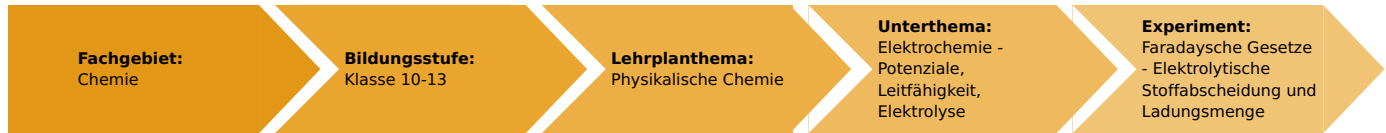


# Faradaysche Gesetze - Elektrolytische Stoffabscheidung und Ladungsmenge

(Artikelnr.: P1309500)

## Curriculare Themenzuordnung



### Schwierigkeitsgrad



Leicht

### Vorbereitungszeit



10 Minuten

### Durchführungszeit



20 Minuten

### empfohlene Gruppengröße



1 Schüler/Student

### Zusätzlich wird benötigt:

### Versuchsvarianten:

### Schlagwörter:

Faradaysche Gesetze, Elektrolyse, Abscheidungsmenge

## Lehrerinformation

### Einführung

Bereits im 19 Jhd. machte Michael Faraday die Beobachtung, dass bei einer stromdurchflossenen Salzlösung in einer Elektrolysezelle an den Elektroden eine Stoffumwandlung stattfindet. Diese Reaktion (auch als Elektrolyse bezeichnet), die hierbei abläuft, ist eine Zerlegung einer chemischen Verbindung mit Hilfe elektrischer Energie. Durch die Zuführung der elektrischen Energie werden Redoxreaktionen erzwungen, wobei eine Reaktion an der Kathode und eine Reaktion an der Anode stattfindet.

Die Elektrolyse folgt dabei physikalischen Gesetzmäßigkeiten, die von Faraday beobachtet und formuliert wurden. Diese Faradayschen Gesetze beschreiben den Zusammenhang zwischen Ladungsmenge und "abgeschiedener" Stoffmenge bei einer Elektrolyse. Die beiden Faradayschen Gesetze stellen somit die wichtigsten Gesetzmäßigkeiten bei der Elektrolyse dar.

### Lernziel

Die Schülerinnen und Schüler lernen in diesem Versuch die elementaren Gesetzmäßigkeiten bei einer Elektrolyse kennen (1. und 2. Faradaysches Gesetz). Dabei stellen sie fest, dass bei der Elektrolyse von verdünnter Schwefelsäure die entstandenen Gasvolumina (Sauerstoff und Wasserstoff) proportional zur Zeit bzw. zur Stromstärke ist.

Die Schülerinnen und Schüler bestätigen in diesem Versuch experimentell das **erste Faradaysche Gesetz**, das besagt, dass die bei der Elektrolyse abgeschiedenen Stoffmengen proportional zu der durch den Elektrolyten hindurchgeflossenen Ladungsmenge (Produkt aus Stromstärke und Zeit - bei konstanter Stromstärke) sind. Mit Hilfe dieser Gleichung bestimmen die Schülerinnen und Schüler anschließend die Faradaysche Konstante F.

Im zweiten Versuchsteil befassen sich die Schülerinnen und Schüler mit dem **zweiten Faradayschen Gesetz**, das besagt, dass sich elektrochemische Äquivalente zueinander verhalten wie ihre Äquivalentmassen.

**Material**

Position	Material	Bestellnr.	Menge
1	Analog-Demo-Multimeter ADM 2, Strom, Spannung, Widerstand	13820-01	2
2	Handmessgerät Druck-Temperatur 2xNiCrNi, Cobra4 Mobile-Link 2	12736-01	1
3	PHYWE Netzgerät, universal DC: 0...18 V, 0...5 A / AC: 2/4/6/8/10/12/15 V, 5 A	13500-93	1
4	Rahmen für Komplettversuche	45500-00	2
5	Wasserzersetzungsapparat nach Hoffmann	44518-00	1
6	Demo-Tischstopuhr, d = 130 mm	03075-00	1
7	Regalboden mit Aufhängung	45505-00	1
8	Platte für Komplettversuche	45510-00	1
9	Geräteträger mit Haftmagneten	45525-00	1
10	Tauchfühler, NiCr-Ni, Edelstahl, -50...400°C	13615-03	1
11	Klemmhalter, d = 0..13 mm, auf Haftmagnet	02151-07	1
12	Klemmhalter, d = 8...10 mm, drehbar	45522-00	1
13	Platinelektrode in Schutzrohr, d = 8 mm	45206-00	2
14	Rückwand für Komplettversuche	45501-00	1
15	Klemmhalter, d = 18...25 mm	45520-00	1
16	Schwefelsäure, 0,5 mol/l, 1 ltr	48462-70	1
17	Federstecker, 50 Stück	45530-00	1
18	Schraubzwinde	02014-00	4
19	Verbindungsleitung, 32 A, 1000 mm, rot	07363-01	1
20	Verbindungsleitung, 32 A, 1000 mm, blau	07363-04	3
21	Verbindungsleitung, 32 A, 750 mm, rot	07362-01	1
22	Trichter, Oben-d = 80 mm, Glas	34459-00	1

