des PEM-Elektrolyseurs. Die Bedeutung von Experimentwiederholungen und Genauigkeit sind wichtige Aspekte des Experiments. Die experimentelle Technik wird bewertet.

E4. Die Kennlinie eines Elektrolyseurs S. 30

Die Schülerinnen und Schüler untersuchen den Einfluss der Spannungsänderung im Elektrolyseur und beobachten den sich ändernden Strom. Die Ergebnisse werden grafisch präsentiert, die experimentelle Technik wird bewertet.

E5. Der Faraday-Wirkungsgrad eines Elektrolyseurs S. 36

Das Volumen des während der Elektrolyse entstehenden Wasserstoffs wird gemessen und mit dem theoretischen Wert verglichen. Die Wichtigkeit von Experimentwiederholungen für eine höhere Messgenauigkeit wird betont. Die experimentelle Messtechnik wird bewertet.

E6. Die Kennlinie einer Brennstoffzelle S. 42

Die PEM-Brennstoffzelle wird vorgestellt. Die Schülerinnen und Schüler untersuchen, wie sich Strom und Spannung der Brennstoffzelle bei unterschiedlich hohen Lastwiderständen ändern. Da die Vorgänge in der Brennstoffzelle die Umkehrung der Elektrolyse darstellen, können die beiden Kennlinien miteinander verglichen werden. Die Ergebnisse werden grafisch dargestellt, die Messtechnik wird bewertet.

E7. Der Wirkungsgrad einer Brennstoffzelle S. 48

Die Schülerinnen und Schüler bestimmen das Volumen an Wasserstoff, das die Brennstoffzelle verbraucht, um eine bestimmte Menge an elektrischer Energie zu produzieren, und vergleichen dieses Gasvolumen mit dem theoretisch ermittelten Wert. Weiterführende Experimente zum Energiewirkungsgrad und dessen Zusammenhang mit der Leistung der Brennstoffzelle werden vorgeschlagen. Berechnungen werden durchgeführt, die Messtechnik wird bewertet.

E8. Das 1. faradaysche Gesetz am Beispiel einer Brennstoffzelle S. 54

Die Schülerinnen und Schüler weisen das 1. faradaysche Gesetz am Beispiel der Brennstoffzelle nach, indem sie den Wasserstoffverbrauch in Abhängigkeit von (1) der Zeit bei konstantem Strom und (2) dem Strom bei konstanter Messzeit bestimmen. Die Ergebnisse werden grafisch ausgewertet, die Messtechnik wird bewertet.

E9. Reaktionsgeschwindigkeiten an Elektroden S. 60

Anhand der in den vorangegangenen Experimenten gewonnenen Ergebnisse lernen die Schülerinnen und Schüler, Berechnungen durchzuführen. So z. B. die Berechnung der Entladungsgeschwindigkeit von Protonen an der Kathode, so z. B. die Berechnung der Geschwindigkeit der Bildung von Wasserstoff oder z. B. die Bestimmung der Menge an Wasser, die in der Brennstoffzelle pro Zeiteinheit entsteht.

E10. Die Kennlinie einer Methanol-Brennstoffzelle S. 62

Die Methanol-Brennstoffzelle wird eingeführt. Die Schülerinnen und Schüler untersuchen, wie sich Strom und Spannung der Methanol-Brennstoffzelle in Abhängigkeit vom Lastwiderstand ändern. Die Ergebnisse werden grafisch ausgewertet und mit der Kennlinie der Wasserstoff-Brennstoffzelle verglichen. Die experimentelle Methode wird bewertet.

E11. Die Abhängigkeit der Leistung einer Methanol-Brennstoffzelle von der Methanolkonzentration S. 68

Die Schülerinnen und Schüler untersuchen die Abhängigkeit der Leistungsfähigkeit der Methanol-Brennstoffzelle von der Konzentration des Methanols in Wasser. Die Kennlinien und die Leistungskurven werden grafisch ausgewertet. Die Schülerinnen und Schüler werden dazu aufgefordert, die Form und Gestalt der Kurven zu diskutieren, um die in der Brennstoffzelle ablaufenden Prozesse zu verstehen. Die experimentelle Methode wird bewertet.

