

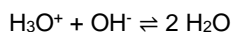
Bestimmung der Neutralisationswärme von Säuren und Laugen

Versuchsziele

- Neutralisation als Reaktion kennenlernen.
- Beobachten der großen Energiemengen, die bei der Neutralisation frei werden.
- Bestimmung der Neutralisationswärme.
- Beobachten, dass bei äquivalenten Stoffmengen die Neutralisationswärme einer Reaktion stets gleich groß ist.

Grundlagen

Bei der Neutralisation handelt es sich um eine Reaktion zwischen Säuren und Basen. Säuren sind im engeren Sinne Stoffe, die in der Lage sind Protonen (H^+) abzugeben. In wässriger Umgebung bilden Protonen mit Wasser die sogenannten Oxonium-Ionen (H_3O^+). Basen sind im engeren Sinne Stoffe, die in der Lage sind, Hydroxid-Ionen (OH^-) abzugeben. Bei der Neutralisation reagieren nun Oxonium-Ionen und Hydroxid-Ionen zu Wasser.



Im Falle der Neutralisation wird durch die Reaktion der Oxonium- und der Hydroxid-Ionen Energie in Form von Wärme – die sogenannte Neutralisationswärme – an die Umgebung abgegeben. Da Säuren und Basen, besonders wenn sie konzentriert sind, aus sehr viele Oxonium- bzw. Hydroxidionen bestehen, laufen auch sehr viele Reaktionen gleichzeitig ab. Durch die vielen gleichzeitig stattfindenden Reaktionen wird

insgesamt in sehr kurzer Zeit sehr viel Wärme abgegeben, obwohl jede einzelne Reaktion nur sehr wenig Wärme abgibt.

Die molare Neutralisationsenthalpie $\Delta_R H_m$ ergibt sich aus dem Quotienten der abgegebenen Wärmemenge Q und dem Volumen V und der Konzentration c der miteinander reagierenden Säure und Basen.

$$\Delta_R H_m = -\frac{\Delta Q}{V \cdot c}$$

Die Wärmemenge Q wird mit Hilfe der Formel

$$\Delta Q = C_p \cdot \Delta T$$

mit der Wärmekapazität C_p der Geräte und Chemikalien und der Temperaturänderung ΔT bestimmt.



In diesem Versuch werden Neutralisationsreaktionen verschiedener Säuren mit Natronlauge verglichen.



Gefährdungsbeurteilung

Bei dem Versuch und bei der Arbeit mit konzentrierten Säuren und Laugen immer Schutzkittel, Schutzbrille und Schutzhandschuhe tragen.



Abb. 1: Versuchsaufbau.

Natronlauge, 1 mol/l	
 Signalwort: Gefahr	Gefahrenhinweise H314 Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden. H290 Kann gegenüber Metallen korrosiv sein. Sicherheitshinweise P280 Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz/Gesichtsschutz tragen. P301+P330+P331 BEI VERSCHLUCKEN: Mund ausspülen. KEIN Erbrechen herbeiführen. P305+P351+P338 BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen. P309+P310 BEI Exposition oder Unwohlsein: sofort GIFTINFORMATIONSZENTRUM oder Arzt anrufen.
Natronlauge, verdünnt ca. 2 mol/l	
 Signalwort: Gefahr	Gefahrenhinweise H314 Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden. H290 Kann gegenüber Metallen korrosiv sein. Sicherheitshinweise P280 Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz/Gesichtsschutz tragen. P303+P361+P353 BEI KONTAKT MIT DER HAUT (oder dem Haar): Alle beschmutzten, getränkten Kleidungsstücke sofort ausziehen. Haut mit Wasser abwaschen/duschen. P305+P351+P338 BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen. P310 Sofort GIFTINFORMATIONSZENTRUM oder Arzt anrufen. P301+P330+P331 BEI VERSCHLUCKEN: Mund ausspülen. KEIN Erbrechen herbeiführen.