## Sicherheitshinweise



Während des Versuches müssen alle im Raum befindlichen Personen eine Schutzbrille tragen!

### Sicherheitshinweise

Verdünnte Schwefelsäure wirkt stark reizend auf Haut und Augen. Sprühnebel (an verdünnter Schwefelsäure) reizen die Atemorgane, wobei die Schleimhäute der oberen Atemorgane besonders betroffen sind. Dämpfe (Aerosole) nicht einatmen. Berührungen von Schwefelsäure mit den Augen und der Haut vermeiden. Bei der Versuchsdurchführung sollen geeignete Schutzkleidung und Schutzbrille getragen werden.

### Gefahren



### H- und P-Sätze

Schwefelsäure (verdünnte Lösung, 0,5 M)

- H290 Kann gegenüber Metallen korrosiv sein

Wasserstoff

- H220 Extrem entzündbares Gas
- P210 Von Hitze/Funken/offener Flamme/heißen Oberflächen fernhalten. Nicht rauchen
- P377 Brand bei Gasleckage: Nicht löschen, bis Leckage ohne Gefahr gestoppt werden kann
- P381 Alle Zündquellen entfernen, wenn gefahrlos möglich
- P403 An einem gut belüfteten Ort aufbewahren

Sauerstoff

- H270 Kann Brand verursachen oder verstärken; Oxidationsmittel
- P220 Von Kleidung/.../brennbaren Materialien fernhalten/entfernt aufbewahren

## Einführung

In diesem Versuch werden die Faradayschen Gesetze experimentell bestätigt sowie die Faraday-Konstante bestimmt. Die experimentelle Bestimmung erfolgt über die Elektrolyse von verdünnter Schwefelsäure (Leitfähigkeit des destillierten Wassers wäre zu gering, so dass die Elektrolyse von reinem Wasser sehr lange dauern würde). Die Elektrolyse wird in einem Hofmannschen Wasserzersetzungsgesetz durchgeföhrt, so dass die bei der Elektrolyse erzeugten Gasvolumina (Wasserstoff und Sauerstoff) leicht abgelesen werden können.

Die Faradayschen Gesetze sind dabei die wichtigsten Gesetzmäßigkeiten, die bei jeder Elektrolyse gelten und erst möglich machen, eine Elektrolyse quantitativ zu beschreiben. Bei jedem Vorgang, bei der an einer Elektrolyse eine Spannung angelegt wird, treten an den Elektroden in der Elektrolysezelle (z.B. in einem Becherglas) Stoffumwandlungen ein. Die Bildung dieser Stoffe folgt dabei den Faradayschen Gesetzen.

Die beiden Gesetzmäßigkeiten beschreiben somit den elementaren Zusammenhang zwischen Stoffumsätzen und elektrischer Ladung.

- Das erste Faradaysche Gesetz stellt dabei einen Zusammenhang her zwischen der Stoffmenge eines Stoffes, der an einer Elektrode abgeschieden wird, und der Ladung (bzw. dem Ladungsprodukt) die während der Elektrolyse durch im "Stromkreis durchgeflossen" ist.
- Das zweite Faradaysche Gesetz stellt einen Zusammenhang zwischen elektrochemischen Äquivalenten von Stoffen und ihren Äquivalentmassen her. Es gibt viele Formulierungen für das zweite Faradaysche Gesetz, vereinfacht gesagt, führen alle Formulierungen darauf hinaus, dass die durch eine bestimmte Ladungsmenge abgeschiedene Masse eines Stoffes proportional zur Äquivalentmasse (= Molmasse dividiert durch die Wertigkeit des Stoffes) des abgeschiedenen Stoffes ist. Das bedeutet, dass eine gleiche Ladungsmenge aus unterschiedlichen Elektrolytlösungen immer die gleiche Äquivalentmasse an Stoffen abscheidet.
- Die Ladungsmenge, die dabei benötigt wird, um bei einer Elektrolyse eine Äquivalentmasse eines Stoffes abzuscheiden, wird auch als Faradaysche Konstante bezeichnet.

