

Versuch TC2. Neutralisationsenthalpie (V. 3.5)

I Ziel des Versuches

Es sollen die Neutralisationsenthalpien von

a) HCl mit NaOH

b) CH₃COOH mit NaOH

c) HCl mit NH₃

bestimmt werden.

II Theoretischer Hintergrund

Bei der Vereinigung einer starken Säure mit einer starken Base wird eine beachtliche Wärmemenge, die Neutralisationsenthalpie, frei. Diese Reaktion stellt aufgrund der vollständigen Dissoziation der Reaktanden lediglich die Bildung von Wasser aus H⁺ und OH⁻ dar:



Die Reaktionsenthalpie für diesen Prozess:

$$\Delta H_{\text{R}}^0 = \sum_i v_i \Delta H_{\text{f}_i}^0 \quad (1)$$

v_i : stöchiometrischer Koeffizient

$\Delta H_{\text{f}_i}^0$: Bildungsenthalpien der Reaktanden i

stellt die Bildungsenthalpie des Wassers gemäß Reaktion (R-1) dar. Für verschiedene vollständig dissoziierte Säuren und Basen sollte die Neutralisationsenthalpie also praktisch gleich groß sein. Dies trifft jedoch nur für Messungen der Neutralisationsenthalpie in verdünnten Lösungen zu, da in konzentrierten Lösungen in der gemessenen Wärmetönung noch andere Energiebeiträge wie z. B. Verdünnungs- und Dissoziationsenthalpien enthalten sind.

Wird einem gegen äußere Wärmeverluste geschützten einheitlichen Körper eine Wärmemenge Q zugeführt, so erhöht sich die Temperatur T um einen bestimmten Betrag ΔT , dessen Größe von der Wärmekapazität k des Körpers abhängt. Es gilt:

$$Q = k \Delta T \quad (2)$$

Die Wärmekapazität k eines Körpers ist umso größer, je größer seine Masse m und seine spezifische Wärme c sind. Daher gilt:

$$k = m c \quad (3)$$

Setzt sich der Versuchskörper aus mehreren Substanzen mit den Massen m_1, m_2, \dots mit den spezifischen Wärmen c_1, c_2, \dots zusammen, so gilt für die Wärmekapazität:

$$k = \sum_i m_i c_i \quad (4)$$

Verläuft der zu untersuchende Prozess bei konstantem Druck, so gilt für die erhaltene Wärmemenge:

$$Q_p = \Delta T \cdot \sum_i m_i c_{p_i} \quad (5)$$

wobei c_p der spezifischen Wärme bei konstantem Druck entspricht. Man kann weiterhin zeigen, dass bei konstantem Druck gilt:

$$\Delta Q_p = \Delta H_R = \Delta T \cdot \sum_i m_i c_{p_i} \quad (6)$$

Diese Formel bildet die Grundlage des Versuchs.

Man kann die Reaktionswärme für die Reaktion (R-1) abschätzen, indem man berechnet, welche Energie E freigesetzt wird, wenn ein Mol Protonen aus unendlichem Abstand auf einen Abstand von $1 \cdot 10^{-10}$ m an ein Mol Hydroxid-Ionen herangebracht werden. Zweckmäßigerweise wird dabei eine relative Dielektrizitätszahl ϵ_r angewendet. Den freigesetzten Energiebetrag für den Fall, dass sich zwei ungleichnamig geladene Teilchen mit den Ladungen Q_1 und Q_2 annähern, erhält man aus der Beziehung:

$$E = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi r \epsilon} \quad \text{mit } \epsilon = \epsilon_r \epsilon_0 \quad (7)$$

mit ϵ als Dielektrizitätskonstante des Mediums Wasser.

III Stichworte zum theoretischen Hintergrund

- Ionen in Lösung, starke, schwache Elektrolyte, Dissoziationsgrad, Neutralisationen.

- Protonen und Hydroxidionen in Wasser, Wasserstruktur.
- Enthalpie: Dissoziations-, Verdünnungs-, Reaktions- und Bildungsenthalpien.
- Messung von Enthalpien.
- Thermochemie.
- Standardzustände.
- Wärmekapazität, spezifische Wärmen c_p und c_v .
- Kalorimeter, Kalorimetrie, Verfahren zur Temperaturmessung.
- Coulomb-Kraft, Coulomb-Potential.