Salzsäure, 1 mol/l und ca. 2 mol/l	
 Signalwort: Achtung	Gefahrenhinweise H290 Kann gegenüber Metallen korrosiv sein. Sicherheitshinweise P234 Nur im Originalbehälter aufbewahren. P390 Verschüttete Mengen aufnehmen, um Materialschäden zu vermeiden.
Essigsäure, verd. ca. 2 mol/l	
 Signalwort: Achtung	Gefahrenhinweise H315 Verursacht Hautreizungen. H319 Verursacht schwere Augenreizungen. H290 Kann gegenüber Metallen korrosiv sein. Sicherheitshinweise P280 Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz/Gesichtsschutz tragen. P305+P351+P338 BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen. P332+P313 Bei Hautreizung: Ärztlichen Rat einholen/ ärztliche Hilfe hinzuziehen. P337+P313 Bei anhaltender Augenreizung: Ärztlichen Rat einholen/ ärztliche Hilfe hinzuziehen. P302+P352 BEI KONTAKT MIT DER HAUT: Mit viel Wasser und Seife waschen.

Geräte und Chemikalien	
1	Pocket-CASSY 2 Bluetooth..... 524 018
1	CASSY Lab 2 542 220
1	NiCr-Ni-Adapter S, Typ K..... 524 0673
1	Temperaturfühler NiCr-Ni, 1,5 mm, Typ K..... 529 676
1	Kompaktwaage, 200 g : 0,01 g..... 667 7977
1	Magnetrührer Mini 607 105
3	Magnetrührstäbchen, 15 mm x 5 mm Ø 666 850
3	Becherglas Boro 3.3, 150 ml, nF 602 023
2	Messzylinder 50 ml, Kunststofffuß..... 665 753
1	Socket 300 11
1	Stativstange 25 cm, 10 mm Ø 301 26
1	Doppelmuffe S..... 301 09
1	Natronlauge, verd., ca. 2M, 500 ml 673 8400
1	Natronlauge, 1 mol/l, 500 ml 673 8420
1	Salzsäure, ca. 2 mol/l, 500 ml 674 6920
1	Salzsäure, 1 mol/l, 500 ml 674 6900
1	Essigsäure, verd. (ca. 2 mol/l), 500 ml 671 9550
Für eine drahtlose Messung zusätzlich erforderlich:	
1	Akku für Pocket-CASSY 2 Bluetooth..... 524 019
1	Bluetooth-Dongle..... 524 0031
zusätzlich erforderlich: PC mit Windows XP/.../10	

Versuchsaufbau und -vorbereitung

Vorbereitung

1. Die Stativstange in den Sockel einsetzen (Aufbau siehe Abbildung 1.).
2. Die Doppelmuffe an der Stativstange befestigen.
3. Das Pocket-CASSY 2 mit einem Micro-USB-Kabel am PC anschließen.

Hinweis: Das Pocket-CASSY 2 kann auch per Bluetooth mit dem PC verbunden werden. Hierzu das Pocket-CASSY 2 Bluetooth mit dem Akku für das Pocket-CASSY 2 verbinden. Das Bluetooth-Dongle in einen USB-Port am PC stecken.

4. Den Temperaturfühler NiCr-Ni über den NiCr-Ni-Adapter S an das Pocket-CASSY 2 Bluetooth anschließen.
5. Neben das Stativ einen Magnetrührer aufbauen, auf den ein Becherglas gestellt wird.
6. Den Temperaturfühler an der Doppelmuffe befestigen und in das Becherglas stecken.

Durchführung

1. [Einstellungen in CASSY Lab 2 laden.](#)
2. Für die Messung werden die Gewichte des leeren Becherglas sowie des Magnetrührstäbchens (Rührfisch) bestimmt und notiert.
3. In einem Messzylinder werden 50 ml Säure abgemessen. Im zweiten Messzylinder werden 50 ml Lauge abgemessen.
4. Es werden die Neutralisationen mehrerer Kombinationen aus Säure und Base untersucht. Alle Messungen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tab. 1: Säure/Base-Kombinationen.