## Aufgabe

Wie in der Einführung beschrieben, sollen in diesem Versuch sollen die Faradayschen Gesetze bestätigt werden und die Zusammenhänge zwischen abgeschiedener Stoffmenge und Stromstärke bzw. Zeit ermittelt werden:

Dazu wird im ersten Versuchsteil eine Elektrolyse einer verdünnten Schwefelsäure bei konstanter Stromstärke durchgeföhrt. Die Menge der dabei (in einem Wasserzersetzungsgesetz) erzeugten Gase (Wasserstoff und Sauerstoff) wird als Funktion der Zeit aufgezeichnet. Dabei soll ein Zusammenhang zwischen (entstandenen) Gasvolumina und Zeit der Elektrolyse hergeleitet werden.

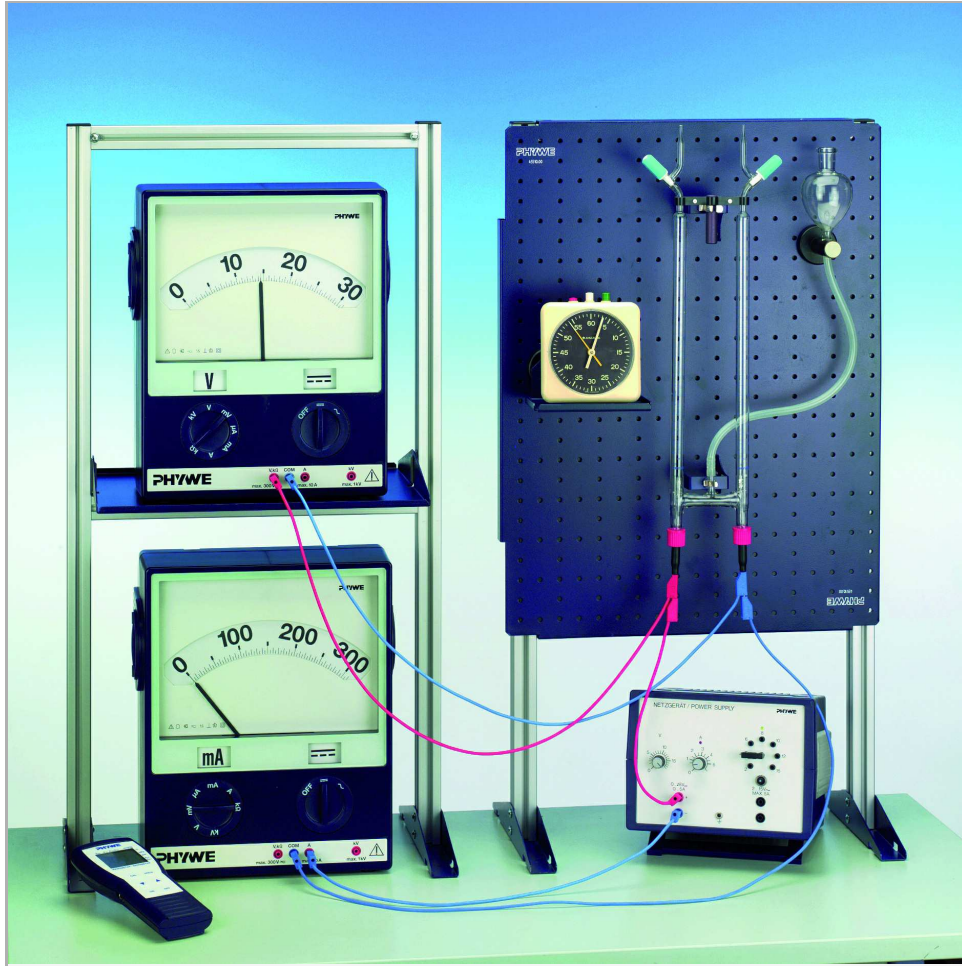
Im zweiten Versuchsteil wird die verdünnte Schwefelsäure (im Zersetzungsgesetz) jeweils für eine bestimmte Zeit (7 Minuten) bei verschiedenen Stromstärken elektrolysiert. Dabei soll ein Zusammenhang zwischen (erzeugten) Gasvolumina und der Stromstärke hergeleitet werden.

