

Die Kalorimetrie

Am Beispiel der Neutralisationsreaktion



LNCU.de
ID 40197
CC-BY-SA 4.0
Online abrufen

Aufgaben

- Berechnen** Sie mit Hilfe der vereinfachten kalorimetrischen Grundgleichung aus **M1** die Reaktionswärme Q_r für die Reaktion von Salzsäure und Natronlauge auf der Grundlage der folgenden Messung:
 - 50 mL Salzsäure und 50 mL Natronlauge mit der Anfangstemperatur von 21,6 °C werden zusammen in ein Kalorimeter gegeben. Die Höchsttemperatur der Flüssigkeit beträgt 56,8 °C.
- Berechnen** Sie gemäß **M2** die molare Neutralisationswärme $Q_{r,m}$ in der Einheit KJ/mol.

M1 Kalorimetrische Messung

Um die bei einer chemischen Reaktion übertragene Wärmemenge zu bestimmen, verwendet man ein spezielles gut isoliertes Gefäß, das Kalorimeter. Es sorgt dafür, dass bei einer exothermen Reaktion möglichst die gesamte Wärme an die umgebene Kalorimeter-Flüssigkeit, meist Wasser, übertragen wird.

Neben der Masse der Kalorimeter-Flüssigkeit wird die Temperatur vor (T_{vor}) und nach Ablauf (T_{nach}) der chemischen Reaktion gemessen. Mit Hilfe der kalorimetrischen Grundgleichung kann aus diesen Daten die Reaktionswärme ermittelt werden.

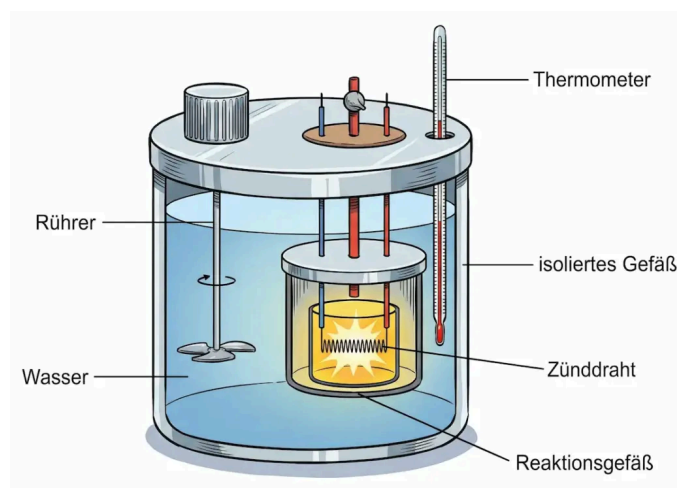


Abb. 1: Aufbau eines komplexen Kalorimeters. Über den Zünddraht kann die Reaktion gestartet werden. ¹

M2 Die kalorimetrische Grundgleichung

Von der Temperaturdifferenz zur Reaktionswärme

Der auf die Kalorimeter-Flüssigkeit übertragene Betrag der Wärme Q ist proportional zur Temperaturdifferenz ΔT ($T_{\text{nach}} - T_{\text{vor}}$) und der sogenannten Gesamtwärmekapazität C :

1 Zusammenhang zwischen Wärme und Temperaturdifferenz

$$Q_r = C \cdot \Delta T$$

2 In Bezug auf die Reaktionswärme gilt

$$Q_r = - C \cdot \Delta T$$

Der Unterschied des Vorzeichens hat etwas damit zu tun, welche Aussage ein negativer Wert bei der Reaktionswärme hat: Ist dieser kleiner Null, wird Energie an die Umgebung übertragen und umgekehrt.

Die kalorimetrische Grundgleichung lautet daher:

3 Die Kalorimetrische Grundgleichung

$$Q_r = - C \cdot \Delta T$$

$$Q_r = - (C_K + C_W) \cdot \Delta T$$

$$Q_r = - (C_K + c_W \cdot m) \cdot \Delta T$$

In der Schule wird die kalorimetrische Grundgleichung fast immer ohne die Wärmekapazität des Kalorimeters C_K verwendet, da bei den meisten Versuchen dieser Wert deutlich kleiner ist als die spezifische Wärmekapazität der Kalorimeter-Flüssigkeit und sein Einfluss daher oft vernachlässigbar ist. Das Weglassen von C_K führt dabei zu einem systematischen Fehler (d.h. der gleiche Fehler bei allen Messungen), der aufgrund seiner geringen Größenordnung oft in Kauf genommen wird.