Messung	Säure	Lauge
1	Salzsäure, 1 mol/l	Natronlauge, 1 mol/l
2	Salzsäure, ca. 2 mol/l	Natronlauge, ca. 2 mol/l
3	Essigsäure, ca. 2 mol/l	Natronlauge, ca. 2 mol/l

5. Das Magnetrührstäbchen in das Becherglas geben und den Magnetrührer einschalten.

6. Nun die Säure aus dem Messzylinder in das Becherglas vorgelegen.

Hinweis: Es ist wichtig, dass bei allen Messungen entweder die Säure oder die Lauge vorgelegt wird! Im weiteren Verlauf wird hier die Säure vorgelegt.

7. Prüfen, ob der Temperaturfühler in die Säure eintaucht. Falls nicht, muss der Fühler in die Säure eingetaucht werden.

8. Die Aufnahme in CASSY Lab 2 starten und einige Minuten aufzeichnen lassen. Die gemessene Temperatur sollte sich nicht zu stark ändern, also linear sein.

9. Nun die Lauge auf einmal in das Becherglas zu der Säure geben und die Temperatur noch einige weitere Minuten aufzeichnen.

10. Den Versuch mit der nächsten Säure/Lauge-Kombination wiederholen.

Beobachtung

Wie in Abbildung 2 zu sehen ist, steigt nach Zugabe der Lauge die Temperatur im Becherglas sprunghaft an. Bei den 2-molaren Säuren bzw. Natronlauge in etwa doppelt so stark wie bei der 1-molaren Salzsäure/Natronlauge. Die Temperaturanstiege der Salzsäure/Natronlauge und der Essigsäure/Natronlauge sind annähernd gleich.

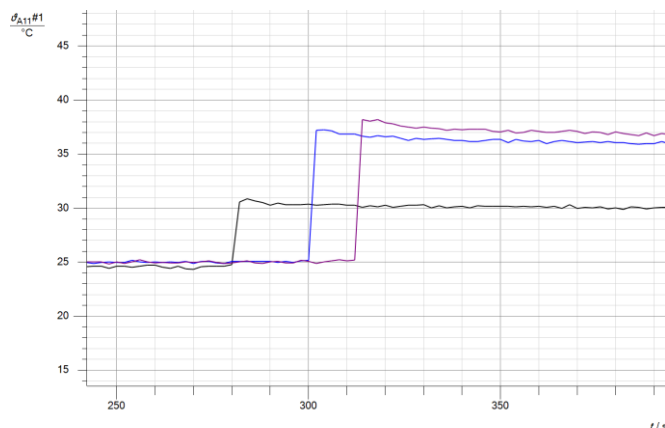


Abb. 2: Temperaturverlauf der Neutralisationsreaktionen. Dabei ist Schwarz: Messung 1 1 mol/l HCl/NaOH, Violett: Messung 2 2 mol/l CH₃COOH/NaOH, Blau: Messung 3 2 mol/l HCl/NaOH.

Auswertung

Bestimmung der Temperaturdifferenz

Aus der Temperaturänderung kann die molare Neutralisationswärme berechnet werden. Dafür muss zunächst die molare Neutralisationswärme Q aus den Massen der einzelnen erwärmten Komponenten herangezogen werden, sowie deren einzelnen spezifischen Wärmekapazitäten C_p .

Tab. 2: Wärmekapazitäten des verwendeten Stoffs und des Geräts.