Zusätzlich soll aus den gemessenen Daten mit Hilfe des ersten Faradayschen Gesetzes die Faradaysche Konstante bestimmt werden

## Aufbau und Durchführung

### Aufbau

Im ersten Schritt wird der Versuchsaufbau gemäß Abbildung 1 aufgebaut. Dazu werden die Halter an der Platte aufgesetzt und der Zersetzungsapparat und die Stoppuhr an der Halterung befestigt.



Anschließend wird der Wasserzersetzer mit 0,5 molarer Schwefelsäure befüllt und diese Lösung einige Minuten mit mindestens 200 mA elektrolysiert. Dadurch wird die Flüssigkeit der beiden Schenkel mit den sich bildenden Gasen (Wasserstoff und Sauerstoff) gesättigt. Die Stromzufuhr wird danach unterbrochen und durch Öffnen der beiden Hähne die Schenkel der Apparatur wieder vollständig mit Flüssigkeit gefüllt.

Für die Meßbereiche der Messgeräte (Multimeter) sollte 300 mA- und 30 V- gewählt werden. Mit Hilfe der elektronischen Wetterstation werden Temperatur und Druck bestimmt (abgelesen). Diese Daten werden anschließend benötigt, um das Volumen, das unter normalen Laborbedingungen bestimmt worden ist, auf Standardbedingungen (0°C, 1013 hPa) umzurechnen.

## Durchführung

### Versuchsteil 1: Elektrolyse bei konstanter Stromstärke

Im ersten Versuchsteil elektrolysiert man zunächst bei geschlossenen Hähnen (der Zersetzungsapparatur nach Hofmann) zehn Minuten mit konstanter Stromstärke zwischen 200 und 300 mA. Zeitgleich mit dem Beginn der Stromzufuhr wird die Stoppuhr gestartet. Nach jeweils einer Minute unterbricht man die Stromversorgung und liest die Mengen der entstandenen Gase ab.

Zuvor wird die Nivellierbirne jeweils so weit verschoben, bis die Flüssigkeitsmenisken im betreffenden Schenkel und der Birne auf gleicher Höhe sind. In einer Tabelle notiert man die entstandenen Gasvolumina in Abhängigkeit von der Zeit. Anschließend überträgt man die Daten zur Auswertung in ein Diagramm.

### Versuchsteil 2: Elektrolyse bei konstanter Zeit

Im zweiten Versuchsteil elektrolysiert man eine konstante Zeit lang bei unterschiedlichen Stromstärken. Zu Beginn jeder Einzelmessung muss dabei zuerst die beiden Schenkel wieder vollständig mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt werden.

Nun elektrolysiert man jeweils 5 Minuten lang bei 100 mA, 200 mA und 300 mA. Die entsprechenden Wasserstoff- und Sauerstoffvolumina (Druckausgleich durch Senken der Nivellierbirne) werden in Abhängigkeit von Stromstärke in einem Diagramm eingetragen.

## Beobachtung und Auswertung

### Beobachtung

In den folgenden Tabellen sind zwei typische Meßbeispiele wiedergegeben. Tabelle 1 enthält die Meßwerte (aus Versuchsteil 1) für die Abhängigkeit der entwickelten Gasvolumina bei konstanter Stromstärke. In Tabelle 2 werden die in einem bestimmten Zeitraum (aus Versuchsteil 2) bei unterschiedlichen Stromstärken entwickelten Gasvolumina aufgeführt

#### Beobachtung: Elektrolyse bei konstanter Stromstärke

Bei folgenden Bedingungen wurden die in Tabelle 1 aufgenommenen Werte gemessen:  $I = 239 \text{ mA}$ ,  $U = 15,4 \text{ V}$ ,  $p = 983 \text{ hPa}$ ,  $t = 22,3^\circ\text{C}$

Zeit in min.	ml (H <sub>2</sub> )	ml (O <sub>2</sub> )
1	2,2	1
2	4,2	2,0
3	6,2	2,8
4	8,0	3,7
5	9,9	4,6
6	11,7	5,5
7	13,5	6,4
8	15,2	7,3
9	16,9	8,2
10	18,8	9,1

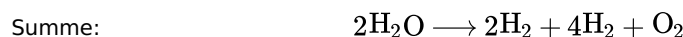
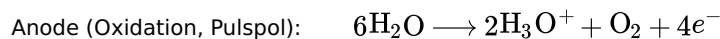
#### Beobachtung 2: Elektrolyse bei konstanter Zeit