E12. Die zerlegbare Brennstoffzelle: Einfluss der Katalysatorbelegung auf die Kennlinie S. 74

Die zerlegbare Brennstoffzelle wird vorgestellt. Die Schülerinnen und Schüler werden mit dem Aufbau und der Funktionsweise der Brennstoffzelle vertraut gemacht, indem diese zerlegt und wieder zusammengesetzt wird. Die Kennlinie wird für zwei Membranen mit unterschiedlich hoher Katalysatorbelegung bestimmt. Die Beobachtungen werden im Hinblick auf die kommerzielle Verwendung von Brennstoffzellen diskutiert. Die experimentelle Methode wird bewertet.

Experimentelle Lektionen

E13. Die zerlegbare Brennstoffzelle: Einfluss der Gaszufuhr auf das Leistungsverhalten S. 80

Die Schülerinnen und Schüler betreiben die zerlegbare Brennstoffzelle und beeinflussen die Sauerstoffzufuhr an der Kathode. Die Ergebnisse werden als Kennlinien grafisch dargestellt. Die Beobachtungen werden im Hinblick auf die kommerzielle Verwendung und die Konstruktion von Brennstoffzellen diskutiert. Die experimentelle Methode wird bewertet.

E14. Gruppenarbeit: Vergleich der Wasserstoff- mit der Methanol- Brennstoffzelle S. 86

Eine Gruppe von Schülerinnen und Schülern untersucht die Wasserstoff- und die andere Gruppe die Methanol-Brennstoffzelle. Eine Liste von Gesichtspunkten für den Vergleich der Zellen wird vorgestellt, die von den Schülerinnen und Schülern bearbeitet werden sollen. Die Zellen werden im Hinblick auf ihre kommerzielle Anwendbarkeit verglichen. Von jeder Gruppe wird ein Bericht verfasst.

E15. Theoretische Grundlagen zur Funktionsweise von Brennstoff- zellen S. 88

Weiterführende Informationen zum Verständnis der Experimente 6 -14, die die folgenden Aspekte der Brennstoffzelle zum Thema haben:

- Funktionsprinzip,
- Struktur der Membran-Elektroden-Einheit,
- Gestalt der Kennlinie und deren Bedeutung für die Anwendung von Brennstoffzellen in der Praxis.

Das 1. faradaysche Gesetz am Beispiel einer Brennstoffzelle

Material:

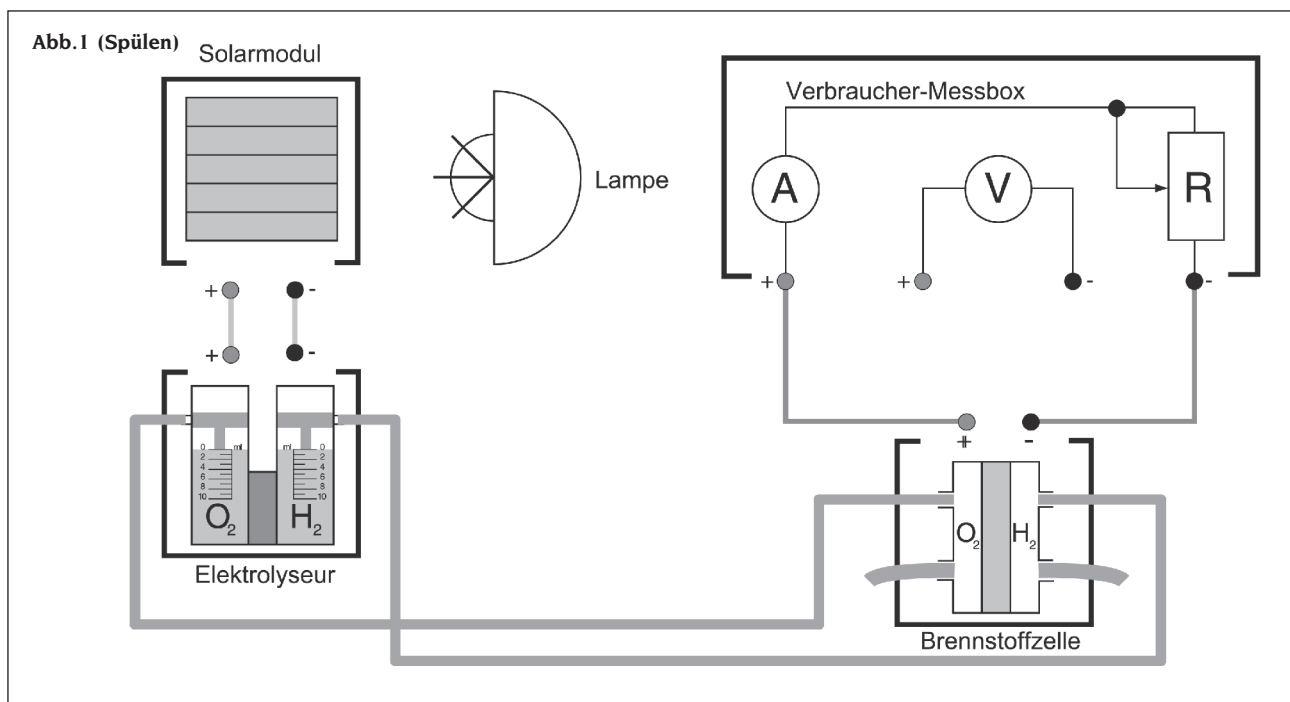
- Solarmodul
- Elektrolyseur
- Brennstoffzelle
- Verbraucher-Messbox
- 4 Kabel
- 2 lange Schläuche