IV Aufgaben, die zum Versuchstag vorbereitet werden sollen

1. Leiten Sie die Beziehung (6) ab und bringen Sie das am Versuchstag mit.
2. Leiten Sie die Beziehung (7) aus der Gleichung für die Coulombkraft ab.
3. Überlegen Sie, was der sog. Wasserwert ist und welche Bedeutung er für das Experiment hat.

V Versuchsbeschreibung und -durchführung

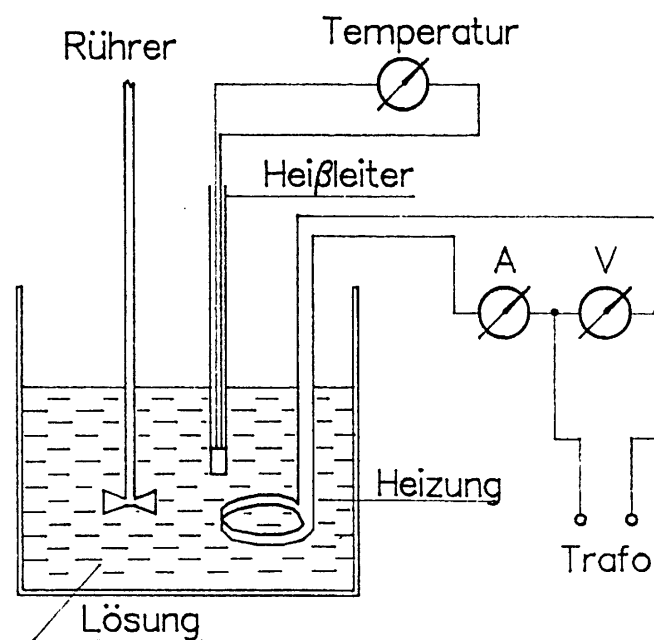


Abb.1: Kalorimeter zur Bestimmung von Neutralisationsenthalpien.

Bei diesem kalorimetrischen Versuch wird als Reaktionsgefäß ein Dewargefäß verwendet. Dieses ist ausgestattet mit einem motorisierten Rührer, einem NTC-Heißleiter zur Temperaturmessung und einer elektrischen Heizung zur Bestimmung des Wasserwerts, vgl. Abb. 1.

Es werden jeweils 250 ml der Säure und der Lauge abgemessen und die Lauge in das Dewar-Reaktionsgefäß vorgelegt. Die Heizung muss auch bei der Neutralisation im Dewar sein (warum?). Mit **demselden** Temperaturfühler sind die Ausgangstemperaturen von Säure und Lauge zu messen. Die Aufnahme der Messwerte beginnt 2 Minuten vor der Neutralisation. Während dieser zweiminütigen Vorperiode soll alle 30 Sekunden die Temperatur notiert werden. Danach wird die Säure schnell zu der Lauge gegeben und die Temperatur alle 15 Sekunden bestimmt. Nach einer Minute wird eine Nachperiode aufgenommen. Dazu wird die Temperatur noch drei Minuten lang in Abständen von 30 Sekunden notiert.

Wenn die Ausgangstemperaturen von Säure und Lauge nicht zufällig übereinstimmen, ist die Mischungstemperatur zu berechnen.

Zur Bestimmung des Wasserwertes wird mit Hilfe eines mit Eis gefüllten Kältefingers nach jeder Neutralisation unter die Anfangstemperatur abgekühlt. Dann wird die Vorperiode aufgenommen. Die Heizung wird eingesteckt und mit einem Heizstrom von ca. 1.7 A die Temperatur erhöht, wobei alle 30 s die Temperatur, die Stromstärke und die Heizspannung zu notieren sind. Die Aufheizung soll erst beendet werden, wenn die bei der Neutralisation erreichte Temperaturdifferenz überschritten wurde. Danach wird noch, bei ausgeschalteter Heizung, die Nachperiode aufgenommen.

Diese Wasserwertbestimmung muss im Anschluss an jede Neutralisation ausgeführt werden (warum?) wobei die resultierende $T = f(t)$ -Kurve in dasselbe Diagramm einzuzeichnen ist, wie die bei der Neutralisation beobachtete Kurve.

VI a) Auswertung während des Versuchstages

Für die drei Neutralisationen ist je ein Temperatur-Zeit-Diagramm zu erstellen

b) Auswertung nach dem Versuchstag

1. Aus den ermittelten Temperaturdifferenzen sind mit Hilfe der Wasserwerte die Neutralisationsenthalpien zu bestimmen
2. Schätzen Sie mit der Beziehung (7) die Reaktionswärme für die Reaktion (R-1) ab. Vergleichen Sie das Resultat mit den experimentellen Ergebnissen.