Bei folgenden Bedingungen wurden die in Tabelle 2 aufgelisteten Werte gemessen:  $t = 22,3^\circ\text{C}$ ,  $p = 983 \text{ hPa}$

Zeit in min.	Strom in mA	ml (H <sub>2</sub> )	ml (O <sub>2</sub> )
7	70	4,8	2,3
7	140	8,9	4,4
7	210	12,8	6,4

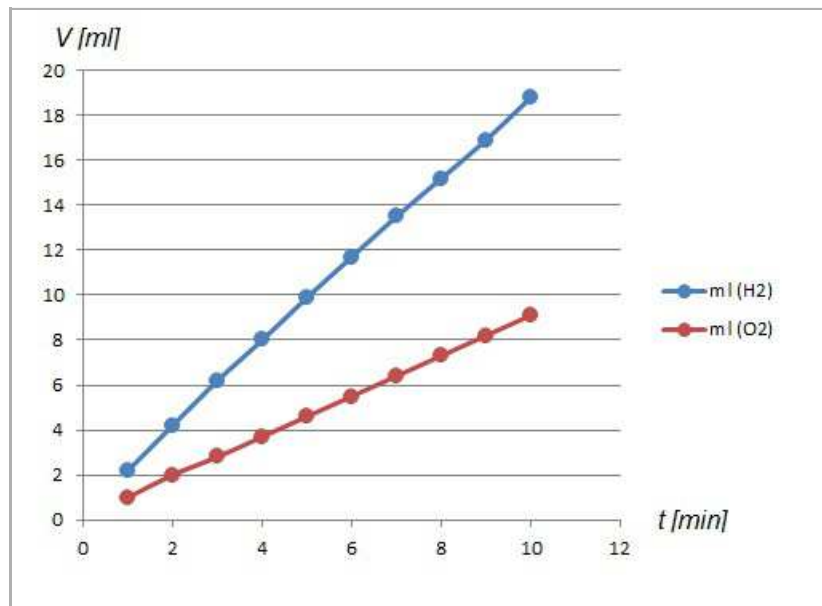
### Auswertung

Bei den beobachteten entstehenden Gasen handelt es sich um Wasserstoff und Sauerstoff, dieser werden im Laufe der Elektrolyse gebildet, Wasserstoff an der Kathode und Sauerstoff an der Anode



#### Versuchsteil 1: Elektrolyse von verdünnter Schwefelsäure bei konstanter Stromstärke

Die Auswertung der Daten aus der Elektrolyse der verdünnten Schwefelsäure bei konstanter Stromstärke zeigt, dass die entstandenen Gasvolumina proportional zur Zeit sind.



Da die Stoffmenge (des entstandenen Gases) proportional zum Volumen und zur Masse ist, lässt sich damit die Proportionalität der Stoffmenge zur Ladung herleiten - und somit das **1. Faradaysche Gesetz**

$$m = k \cdot I \cdot t$$

mit

- $m$  = Masse des abgeschiedenen Stoffes in g
- $k$  = Proportionalitätskonstante, elektrochemisches Äquivalent in g/As
- $I$  = Stromstärke in A
- $t$  = Zeit in s

Für die Proportionalitätskonstante  $k$  (elektrochemisches Äquivalent) gilt:

$$k = M \cdot \frac{I}{t}$$

mit

- $M$  = molare Masse des Stoffes in g/mol
- $z$  = Ladungszahl des Stoffes
- $F$  = Faradaysche Konstante

Mit Hilfe dieser Daten kann aus dem ersten Teilversuch (Elektrolyse bei konstanter Stromstärke) die Faradaysche Konstante bestimmt werden. Da die Messung nicht unter Standardbedingungen (0°C, 1013 hPa) müssen die Volumina der entstandenen Gase auf Standardbedingungen umgerechnet werden. Dies geschieht mit folgender Formel ( $T$  = Umgebungstemperatur in Kelvin,  $p$  = Umgebungsdruck,  $V$  = abgeschiedenes Volumen):

$$V_n = \frac{273 \text{ K}}{T} \cdot \frac{p}{1013 \text{ hPa}} \cdot V$$

Für die Ergebnisse aus Versuchsteil 1 erhält man somit unter Standardbedingungen

- für Wasserstoff 16,9 ml
- für Sauerstoff 8,2 ml

Aus den korrigierten Volumina werden die abgeschiedenen Massen errechnet. Dabei setzt man voraus, dass sich Wasserstoff und Sauerstoff annähernd wie ideale Gase verhalten und daher das Molvolumen für ein ideales Gas mit Hilfe der nachfolgenden Formel bestimmt werden.

