

# V3: Gasgesetz / spezifische Wärmekapazität

PRAKTISCHE ÜBUNGEN IN PHYSIK FÜR MEDIZINER, ZAHNMEDIZINER UND BIOLOGEN

PHYSIKALISCHE ÜBUNGEN FÜR PHARMAZEUTEN

STAND: 11. APRIL 2019

## I. BESTIMMUNG DER ALLGEMEINEN GASKONSTANTE

Die Zustandsgleichung für ideale Gase lautet

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad (1)$$

mit den drei Zustandsgrößen Druck  $p$ , Volumen  $V$  und Temperatur  $T$ . Die Stoffmenge wird mit  $n$  bezeichnet und  $R$  steht für die allgemeine Gaskonstante. Letztere soll unter Verwendung eines realen Gases, das einem idealen Gas möglichst nahe kommt, bestimmt werden. Hierfür wird Wasserstoff ( $H_2$ ) genutzt, der durch Elektrolyse von verdünnter Schwefelsäure ( $H_2SO_4$ ) gewonnen wird. Die Stoffmenge des gebildeten Gases kann aus der geflossenen Ladungsmenge nach dem Faradayschen Gesetz bestimmt werden:

$$I \cdot t = w \cdot n \cdot z \cdot F \quad (2)$$

Dabei ist zu beachten, dass sich nach der Elektrolyse je zwei Wasserstoffatome zu einem ( $H_2$ )-Molekül vereinigen. In Formel 2 bedeuten:

- $I$  = Stromstärke, Einheit: A
- $t$  = Dauer des Stromflusses Einheit: s
- $w$  = Anzahl der Atome pro Gasmolekül
- $n$  = Stoffmenge, Einheit: mol
- $z$  = Wertigkeit der Ionen (Zahl der Ladungen pro Ion)
- $F$  = FARADAY-Konstante  
( $F = 9,6484 \cdot 10^4$  As/mol) .

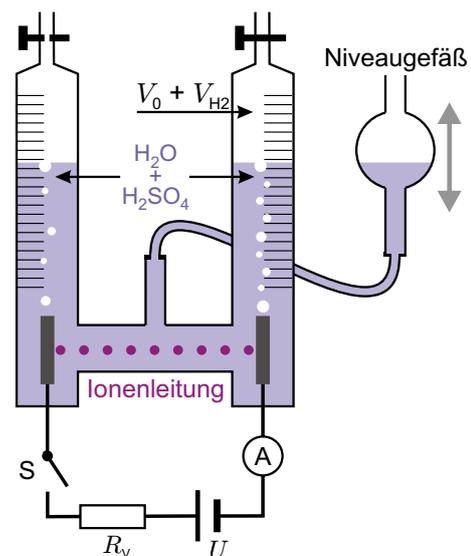
### VERSUCHSAUFBAU

Abbildung 1 zeigt den Versuchsaufbau (Zersetzungsapparat nach Hofmann): Ein U-Rohr, dessen Schenkel einzeln oben verschlossen werden können, verbunden mit einem höhenverstellbaren Niveaugefäß. Das System ist mit verdünnter Schwefelsäure befüllt. In den Schenkeln befinden sich Elektroden, die an eine äußere Spannungsquelle  $U$  angeschlossen werden. Mit Hilfe eines regelbaren Widerstands  $R_V$  lässt sich die Stromstärke bei der Elektrolyse (abzulesen am Amperemeter  $A$ ) einstellen.

Verkabeln Sie den Aufbau und drehen Sie das Niveaugefäß bei geöffneten Hähnen nach oben. Stellen Sie

dann mit geschlossenen Hähnen fest, in welchem Schenkel das Wasserstoffgas  $H_2$  aufsteigt („H<sub>2</sub>-Schenkel“). Öffnen Sie beide Hähne und stellen Sie den Widerstand  $R_V$  so ein, dass ein Strom von ca. 300 mA fließt.

Im Versuch wird das erzeugte Volumen vom Wasserstoffgas  $V_{H_2}$  in Abhängigkeit von der Dauer der angelegten Spannung bestimmt. Das Volumen  $V$  im H<sub>2</sub>-Schenkel setzt sich dabei aus dem Anfangsvolumen  $V_0$  und dem durch Elektrolyse erzeugten Volumen  $V_{H_2}$  zusammen. Der Druck  $p$  im H<sub>2</sub>-Schenkel wird mittels Höhenverstellung des Niveaugefäßes auf den äußeren Luftdruck eingestellt (im Folgenden Druckausgleich genannt).



**Abbildung 1:** Skizze des Versuchsaufbaus zur Bestimmung der allgemeinen Gaskonstante: Zur Elektrolyse der verdünnten Schwefelsäure sind im U-Rohr zwei Elektroden angebracht, die über eine Spannungsquelle  $U$ , einen regelbaren Widerstand  $R_V$  und einen Schalter  $S$  verbunden sind.

### VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Lesen Sie die Temperatur  $T$  sowie den äußeren Luftdruck  $p$  an den beiden, an der Wand montierten Messinstrumenten, ab. Schließen Sie den Hahn des H<sub>2</sub>-Schenkels. Der andere Hahn bleibt zum Druckausgleich geöffnet. Messen Sie das Gasvolumen  $V$  nach sechs, je zweiminütigen Elektrolysevorgängen. Führen Sie vor jeder Messung den Druckausgleich durch. Messen Sie kumulativ: Das gebildete Wasserstoffgas wird al-

so nicht nach jedem Elektrolysevorgang abgelassen sondern im H<sub>2</sub>-Schenkel angesammelt.