3. Diskutieren Sie, von welchen Faktoren die Ergebnisse für die Neutralisationenthalpien der unterschiedlichen Säure-Base-Paare abhängen. Vergleichen Sie hierbei die gemessenen und berechneten Werte für alle drei Systeme mit Literaturwerten.

VII Materialien

1. Die verwendeten Säuren und Laugen sind 0.5-normal.
2. Tabelle zur Bestimmung der Temperaturen aus den mit dem Heißleiter gemessenen Widerstandswerten (siehe unten).
3. Verwendeten Chemikalien:

Salzsäure

Signalwort: Gefahr



Gefahrenbezeichnung(en)

H290: Kann gegenüber Metallen korrosiv sein.

H314: Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.

H335: Kann die Atemwege reizen.

Vorsichtsmaßnahmen

P260: Staub/Rauch/Gas/Nebel/Dampf/Aerosol nicht einatmen.

P280: Schutzhandschuhe/ Schutzkleidung/ Augenschutz/ Gesichtsschutz tragen.

P303 + P361 + P353: BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT (oder dem Haar): Alle kontaminierten Kleidungsstücke sofort ausziehen. Haut mit Wasser abwaschen/duschen.

P304 + P340 + P310: BEI EINATMEN: Die Person an die frische Luft bringen und für ungehinderte Atmung sorgen. Sofort GIFTINFORMATIONSZENTRUM/Arzt anrufen.

P305 + P351 + P338: BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.

Essigsäure

Signalwort: Gefahr



Gefahrenbezeichnung(en)

H226: Flüssigkeit und Dampf entzündbar.

H314: Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.

Vorsichtsmaßnahmen

P280: Schutzhandschuhe/ Schutzkleidung/ Augenschutz/ Gesichtsschutz tragen.

P305 + P351 + P338: BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.

P310: Sofort GIFTINFORMATIONSZENTRUM oder Arzt anrufen

Ammoniaklösung

Signalwort: Gefahr



Gefahrenbezeichnung(en)

H302: Gesundheitsschädlich bei Verschlucken.

H314: Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.

H335: Kann die Atemwege reizen.

H410: Sehr giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung.

Vorsichtsmaßnahmen

P260: Staub/Rauch/Gas/Nebel/Dampf/Aerosol nicht einatmen.

P280: Schutzhandschuhe/ Schutzkleidung/ Augenschutz/ Gesichtsschutz tragen.

P301 + P312 + P330: BEI VERSCHLUCKEN: Bei Unwohlsein GIFTINFORMATIONSZENTRUM/Arzt anrufen. Mund ausspülen.

P303 + P361 + P353: BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT (oder dem Haar): Alle kontaminierten Kleidungsstücke sofort ausziehen. Haut mit Wasser abwaschen/duschen.

P304 + P340 + P310: BEI EINATMEN: Die Person an die frische Luft bringen und für ungehinderte Atmung sorgen. Sofort GIFTINFORMATIONSZENTRUM/Arzt anrufen.

P305 + P351 + P338: BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.

NaOH



Signalwort: Gefahr

Gefahrenbezeichnung(en)

H290: Kann gegenüber Metallen korrosiv sein.

H314: Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.

Vorsichtsmaßnahmen:

P260: Staub/Rauch/Gas/Nebel/Dampf/Aerosol nicht einatmen.

P280: Schutzhandschuhe/ Schutzkleidung/ Augenschutz/ Gesichtsschutz tragen.

P303 + P361 + P353: BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT (oder dem Haar): Alle kontaminierten Kleidungsstücke sofort ausziehen. Haut mit Wasser abwaschen/duschen.

P304 + P340 + P310: BEI EINATMEN: Die Person an die frische Luft bringen und für ungehinderte Atmung sorgen.

Sofort GIFTINFORMATIONSZENTRUM/Arzt anrufen.

P305 + P351 + P338: BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Eventuell vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.