Stoff	C_p
Wasser	$4,2 \frac{\text{J}}{\text{g}\cdot\text{K}}$
Becherglas	$0,8 \frac{\text{J}}{\text{g}\cdot\text{K}}$

Die gemeinsame Wärmekapazität C_p der Geräte wird folgendermaßen berechnet werden:

$$C_p = 100 \text{ g} \cdot 4,2 \frac{\text{J}}{\text{g}\cdot\text{K}} + m(\text{Becherglas}) \cdot 0,8 \frac{\text{J}}{\text{g}\cdot\text{K}}$$

Hinweis: Die 100 g ergeben sich aus den 50 ml Säure und 50 ml Lauge. Als Vereinfachung wird angenommen, dass diese zusammen 100 ml ergeben und nach Neutralisation nur Wasser entstanden ist. Das entstandene Salz wird ignoriert. Da 100 ml auch in etwa 100 g entsprechen, wird dies hier in die Formel eingesetzt.

Die Reaktionswärme ΔQ kann nun mit der Formel

$$\Delta Q = C_p \cdot \Delta T$$

berechnet werden.

Die Bestimmung des Temperaturunterschieds ΔT wird mit Hilfe von CASSY Lab 2 durchgeführt. Hierzu fügt man sowohl eine waagerechte Linie beim Maximum der Neutralisationskurve als auch bei Starttemperatur ein. Die Linie kann über das Menü (Rechtsklick auf das Anzeigefeld) **Markierung setzen** → **Waagerechte Linie** bzw. mit Alt + W eingefügt werden.

Nach Bestimmung des Temperaturunterschieds ΔT wird die molare Neutralisationsenthalpie $\Delta_R H_m$ mit Hilfe der Neutralisationswärme Q sowie die Stoffmenge n der jeweiligen Säure berechnet werden.

$$\Delta_R H_m = - \frac{\Delta Q}{n}$$

In diesem Fall wird die Stoffmenge n über das Volumen der Säure $V_{\text{Säure}}$ und die Konzentration $c_{\text{Säure}}$ mit der Formel $n = V_{\text{Säure}} \cdot c_{\text{Säure}}$ berechnet. Somit ergibt sich als neue Formel:

$$\Delta_R H_m = -\frac{\Delta Q}{V \cdot c}$$

Tab. 3: Während des Versuchs ermittelte Werte. Dabei ist die Messung 1: 1 mol/l HCl/NaOH, Messung 2: 2 mol/l CH₃COOH/NaOH, Messung 3: 2 mol/l HCl/NaOH.

Ermittelte Messgrößen	Messung		
	1	2	3
m(Becherglas)	73,3 g	71,6 g	73,5 g
T_{max}	30,8°C	37,2°C	38,2°C
T_{min}	24,6°C	25,0°C	24,8°C
$\Delta T = T_{\text{max}} - T_{\text{min}}$	6,2 K	12,2 K	13,4 K

Hinweis: Da die Temperaturdifferenz von 1 °C der Temperaturdifferenz von 1 K entspricht, kann das °C durch K nach der Subtraktion ersetzt werden.

Berechnung der Wärmemenge und der molaren Neutralisationsenthalpie

Mit den beiden Formeln

$$C_p = 100 \text{ g} \cdot 4,2 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}} + m(\text{Becherglas}) \cdot 0,8 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}},$$

und

$$\Delta Q = C_p \cdot \Delta T$$

ergibt sich für die Wärmemenge als Gesamtformel

$$\Delta Q = 100 \text{ g} \cdot 4,2 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}} + m(\text{Becherglas}) \cdot 0,8 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}} \cdot \Delta T.$$

Anschließend wird die molare Neutralisationsenthalpie $\Delta_R H_m$ mit

$$\Delta_R H_m = -\frac{\Delta Q}{V \cdot c}$$

berechnet.

Die Berechnung der Wärmemenge Q und der molaren Neutralisationsenthalpie $\Delta_R H_m$ wird exemplarisch einmal für die Mischung HCl/NaOH (Messung 1) berechnet. Die Berechnung für die beiden anderen Mischungen erfolgt analog und ist in Tabelle 4 angegeben.