4 Die vereinfachte kalorimetrische Grundgleichung

Die Gesamtwärmekapazität C

Die Gesamtwärmekapazität C gibt den Betrag der Wärme an, den man zuführen muss, um die Temperatur um 1 K bzw. 1 °C zu erhöhen (Einheit: J/K). Diese setzt sich bei einem Kalorimeter aus zwei Größen zusammen:

1. Wärmekapazität des Kalorimeters C_K

Die Wärmekapazität des Kalorimeters C_K gibt an, wie viel Energie nötig ist, um die Temperatur des leeren Kalorimeters um 1 K bzw. 1 °C zu erhöhen (Einheit: J/K).

2. Wärmekapazität der Kalorimeter-Flüssigkeit C_W

Die Wärmekapazität der Kalorimeter-Flüssigkeit C_W gibt an, wie viel Energie nötig ist, um die Temperatur der Kalorimeter-Flüssigkeit um 1 K bzw. 1 °C zu erhöhen (Einheit: J/K). Diese setzt sich zusammen aus der ...

... spezifischen Wärmekapazität der Kalorimeter-Flüssigkeit c_W , die angibt, wie viel Energie nötig ist, um die Temperatur von einem Gramm der Kalorimeter-Flüssigkeit um 1 K bzw. 1 °C zu erhöhen (Einheit: J/K* g). Hierbei handelt es sich um eine Stoffkonstante, die man nachschlagen kann. Für Wasser beträgt sie beispielsweise **4,186 J/K* g** .

... Masse m der bei der Messung verwendeten Kalorimeter-Flüssigkeit.

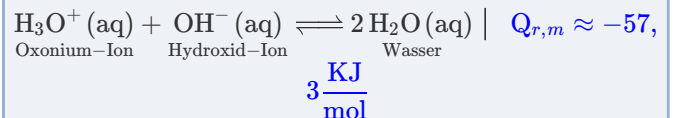
$$Q_r = -c_W \cdot m \cdot \Delta T$$

Eine vergleichbare Basis

Stell dir vor, du verbrennst ein Streichholz und ein Lagerfeuer. Das Lagerfeuer setzt insgesamt viel mehr Energie frei, weil deutlich mehr Material verbrannt wird. Wenn wir aber wissen wollen, wie viel Energie die chemische Reaktion der Verbrennung selbst liefert, müssen wir die Menge an Energie auf eine vergleichbare Basis ziehen.

In der Chemie gelingt uns das, indem wir die Energie pro Stoffmenge, also pro Mol angeben. Zum Beispiel:

5 Neutralisationswärme wird frei



Aus der Konzentration und dem Volumen der eingesetzten Säure lässt sich die eingesetzte Stoffmenge berechnen. Dann muss man nur noch die Reaktionswärme Q_r durch diese Stoffmenge teilen. Voila, man hat die molare Neutralisationswärme $Q_{r,m}$!

M3 Kalorimetrie bei Reaktionen in wässriger Lösung

Wenn die Reaktionspartner in wässriger Lösung vorliegen, kann man die Reaktion direkt in dem Kalorimeter durchführen, ohne eine weitere Kalorimeter-Flüssigkeit zu verwenden. Dies ist beispielsweise bei der Bestimmung der Neutralisationswärme bei der Reaktion zwischen Salzsäure und Natronlauge der Fall. Für die in Schule üblichen verdünnten Lösungen kann man von folgenden **Näherungen** ausgehen:

Schnelle Wärmeübertragung

Die Reaktion läuft so schnell ab, dass die bei der Neutralisation entstehende Kochsalz-Lösung zunächst den gesamten Betrag der Wärme aufnimmt, bevor diese an die Umgebung übertragen wird. D.h. die Temperatur kann direkt in der Flüssigkeit gemessen werden. Dies ermöglicht einen vereinfachten Versuchsaufbau.

Dichte und Masse der Lösung

Die Masse der bei der Reaktion gebildeten Kochsalz-Lösung entspricht annähernd der von Wasser. Da Wasser eine Dichte von 1 g/mL besitzt, gilt: 100 mL Wasser haben eine Masse von 100 g.

Wärmekapazität der Lösung

Die spezifische Wärmekapazität der Kochsalz-Lösung kann mit der von Wasser gleichgesetzt werden.

Weitergedacht

Für die Veränderung der inneren Energie eines Systems betrachten wir bei chemischen Reaktionen auf Teilchenebene meist die Bindungen (oder Wechselwirkungen), die gelöst und neu geknüpft werden.

- 3 **Stellen** Sie die Neutralisationsgleichung zwischen Salzsäure und Natronlauge mit Hilfe ihrer Strukturformeln **auf** und **markieren** Sie die Bindungen, die gelöst und neu geknüpft werden.

- 4 Stellen Sie eine **begründete Vermutung auf**, warum die *innere Energie* des Systems sinkt, d.h. insgesamt Energie an die Umgebung übertragen wird.

Einzelnachweise

- 1 Andrea Schumacher, 2026, KI-generiert mit Nano Banana 2 von Google Gemini.