

Energetik chemischer Reaktionen

Reaktionsumkehr – Lösungen

1. $\Delta H_R^0 = 2 \cdot 33,89 \text{ kJ/mol} - 9,37 \text{ kJ/mol} = 58,41 \text{ kJ/mol}$

$$\Delta S_R^0 = 2 \cdot 240,45 \text{ J/mol} \cdot \text{K} - 304,3 \text{ J/mol} \cdot \text{K} = 176,6 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$$

$$\Delta G_R^0 = \Delta H_R^0 - T \cdot \Delta S_R^0 = 58,41 \text{ kJ/mol} - 52,63 \text{ kJ/mol} = 5,78 \text{ kJ/mol}$$

$\Delta H_R^0 > 0$: Die Reaktion ist endotherm.

$\Delta S_R^0 > 0$: Die Anzahl der Teilchen verdoppelt sich, d.h., der Ordnungszustand nimmt ab.

$\Delta G_R^0 > 0$: Die Reaktion verläuft nicht spontan.

2. Die Reaktionsumkehr erfolgt bei $\Delta G_R^0 = 0 \text{ kJ/mol}$.

Daraus folgt für die Inversionstemperatur:

$$T_0 = \frac{\Delta H_R^0}{\Delta S_R^0} = 330,75 \text{ K} \approx 58^\circ \text{C}$$

Verwendung von Calciumchlorid – Lösungen

1. $\Delta G = \Delta H - T \Delta S$, wobei $\Delta H > 0$

Beim Auflösen eines Ionengitters wird aus einer geordneten Struktur eine ungeordnete Verteilung einzelner Ionen, verbunden mit einer Zunahme der Entropie. Dieser Effekt ist so stark, dass der Term $T \Delta S$ gegenüber dem Term ΔH überwiegt und zu $\Delta G < 0$ führt.

2. Die Ionen im kristallwasserhaltigen CaCl_2 sind bereits hydratisiert. Daher entfallen die Hydratationswärmen. Die Lösungswärme entspricht der negativen Gitterenthalpie, damit $\Delta H_L > 0$ (Abkühlung).

Geschwindigkeit chemischer Reaktionen

Zersetzung von Wasserstoffperoxid – Lösungen



Bei der Zersetzung von Wasserstoffperoxid bildet sich Sauerstoff.

2. Zersetzung von H_2O_2 : $v_A = \frac{\Delta n(\text{H}_2\text{O}_2)}{\Delta t}$ Bildung von Sauerstoff: $v_P = \frac{\Delta n(\text{O}_2)}{\Delta t}$

$$\frac{1}{2} \frac{\Delta n(\text{H}_2\text{O}_2)}{\Delta t} = - \frac{\Delta n(\text{O}_2)}{\Delta t}$$

Da entsprechend der Reaktionsgleichung in gleichen Zeiten doppelt so viel Wasserstoffperoxid zerfällt wie Sauerstoff entsteht, muss für die Gleichsetzung beider Geschwindigkeiten die Zerfallsgeschwindigkeit halbiert werden.

3. Die Zersetzung eines Stoffes verläuft unabhängig von der Gegenwart anderer unbeteiligter Stoffe.

Sie folgt daher immer einer Reaktion 1. Ordnung. Ansatz: $v = k \cdot n(\text{H}_2\text{O}_2)$

Abgase eines Dieselmotors – Lösungen

1. Einer Temperaturerhöhung von außen versucht das im Gleichgewicht befindliche System durch eine endotherme Reaktion entgegenzuwirken. Das Gleichgewicht verschiebt sich also nach rechts und es entsteht mehr Kohlenstoffmonooxid.

Einer Druckerhöhung von außen versucht das im Gleichgewicht befindliche System durch eine Abnahme des Drucks entgegenzuwirken. Das Gleichgewicht verschiebt sich also nach links und es entsteht mehr Kohlenstoffdioxid.