Tabelle TC2 / TC3: Temperatur vs NTC-Widerstand

°C	kΩ	10,2	169,52	20,6	105,77	31,0	66,98
0,0	277,60	10,4	167,98	20,8	104,82	31,2	66,43
0,2	274,71	10,6	166,46	21,0	103,87	31,4	65,90
0,4	271,86	10,8	164,95	21,2	102,93	31,6	65,37
0,6	269,05	11,0	163,45	21,4	102,00	31,8	64,84
0,8	266,28	11,2	161,98	21,6	101,07	32,0	64,32
1,0	263,55	11,4	160,31	21,8	100,16	32,2	63,81
1,2	260,86	11,6	159,06	22,0	99,25	32,4	63,31
1,4	258,20	11,8	157,62	22,2	98,36	32,6	62,81
1,6	255,58	12,0	156,20	22,4	97,47	32,8	62,31
1,8	253,00	12,2	154,79	22,6	96,59	33,0	61,82
2,0	250,45	12,4	153,39	22,8	95,72	33,2	61,34
2,2	247,94	12,6	152,01	23,0	94,85	33,4	60,86
2,4	245,46	12,8	150,64	23,2	94,00	33,6	60,39
2,6	243,02	13,0	149,28	23,4	93,15	33,8	59,92
2,8	240,61	13,2	147,94	23,6	92,32	34,0	59,46
3,0	238,23	13,4	146,61	23,8	91,49	34,2	59,00
3,2	235,88	13,6	145,29	24,0	90,67	34,4	58,55
3,4	233,57	13,8	143,98	24,2	89,86	34,6	58,10
3,6	231,28	14,0	142,68	24,4	89,05	34,8	57,66
3,8	229,02	14,2	141,40	24,6	88,26	35,0	57,22
4,0	226,80	14,4	140,13	24,8	87,47	35,2	56,78
4,2	224,60	14,6	138,86	25,0	86,69	35,4	56,35
4,4	222,43	14,8	137,61	25,2	85,92	35,6	55,92
4,6	220,28	15,0	136,37	25,4	85,16	35,8	55,49
4,8	218,17	15,2	135,15	25,6	84,40	36,0	55,06
5,0	216,08	15,4	133,93	25,8	83,65	36,2	54,64
5,2	214,01	15,6	132,72	26,0	82,92	36,4	54,23
5,4	211,97	15,8	131,53	26,2	82,19	36,6	53,81
5,6	209,96	16,0	130,34	26,4	81,46	36,8	53,39
5,8	207,97	16,2	129,17	26,6	80,75	37,0	52,98
6,0	206,01	16,4	128,00	26,8	80,04	37,2	52,57
6,2	204,06	16,6	126,85	27,0	79,35	37,4	52,16
6,3	202,14	16,8	125,70	27,2	78,65	37,6	51,75
6,5	200,25	17,0	124,57	27,4	77,97	37,8	51,34
6,7	198,37	17,2	123,44	27,6	77,30	38,0	50,91
6,9	196,52	17,4	122,33	27,8	76,63	38,2	50,53
7,1	194,69	17,6	121,22	28,0	75,97	38,4	50,12
7,3	192,88	17,8	120,13	28,2	75,32	38,6	49,71
7,5	191,09	18,0	119,04	28,4	74,68	38,8	49,30
7,7	189,32	18,2	117,97	28,6	74,04	39,0	48,89
7,9	187,57	18,4	116,90	28,8	73,41	39,2	48,48
8,1	185,84	18,6	115,84	29,0	72,79	39,4	48,07
8,3	184,13	18,8	114,80	29,2	72,18	39,6	47,65
8,5	182,44	19,0	113,76	29,4	71,57	39,8	47,23
8,7	180,67	19,2	112,73	29,6	70,97	40,0	46,81
8,9	179,10	19,4	111,71	29,8	70,38	40,2	46,39
9,1	177,47	19,6	110,70	30,0	69,80		
9,3	175,34	19,8	109,69	30,2	69,22		
9,5	174,24	20,0	108,70	30,4	68,65		
9,7	172,65	20,2	107,72	30,6	68,08		
9,9	171,08	20,4	106,74	30,8	67,53		

„Neutralisationsenthalpie“

Für die Neutralisation von CH_3COOH mit NaOH

Neutralisation			Wasserwert				
V (CH ₃ COOH, 0,5 n):							
V(NaOH, 0,5 n):							
t [s]	R [kΩ]	T [°C]	t [s]	R [kΩ]	T [°C]	U [V]	I [A]
CH ₃ COOH t = 0							
NaOH, t = 0							

Für die Neutralisation von HCl mit NH₃

Neutralisation			Wasserwert				
V (HCl, 0,5 n):							
V(NH ₃ , 0,5 n):							
t [s]	R [kΩ]	T [°C]	t [s]	R [kΩ]	T [°C]	U [V]	I [A]
HCl, t = 0							
NH ₃ , t = 0							