- 2 kurze Schläuche

- 2 Schlauchverschlussstopfen
- Stoppuhr

Zusätzliche Komponenten:

- Lampe 100 - 150 Watt
- Destilliertes Wasser



Sicherheit: Beachten Sie bitte die Anweisungen aus der Bedienungsanleitung.

Beim Experimentieren Schutzbrille tragen und Zündquellen fernhalten.

Das Solarmodul wird heiß.

Vor Beginn des Experiments muss eine Gefahrenanalyse durchgeführt werden.

Durchführung

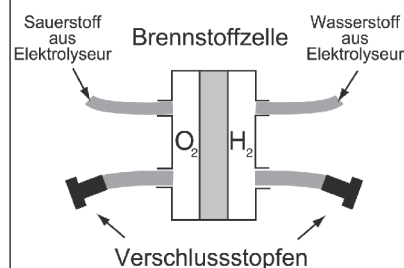
1. Bauen Sie eine Anordnung nach Abb. 1 auf. Polung am Elektrolyseur beachten!
2. Prüfen Sie, ob die Gaszuleitungsschläuche an Elektrolyseur und Brennstoffzelle richtig angeschlossen sind. Stellen Sie den Wahlschalter der Verbraucher-Messbox auf OFFEN.
3. Stellen Sie sicher, dass beide Gasspeicher am Elektrolyseur bis zur 0 ml-Markierung mit destilliertem Wasser gefüllt sind. Stellen Sie mit dem beleuchteten Solarmodul am Elektrolyseur einen konstanten Strom ein (zwischen 200 und 300 mA). Sie müssen das Solarmodul so auf die Lampe ausrichten, dass Sie eine deutliche Gasentwicklung beobachten.
4. Spülen Sie 5 Minuten das gesamte System aus Elektrolyseur, Schläuchen und Brennstoffzelle mit den im Elektrolyseur erzeugten Gasen. Stellen Sie anschließend den Wahlschalter der Verbraucher-Messbox 3 Minuten auf „3 Ω “. Sie sollten jetzt am Amperemeter der Messbox einen Strom messen. Spülen Sie nun das System erneut 3 Minuten in der Stellung OFFEN.
5. Unterbrechen Sie die Verbindung Solarmodul-Elektrolyseur und schließen Sie die beiden kurzen Schläuche an den Auslassöffnungen der Brennstoffzelle mit den Stopfen (siehe Abb. 2).