Messung 1: HCl/NaOH

$$C_p = 100 \text{ g} \cdot 4,2 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}} + 73,35 \text{ g} \cdot 0,8 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$$

$$C_p = 478,7 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

$$\Delta Q = 478,7 \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot 6,2 \text{ K} = 2967 \text{ J} = 2,97 \text{ kJ}$$

$$\Delta_R H_m = -\frac{2,97 \text{ kJ}}{0,05 \text{ l} \cdot 1 \frac{\text{mol}}{\text{l}}} = -59,4 \text{ kJ/mol}$$

Tab. 4: Berechnete Werte für die Wärmekapazität C_p , der Wärmemenge Q und der molaren Neutralisationsenthalpie $\Delta_R H_m$. Dabei ist die Messung 1: 1 mol/l HCl/NaOH, Messung 2: 2 mol/l CH₃COOH/NaOH, Messung 3: 2 mol/l HCl/NaOH.

Ermittelte Messgrößen	Messung		
	1	2	3
C_p	478,7 $\frac{\text{J}}{\text{K}}$	477,3 $\frac{\text{J}}{\text{K}}$	478,9 $\frac{\text{J}}{\text{K}}$
ΔQ	2,97 kJ	5,82 kJ	6,42 kJ
$\Delta_R H_m$	-59,4 $\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$	-58,2 $\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$	-64,2 $\frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$

Somit ergeben sich für die molare Neutralisationsenthalpie $\Delta_R H_m$ für 1 mol/l HCl/NaOH ein Wert von -59,4 kJ/mol, für 2 mol/l CH₃COOH/NaOH ein Wert von -58,2 kJ/mol und für 2 mol/l HCl/NaOH ein Wert von -64,2 kJ/mol.

Ergebnis

Die molare Neutralisationsenthalpie $\Delta_R H_m$ der beiden Salzsäure/Natronlauge-Mischungen liegen sehr nahe beieinander, obwohl die Konzentrationen der Salzsäure und der Natronlauge jeweils unterschiedlich ist. Somit ist die molare Neutralisationsenthalpie nicht davon abhängig, welche Konzentration die Salzsäure und die Natronlauge haben. In Abbildung 2 sieht man sehr gut, dass bei doppelter Konzentration auch der Temperaturanstieg doppelt so groß.

Auch die Ergebnisse der molaren Neutralisationswärme $\Delta_R H_m$ der Mischungen 2 mol/l CH₃COOH/NaOH und 2 mol/l HCl/NaOH liegen nahe beieinander, obwohl es sich um unterschiedliche Säuren handelt. Somit ist die molare Neutralisationsenthalpie auch nicht von der Art der Säure abhängig.

Dies bedeutet, dass die Neutralisationswärme bei äquivalenten Stoffmengen stets gleich groß ist, und dass die Neutralisationswärme nur von der Anzahl der Oxonium-Ionen und den Hydroxidionen, die laut Reaktionsgleichung miteinander reagieren, abhängt. Hierbei entsteht Wasser. Das entstehende Salz, das durch die Säure und die Base gebildet wird, spielt hierbei keine Rolle.

Da bei der Neutralisation Wärme abgegeben wird, handelt es sich um eine exotherme Reaktion. Hieraus folgt, dass die molare Neutralisationsenthalpie ein negatives Vorzeichen hat und es sich somit um eine negative Enthalpieänderung handelt.

Im Vergleich mit dem Literaturwert -57,4 kJ/mol zeigt sich, dass in diesem Versuch die molare Neutralisationsenthalpie gut bestimmt werden konnte.

Hinweis: Die Berechnung gilt eigentlich nur für unendlich verdünnte Mischungen. Daher müssten Verdünnungseffekte mit berechnet werden. Dies erklärt auch die leicht unterschiedlichen Ergebnisse.

Reinigung und Entsorgung

Die neutralisierten Gemische können unter fließendem Wasser in den Abguss gegeben werden.