2. Ja! Begründung: Die Temperatur ist im Auspuff geringer als in den Zylindern des Motors. Das Gleichgewicht liegt daher auf der linken Seite. Der dabei sich bildende Kohlenstoff verlässt den Auspuff als feiner Staub.

3. Ermittlung der Partialdrücke: $p(\text{CO}_2) = 0,77 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ und $p(\text{CO}) = 0,23 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

$$K_p = \frac{(p_{\text{CO}})^2}{p_{\text{CO}_2}} = \frac{(0,23 \cdot 10^5 \text{ Pa})^2}{0,77 \cdot 10^5 \text{ Pa}} = 6870 \text{ Pa}$$

$$K_c = \frac{K_p}{(R \cdot T)^{\Delta n}} = \frac{K_p}{(R \cdot T)^1} = \frac{6870 \text{ Pa}}{8,31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 873 \text{ K}} = 0,95 \text{ mol/m}^3$$

Chemische Gleichgewichte in der Technik

Synthese von Ammoniak – Lösungen



2. *Temperaturerhöhung:* Da eine exotherme Reaktion vorliegt, verlagert sich das Gleichgewicht zu den Ausgangsstoffen: die Ausbeute nimmt ab.

Druckerhöhung: Das Gleichgewicht verlagert sich nach Le Châtelier zur Produktseite, die Ausbeute nimmt zu.
3. *Abhitzekeessel:* Entzug der freigesetzten Reaktionsenthalpie, dadurch Verhinderung des Temperaturanstiegs und die Verschiebung des Gleichgewichts zu den Ausgangsstoffen.

Verflüssigung: Entzug von Ammoniak aus dem Gleichgewicht, dadurch Verschiebung zur Produktseite.

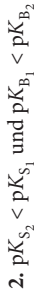
4. Stickstoff ist reaktionsträge. Durch einen Katalysator wird die Reaktionsgeschwindigkeit erhöht und die Aktivierungsenergie erniedrigt.

Säure-Base-Gleichgewichte

Wie sauer ist Mineralwasser? – Lösungen



S_1	B_2	B_1	S_2
$\text{p}K_{\text{S}_1}$	$\text{p}K_{\text{B}_2}$	$\text{p}K_{\text{B}_1}$	$\text{p}K_{\text{S}_2}$
6,52	15,74	7,48	-1,74



Das Gleichgewicht liegt auf Seite der schwächeren Säuren und Basen, also links.
Die Säure ist so schwach, dass man sie praktisch nicht schmeckt.

pH-Werte wässriger Lösungen

Sauer oder basisch? – Lösungen



pK_{B_1}	pK_{S_2}	pK_{S_1}	pK_{B_2}
7,48	15,74	6,52	-1,74



pK_{S_1}	pK_{B_2}	pK_{B_1}	pK_{S_2}
10,4	15,74	3,6	-1,74

2. Aufgrund der pK_B - und pK_S -Werte haben die Hydrogencarbonat-Ionen offensichtlich ein größeres Bestreben, Protonen aufzunehmen als abzugeben. Daher überwiegt die erste Gleichung: Eine wässrige Lösung von Natriumhydrogencarbonat reagiert alkalisch.

Säure-Base-Gleichgewichte in Gewässern

Ursache des Fischsterbens – Lösungen



2. Das Gleichgewicht $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ ist pH-abhängig.

H_3O^+ ist eine stärkere Säure als NH_4^+ . Daher übergibt das H_3O^+ im sauren Bereich dem NH_3 ein Proton.
 OH^- ist eine stärkere Base als NH_3 . Daher entzieht OH^- im alkalischen Bereich dem NH_4^+ ein Proton.