6. Stellen Sie nun die Verbindung Solarmodul-Elektrolyseur wieder her und speichern Sie so die erzeugten Gase in den Gasspeichern des Elektrolyseurs. Unterbrechen Sie die Verbindung, wenn auf der Wasserstoffseite des Elektrolyseurs die 10 ml-Markierung erreicht ist.
7. Da das System aufgrund seiner Schläuche und Dichtungen immer eine gewisse Leckrate aufweist, muss zuerst eine Nullmessung durchgeführt werden. Messen Sie über eine Zeit von 5 Minuten den Verlust an Wasserstoff aus dem Wasserstoffspeicher ohne Last (Stellung OFFEN) und bestimmen Sie die Leckrate des Systems in ml Wasserstoff pro Minute.
8. Stellen Sie nun die Verbindung Solarmodul-Elektrolyseur wieder her und füllen Sie den Wasserstoffspeicher erneut auf 10 ml auf. Unterbrechen Sie anschließend die Stromversorgung des Elektrolyseurs erneut.
9. Stellen Sie nun zur Bestimmung des 1. Teils des 1. faradayschen Gesetzes mit dem Wahlschalter der Verbraucher-Messbox einen konstanten Strom über einen Widerstand von „3 Ω “ ein. Messen Sie das Wasserstoffvolumen, das die Brennstoffzelle zu verschiedenen Zeiten (60 s bis 240 s in 60 s-Schritten) aus dem Wasserstoffspeicher des Elektrolyseurs verbraucht [Messtabelle 1].

Stellen Sie anschließend den Wahlschalter wieder auf OFFEN.

10. Stellen Sie nun die Verbindung Solarmodul-Elektrolyseur wieder her und füllen Sie den Wasserstoffspeicher erneut auf 10 ml auf. Unterbrechen Sie anschließend die Verbindung zum Solarmodul wieder.
11. Stellen Sie zur Bestimmung des 2. Teils des 1. faradayschen Gesetzes mit dem Wahlschalter der Verbraucher-Messbox nacheinander verschiedene Ströme über Widerstände von 10, 5, 3 und 1 Ω ein. Messen Sie für jeden Widerstand das Wasserstoffvolumen, das die Brennstoffzelle in jeweils 120 s aus dem Wasserstoffspeicher des Elektrolyseurs verbraucht [Messtabelle 2]. Stellen Sie nach jeder Einzelmessung den Wahlschalter auf OFFEN und füllen Sie wie in 8. beschrieben den Wasserstoffspeicher wieder auf 10 ml auf.
12. Stellen Sie nach den Messungen den Wahlschalter auf OFFEN und entfernen Sie die Verschlussstopfen an der Brennstoffzelle.
13. Korrigieren Sie die gemessenen Volumina um die Leckrate.

Abb. 2 (Speichern)



Lehreranleitung

Messtabelle: Brennstoffzelle ohne Last - Nullmessung

Wasserstoffverlust aus Speicher in 5 Minuten =	cm ³
Leckrate des Systems =	cm ³ /min

Messtabelle 1:

R =	Ω = konstant
I =	mA = konstant

Zeit/s	V _{H₂} /cm ³	V _{H₂} (korrigiert)/cm ³

Messtabelle 2:

t =	s = konstant
-----	--------------

Widerstand/ Ω	Strom/mA	V _{H₂} /cm ³	V _{H₂} (korrigiert)/cm ³

Auswertung

1. Stellen Sie die Messdaten aus den Tabellen 1 und 2 (Wasserstoffverbrauch über Zeit und Wasserstoffverbrauch über Stromstärke) grafisch dar.
2. Untersuchen Sie den Zusammenhang zwischen dem Volumen des abgeschiedenen Wasserstoffs und der transportierten Ladung (1. faradaysches Gesetz).

Lerninhalte

- Das durch die Brennstoffzelle bei konstantem Strom verbrauchte Wasserstoffvolumen ist proportional zur Zeit.
- Das durch die Brennstoffzelle in einem konstanten Zeitintervall verbrauchte Wasserstoffvolumen ist proportional zur Stromstärke.
- Die Brennstoffzelle folgt in ihrem Verhalten dem 1. faradayschen Gesetz.

Interpretation

Aus Grafik 1 ist zu erkennen, dass das verbrauchte Wasserstoffvolumen (bei konstanter Stromstärke) zur Zeit proportional ist.

Deshalb ist: $V \sim t$

Aus Grafik 2 ist die Proportionalität des verbrauchten Wasserstoffvolumens zu den verschiedenen Stromstärken (bei konstanter Zeit) zu erkennen.