Für die abgeschiedenen Mengen für Wasserstoff und Sauerstoff (aus Versuchsteil 1) ergibt sich

- für Wasserstoff eine abgeschiedene Menge von 1,52 mg
- für Sauerstoff eine abgeschiedene Menge von 11,65 mg

Mit Hilfe dieser Daten lässt sich nun die Faradaysche Konstante  $F$  bestimmen. Dazu löst man das erste Faradaysche Gesetz nach "F" auf und setzt alle im Versuch bestimmten und errechneten Werte ein.



- Für Wasserstoff lässt sich so ein Wert für F von 95096 As/mol bestimmen (Literaturwert: 96487 As/mol)
- Für Sauerstoff lässt sich so ein Wert für F von 98469 As/mol bestimmen (Literaturwert: 96487 As/mol)

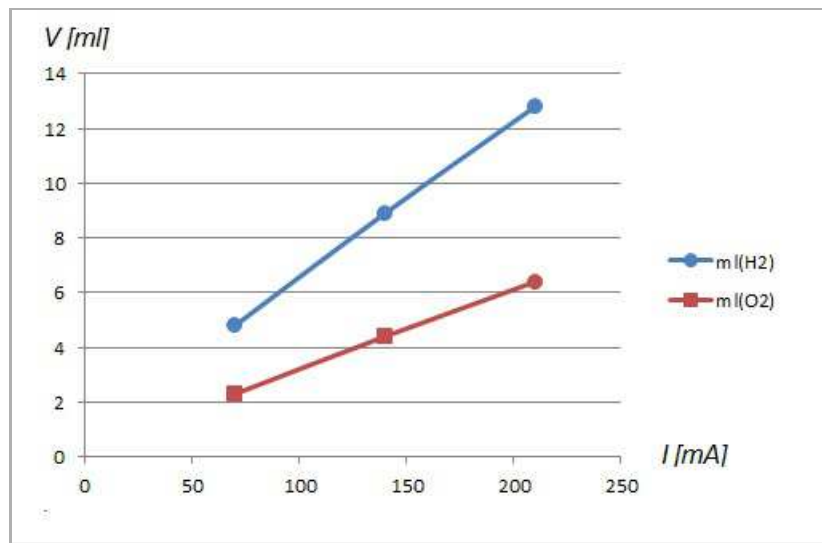
Mit Hilfe der weiter oben schon berechneten abgeschiedenen Massen der Gasse (die proportional zum jeweiligen elektrochemischen Äquivalent  $k$  sind) lässt sich das jeweilige elektrochemische Äquivalent bestimmen. Dies folgt aus einer einfachen Umstellung des ersten Faradayschen Gesetzes:

Anhand dieser Daten lassen sich folgende elektrochemische Äquivalente bestimmen:

- Das elektrochemische Äquivalent für Wasserstoff beträgt 0,0106 mg/As (Literaturwert: 0,0104 mg/As)
- Das elektrochemische Äquivalent für Sauerstoff beträgt 0,0813 mg/As (Literaturwert: 0,0813 mg/As)

### Versuchsteil 2: Elektrolyse von verdünnter Schwefelsäure bei konstanter Zeit

Die Auswertung (Diagramm) der Daten der Elektrolyse der verdünnten Schwefelsäure bei konstanter Zeit zeigt, dass die entstandenen Gasvolumina proportional zur Stromstärke sind.



Aus Versuchsteil 1 und 2 lässt sich nun das zweite Faradaysche Gesetz ableiten. Das zweite Faradaysche Gesetz besagt, dass sich die elektrochemischen Äquivalente  $k$  der einzelnen Stoffe zueinander verhalten wie ihre Äquivalentmassen (Molmasse  $M$  geteilt durch die Wertigkeit  $z$ )

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{\frac{M_1}{z_1}}{\frac{M_2}{z_2}}$$

Setzt man die aus Versuchsteil 1 bestimmten elektrochemischen Äquivalente  $k$  für Wasserstoff und Sauerstoff ein bzw. setzt man die molaren Massen und die Wertigkeit in Gleichung 2 ein, so ist

- das Verhältnis der elektrochemischen Äquivalente von Wasserstoff zu Sauerstoff 1 : 7,7
- das Verhältnis der Äquivalentmassen beträgt 1 : 7,9