3. Aufstellung der Basenkonstante: $K_B = \frac{c(\text{NH}_4^+) \cdot c(\text{OH}^-)}{c(\text{NH}_3)}$ In reiner Lösung gilt: $c(\text{NH}_4^+) = c(\text{OH}^-)$

$$c(\text{OH}^-)^2 = K_B \cdot c(\text{NH}_3) \quad c(\text{OH}^-) = \sqrt{K_B \cdot c(\text{NH}_3)}$$

$$\text{pOH} = \frac{1}{2} \text{p}K_B - \frac{1}{2} \log c(\text{NH}_3) \quad \text{pH} = 14 - \text{pOH}$$

$$\text{pH} = 14 - \frac{1}{2} \text{p}K_B + \frac{1}{2} \log c(\text{NH}_3)$$

$$\text{Massenkonzentration } \text{NH}_3; \beta = \frac{m}{V} = 10^{-3} \text{ g/l}$$

molare Masse von NH_3 ; $M = 17 \text{ g/mol}$

$$\text{daraus Stoffmengenkonzentration: } c = \frac{\beta}{M} = \frac{10^{-3} \text{ g/l}}{17 \text{ g/mol}} = 5,9 \cdot 10^{-5} \text{ mol/l}$$

$$\text{pH} = 14 - \frac{1}{2} \cdot 4,75 + \frac{1}{2} \log 5,9 \cdot 10^{-5} = 14 - 2,38 - 2,11 = 9,51$$

4. Die Abschätzung ergibt ca. 80 % NH_4^+ und 20 % NH_3 .

Puffersysteme

Puffersysteme in der Natur – Lösungen



2. $\text{pH} = \text{p}K_{\text{S}} + \lg \frac{c_{\text{HCO}_3^-}}{c_{\text{CO}_2}}$

3. Umrechnung der Massenkonzentration β von HCO_3^- in Stoffmengenkonzentration c :

$$M_{\text{HCO}_3^-} = 61 \text{ g/mol} \quad n = \frac{m}{M} = \frac{0,14 \text{ g}}{61 \text{ g/mol}} \approx 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \quad c = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ mol/l}$$

$$\lg c_{\text{CO}_2} = \text{p}K_{\text{S}} - \text{pH} + \lg c_{\text{HCO}_3^-}$$

$$\lg c_{\text{CO}_2} = 1,92 - 8,2 - 2,64 = -8,92$$

$$c_{\text{CO}_2} \approx 1,2 \cdot 10^{-9} \text{ mol/l}$$

4. In Anbetracht der sehr geringen Konzentration des im Gleichgewicht vorhandenen Kohlenstoffdioxids würde eine massive Einbringung von Kohlenstoffdioxid das Puffergleichgewicht überfordern und gemäß der Gleichgewichtsreaktion zu einer Übersäuerung des Ozeanwassers führen. Diese würde vermutlich eine starke Beeinträchtigung der Meeresflora und -fauna bewirken.

Neutralisation

Titration einer Base mit einer Säure – Lösungen

1. Bei der Neutralisation der Natronlauge mit Salzsäure entsteht eine Lösung von Natriumchlorid. Beide Ionen dieses Salzes erfahren in wässriger Lösung keine Protolyse. Die Lösung ist also neutral, der Äquivalenzpunkt liegt bei einem pH-Wert von 7.

Bei der Neutralisation der Ammoniaklösung mit Salzsäure entsteht durch die Verdünnung auf das doppelte Volumen eine 0,05-molare Lösung von Ammoniumchlorid. Ammonium-Ionen erfahren in wässriger Lösung eine Protolyse nach folgender Gleichung: $\text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}_3\text{O}^+$.

Aus $\text{pH} = \frac{1}{2} (\text{p}K_{\text{S}} - \lg \{c(\text{NH}_4^+)\})$ folgt: $\text{pH} = \frac{1}{2} (9,25 - \lg 0,05) \approx 5,3$

2. $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ Bei der Titration der Ammoniaklösung nimmt die Konzentration von Ammoniak ständig ab, die Konzentration der Ammonium-Ionen jedoch ständig zu. Beide bilden eine Pufferlösung, die den Anstieg des pH-Werts bei Zugabe von Hydronium-Ionen verzögert. Bei gleichen Konzentrationen von Ammoniak und Ammonium ist die Pufferwirkung am größten. An dieser Stelle der Titrationskurve befindet sich daher ein Wendepunkt.