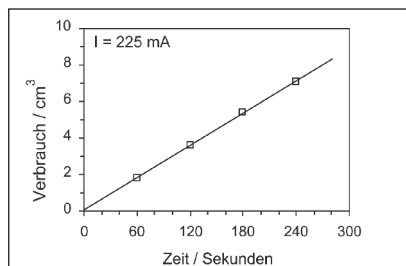
Deshalb ist: $V \sim I$

Da $V \sim t$ und $V \sim I$ gilt $V \sim I \cdot t$.

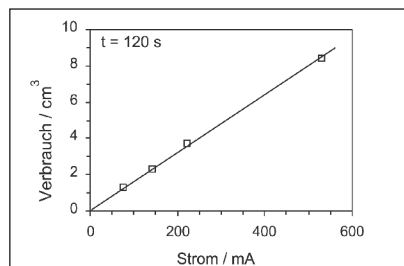
Daraus folgt, dass das durch die Brennstoffzelle verbrauchte Wasserstoffvolumen zur geflossenen Ladungsmenge proportional ist.

Das 1. faradaysche Gesetz bezieht sich üblicherweise auf die Elektrolyse einer Substanz und lautet: Die Menge einer Substanz, die während einer Elektrolyse an der Anode oder Kathode entsteht, ist direkt proportional zu der durch die Elektrolysezelle geflossenen Ladungsmenge.

Beispielsergebnisse



(1) Verbrauch von Wasserstoff in Abhängigkeit von der Messzeit – 1. Faraday-Gesetz (Teil 1)



(2) Verbrauch von Wasserstoff in Abhängigkeit vom Strom, den die Brennstoffzelle produziert – 1. Faraday-Gesetz (Teil 2)

Man sieht anhand dieses Experiments, dass eine identische Beziehung auch für die Umkehrung der Elektrolyse, nämlich die Vorgänge in der Brennstoffzelle, gilt:

Die Menge an Wasserstoff, die eine Brennstoffzelle verbraucht, ist proportional zur Ladungsmenge, die sie produziert.

Notizen

Das 1. faradaysche Gesetz am Beispiel einer Brennstoffzelle

Material:

- Solarmodul
- Elektrolyseur
- Brennstoffzelle
- Verbraucher-Messbox
- 4 Kabel
- 2 lange Schläuche
- 2 kurze Schläuche

- 2 Schlauchverschlussstopfen
- Stoppuhr
- Illustrierte Aufbauanleitung des Schülerübungskastens

Zusätzliche Komponenten:

- Lampe 100 - 150 Watt
- Destilliertes Wasser

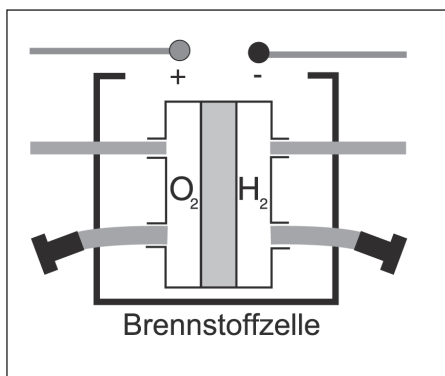
Sicherheit: Beachten Sie bitte die Anweisungen aus der Bedienungsanleitung.

Beim Experimentieren Schutzbrille tragen und Zündquellen fernhalten.

Das Solarmodul wird heiß.

Vor Beginn des Experiments muss eine Gefahrenanalyse durchgeführt werden.

Einführung



Das 1. faradaysche Gesetz lautet: Die Menge einer Substanz, die während einer Elektrolyse an der Anode oder Kathode entsteht, ist direkt proportional zur Ladungsmenge, die durch den Elektrolyseur geflossen ist.

Eine variierte Aussage dieses Gesetzes könnte auch für die Brennstoffzelle gelten: Die Menge an Wasserstoff, die eine Brennstoffzelle verbraucht, ist proportional zur Ladungsmenge, die sie produziert.

Zielsetzung

Es ist die Abhängigkeit des Wasserstoffverbrauchs der Brennstoffzelle von (1) der Zeit bei konstanter Stromproduktion und (2) von der Stromstärke der Zelle während einer konstanten Messzeit zu untersuchen. Es ist dadurch zu überprüfen, ob das 1. Faraday-Gesetz auch für die Brennstoffzelle gilt.