## VERSUCHSAUSWERTUNG

Die gemessenen Volumina  $V$  werden in einem Diagramm gegen die Zeit  $t$  (Dauer des Stromflusses) aufgetragen. Es ergibt sich eine Gerade, deren Steigung  $s = \delta V / \delta t$  graphisch zu ermitteln ist. Mit der Zustandsgleichung idealer Gase und dem FARADAYSchen Gesetz kann damit nun die allgemeine Gaskonstante  $R$  berechnet werden.

Tragen Sie die Unsicherheiten der Messwerte in das Diagramm ein und bestimmen Sie graphisch die Unsicherheit der Steigung des Graphen. Sollte eine graphische Auswertung der Unsicherheit nicht möglich sein (Werte liegen zu gut auf einer Geraden) können Sie versuchen, die Unsicherheit der Steigung abzuschätzen indem Sie die Werte des Steigungsdreiecks im Rahmen der Unsicherheiten variieren.

Bestimmen Sie nun die allgemeine Gaskonstante  $R$  unter Verwendung von Formel 1 und Formel 2.

Benutzen Sie zur Bestimmung der Unsicherheit  $\Delta R$  die vereinfachte Formel der GAUSSSchen Fehlerfortpflanzung für **alle** Größen. Schätzen Sie dann ab, welche Unsicherheiten der vorkommenden Größen für den Wert  $\Delta R$  von Bedeutung sind und dominante Beiträge liefern. Vereinfachen Sie die Formel, in dem Sie nur die dominanten Beiträge betrachten.

## II. BESTIMMUNG DER SPEZIFISCHEN WÄRMEKAPAZITÄT VON WASSER

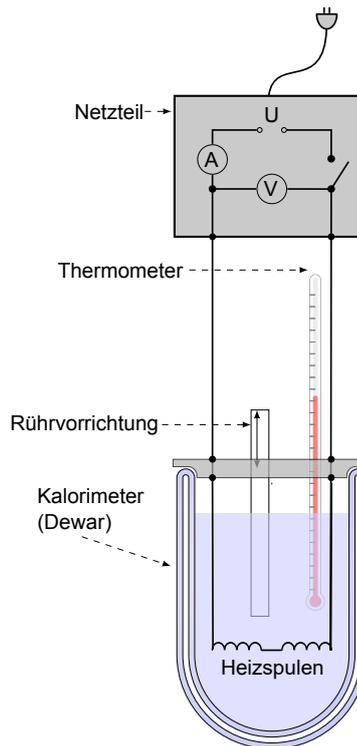
Die spezifische Wärmekapazität  $c$  von Wasser soll gemessen werden. Dazu wird eine bestimmte Menge Wasser der Masse  $m$  in einem wärmeisolierten Gefäß (Kalorimeter, siehe Abb. 2) erwärmt. Die erforderliche Wärme wird mittels einer elektrischen Heizvorrichtung erzeugt:

$$Q = P \cdot t = U \cdot I \cdot t . \quad (3)$$

$P$  ist die elektrische Leistung der Heizvorrichtung,  $t$  die Heizdauer,  $U$  die Spannung und  $I$  die Stromstärke. Die zugeführte Wärme  $Q$  erwärmt allerdings nicht nur das Wasser, sondern auch das Kalorimeter:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T + W \cdot \Delta T . \quad (4)$$

$W$  ist die Wärmekapazität des Kalorimeters, auch „Wasserwert“ genannt. Er beträgt für die vorliegenden Kalorimeter  $W = (148 \pm 12) \text{ J/K}$ .



**Abbildung 2:** Skizze des Versuchsaufbaus zur Bestimmung der spezifischen Wärmekapazität von Wasser. Zur Erwärmung des Wassers im Kalorimeter sind in diesem zwei Heizspulen montiert.

## VERSUCHSAUFBAU

Schließen Sie die Heizspulen an das Netzteil an und füllen Sie 200 mL Wasser (Messzylinder!) in das Kalorimeter. Die abgegebene Wärme bestimmen Sie mithilfe von Spannung und Strom (abzulesen am Netzteil). Die beiden Messinstrumente befinden sich im Gehäuse des Netzteils und können nicht vom Stromkreis getrennt werden. Die beiden Heizspulen **müssen** in Reihe geschaltet werden.

## VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

Schalten Sie die das Netzgerät ein. Lesen Sie zunächst Spannung und Stromstärke ab. Jetzt messen Sie, für etwa zehn Minuten, alle 30 Sekunden die Temperatur. Während der Messung muss das Wasser ständig mit dem integrierten Durchmischer umgewälzt werden.

## VERSUCHSAUSWERTUNG

Tragen Sie in einem Diagramm die Temperatur  $T$  gegen die Heizdauer  $t$  auf. Aus der Steigung der sich ergebenden Geraden kann man mit Hilfe von Formel 3 und Formel 4 die spezifische Wärmekapazität  $c$  von Wasser bestimmen.

Für diesen Versuchsteil muss keine Fehlerrechnung angefertigt werden.