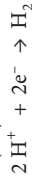
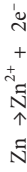
3. Die Puffergleichung lautet: $\text{pH} = \text{p}K_{\text{S}} + \lg \frac{c(\text{NH}_3)}{c(\text{NH}_4^+)}$

Nach dem Verbrauch der Hälfte Salzsäure wurde auch die Hälfte der Ammoniaklösung umgesetzt und ebenso viele Ammonium-Ionen gebildet: $c(\text{NH}_4^+) = c(\text{NH}_3)$.
Daraus folgt: $\text{pH} = \text{p}K_{\text{S}} + \lg 1$ bzw. $\text{pH} = \text{p}K_{\text{S}}$

Oxidationszahlen

Döbereiner-Feuerzeug – Lösungen

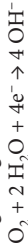
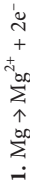
Die Zinkatome werden oxidiert und dienen als Elektronendonatoren. Die Wasserstoff-Ionen in der Schwefelsäure-Lösung nehmen die Elektronen auf (Elektronenakzeptoren) und werden reduziert. Teilgleichungen:



Hinweis: Ein Ausgleichen der Elektronenbilanz ist hier nicht notwendig.

Gesamtgleichung: $\text{Zn} + 2 \text{H}^{+} \rightarrow \text{H}_2 + \text{Zn}^{2+}$

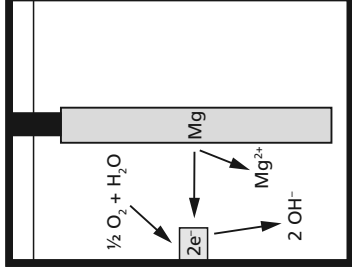
Magnesium als Opferanode – Lösungen



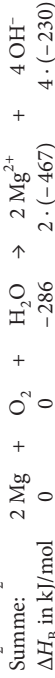
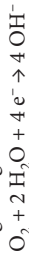
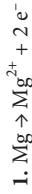
Die Elektronen wandern zum Stahl (Eisen), welches als Kathode dient. Diese Elektronen werden von dem im Wasser gelösten Sauerstoff aufgenommen.



2. Skizze der Abläufe:



Das Salzwasserauto – Lösungen



$$\Delta H_{\text{R}} = -1569 \text{ kJ/mol}$$

$$2. \Delta E = E(\text{Red.}) - E(\text{Ox.}) = +0,40 \text{ V} - (-2,38) \text{ V} = 2,78 \text{ V}$$

Elektrolyse

Schmelzflusselektrolyse von Lithium – Lösungen

1. Kathode: $2 \text{Li}^+ + 2 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{Li}$

Anode: $2 \text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2 \text{e}^-$

Gesamt: $2 \text{Li}^+ + 2 \text{Cl}^- \rightarrow 2 \text{Li} + \text{Cl}_2$

2. Aus dem 2. Faraday'schen Gesetz folgt: $Q = n \cdot z \cdot F$ $Q = I \cdot t$

Weil das Lithium-Ion nur 1 Elektron aufnimmt $z = 1$

$$n = \frac{I \cdot t}{F} = \frac{40\,000 \text{ A} \cdot 24 \text{ h}}{96\,487 \text{ C/mol}} \approx 35\,818 \text{ mol}$$

$$M = 6,94 \text{ g/mol}$$

$$n = \frac{m}{M} \quad \text{daraus: } m = n \cdot M = 35\,818 \text{ mol} \cdot 6,94 \text{ g/mol} = 24\,163\,692 \text{ g} \approx 24\,164 \text{ kg Lithium/Tag}$$

3. Beispiel: <http://www.seilnacht.com/Lexikon/downloads.html>

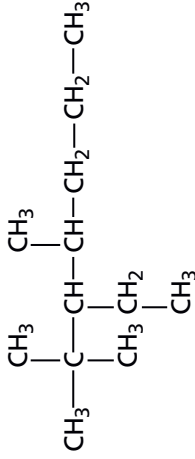
Die Benennung organischer Verbindungen

Schrittfolge der Nomenklaturregeln – Lösungen

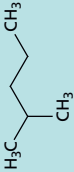
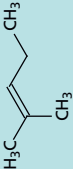
1. Namen der Verbindungen:

2,3,5-Trimethylhexan, 3-Methyl-1-buten, 3-Methyl-2-ol

2.