Durchführung

- Bauen Sie die Komponenten wie in der Skizze der Lehreranleitung auf.
- **Achten Sie darauf, dass alle elektrischen Verbindungen korrekt sind und die richtige Polarität besitzen. Lassen Sie vor Versuchsbeginn den Aufbau durch die Lehrerin/den Lehrer überprüfen.**
- Betreiben Sie nun den Elektrolyseur und verwenden Sie die Gase, um die gesamte Luft aus der Apparatur zu entfernen (Spülen). Der Elektrolysestrom sollte 200-300 mA betragen. Spülen Sie das System 5 Minuten in der Schalterstellung OFFEN, schalten Sie dann die Verbraucher-Messbox 3 Minuten auf „3 Ω “ und spülen Sie anschließend noch 3 Minuten in der Stellung OFFEN.
- Speichern Sie nach dem Spülen die Gase im Elektrolyseur, schließen Sie die Auslassstutzen der Brennstoffzelle und bestimmen Sie die Leckrate des Wasserstoffs aus der Apparatur über eine Zeit von 5 Minuten. Diese Leckrate wird für spätere Berechnungen benötigt.
- Nutzen Sie die gespeicherten Gase im Elektrolyseur, um die Brennstoffzelle zu betreiben. Stellen Sie einen konstanten Strom über den Widerstand von „3 Ω “ ein und bestimmen Sie die Geschwindigkeit, mit der der

Wasserstoff verbraucht wird. Beginnen Sie mit dem Wasserstoffspeicher bei der 10 ml-Markierung und messen Sie 4 Minuten lang jede Minute den Wert für den Wasserstoffverbrauch.

- Verwenden Sie anschließend für den 2. Teil der Messung verschiedene Widerstände der Messbox von 10, 5, 3, und 1 Ω und bestimmen Sie den Wasserstoffverbrauch bei verschiedenen hohen Stromstärken. Die Messzeit sollte konstant 2 Minuten pro Messung betragen. Füllen Sie vor jeder Messung den Gasspeicher in der Stellung OFFEN wieder auf 10 ml auf.

Messprotokoll und Auswertung

1. Zeichnen Sie ein Diagramm des Versuchsaufbaus und erklären Sie die Anordnung.
2. Stellen Sie eine geeignete Mess-tabelle auf, um Ihre Messdaten entweder auf Papier oder mit einem Tabellenkalkulationsprogramm zu protokollieren.
3. Verwenden Sie Ihre Messergebnisse, um zwei Diagramme zu zeichnen: eines zum Wasserstoffverbrauch bei veränderter Messzeit, aber konstantem Strom, und ein anderes zum Wasserstoffverbrauch bei veränderter Stromstärke bei konstanter Messzeit.
4. Verwenden Sie diese Diagramme, um die Gültigkeit des 1. faradayschen

Fragen

- Schreiben Sie die Gleichungen der Elektrodenreaktionen von Anode und Kathode für den Elektrolyseur und die Brennstoffzelle auf.
- Verwenden Sie diese Gleichungen, um zu erklären, warum man erwarten sollte, dass das 1. faradaysche Gesetz auch für die Brennstoffzelle gilt.

Gesetzes für die Brennstoffzelle zu überprüfen.

5. Bewerten Sie die experimentellen Techniken, die Sie angewendet haben. Stellen Sie fest, welche Vorsichtsmaßnahmen Sie für das Experiment getroffen haben. Beschreiben Sie, auf welche Schwierigkeiten Sie bei der Durchführung gestoßen sind und wie Sie diese überwunden haben.
6. Schlagen Sie Verbesserungsmöglichkeiten für das Experiment vor.

Ergänzende Aufgabe

Verwenden Sie Ihre Messergebnisse und die Elektrodengleichungen der Brennstoffzelle, um die Menge an Wasserstoff (in mol) zu bestimmen, die notwendig ist, um 96.500 C an Ladung zu produzieren.

1 mol eines jeden Gases hat bei Raumtemperatur und Normaldruck ein Volumen von 24.000 cm³. Die Faraday-Konstante ist $F = 96.500 \text{ C mol}^{-1}$.

Kommentieren Sie die Ergebnisse Ihrer Berechnung.