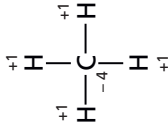


Acyclische und cyclische Kohlenwasserstoffe – mögliche Lösungen

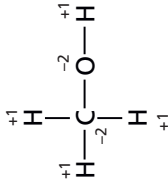
Kohlenwasserstoffe	Strukturformel	Benennung
Gestrecktes Alkan		Hexan
Verzweigtes Alkan		2-Methylpentan
Gestrecktes Alken		Hexen-1
Verzweigtes Alken		2-Methyl-2-penten
Cyclisches Alkan		Cyclohexan
Cyclisches Alken		Cyclohexen

Oxidationszahlen in der organischen Chemie

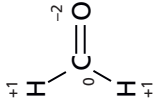
Strukturformeln und Namen der Verbindungen – Lösungen



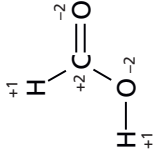
Methan



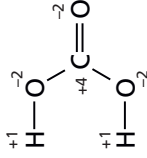
Methanol



Methanal



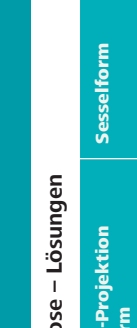
Methansäure



Kohlensäure

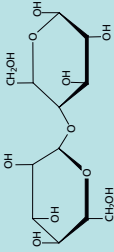
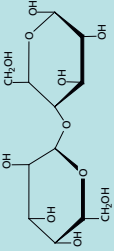
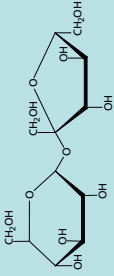
Monosaccharide

Darstellungsformen der D-Glucose – Lösungen

Fischer-Projektion offene Form	Fischer-Projektion Ringform	Sesselform	Haworth-Form
$ \begin{array}{c} \text{H} & & \text{OH} \\ & \backslash & / \\ & \text{C} = \text{O} \\ & / & \backslash \\ \text{H} & - & \text{C} - \text{OH} \\ & & \\ \text{HO} & - & \text{C} - \text{H} \\ & & \\ \text{H} & - & \text{C} - \text{OH} \\ & & \\ \text{H} & - & \text{C} - \text{OH} \\ & & \\ & & \text{CH}_2\text{OH} \end{array} $	$ \begin{array}{c} \text{H} & - & \text{OH} \\ & & \\ \text{H} & - & \text{OH} \\ & & \\ \text{HO} & - & \text{H} \\ & & \\ \text{H} & - & \text{OH} \\ & & \\ \text{H} & - & \text{CH}_2\text{OH} \end{array} $		
Unterscheidung von D- und L-Form	einfache Identifizierung des anomeren Kohlenstoffatoms	Informationen zu den Bindungswinkeln und damit zur räumlichen Struktur, z. B. bei der cis-trans-Isomerie	übersichtliche Darstellung der Verknüpfung von Monosacchariden zu Di- und Polysacchariden

Reduzierende und nicht reduzierende Kohlenhydrate

Lösungen

Nummer	1	2	3
Name	Cellobiose	Lactose	Saccharose
Struktur			
Verknüpfungsart	β -D-Glucose und β -D-Glucose, β , β -1,4-glycosidische Bindung	β -D-Galactose und β -D-Glucose, β , β -1,4-glycosidische Bindung	α -D-Glucose und β -D-Fructose, α , β -1,2-glycosidische Bindung
reduzierend oder nicht reduzierend	reduzierend	reduzierend	nicht reduzierend

Di- und Polysaccharide

Aus α -D-Glucose zusammengesetzte Verbindungen – Lösung

