

3.2. Aufgaben zu Säure-Base-Gleichgewichten

Aufgabe 1: Herstellung saurer und basischer Lösungen

Gib die Reaktionsgleichungen für die Herstellung der folgenden Lösungen durch Reaktion der entsprechenden Oxide mit Wasser an: Benenne alle Edukte und Produkte und bestimme ihre Bindungsarten.

- | | |
|--|--|
| a) Kohlensäure H_2CO_3 (aq) | e) Natronlauge NaOH (aq) |
| b) Ameisensäure H_2CO_2 (aq) | f) Kalilauge KOH (aq) |
| c) Schwefelsäure H_2SO_4 (aq) | g) Kalkwasser $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (aq) |
| d) schweflige Säure H_2SO_3 (aq) | h) Barytwasser $\text{Ba}(\text{OH})_2$ (aq) |

Aufgabe 2: Neutralisation

Formuliere die Reaktionsgleichungen in Ionenschreibweise und benenne die dabei gebildeten Salze.

- a) Salzsäure HCl (aq) reagiert mit Kalilauge KOH (aq)
- b) Salpetersäure HNO_3 (aq) reagiert mit Salmiakgeist NH_3 (aq)
- c) Kohlensäure H_2CO_3 (aq) reagiert mit Kalklauge $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (aq)
- d) Ethansäure CH_3COOH (aq) reagiert mit Kalklauge $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (aq)
- e) Schwefelsäure H_2SO_4 (aq) reagiert mit Natronlauge NaOH (aq)
- f) Schwefelsäure H_2SO_4 (aq) reagiert mit Salmiakgeist NH_3 (aq)
- g) Phosphorsäure H_3PO_4 (aq) reagiert mit Kalklauge $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (aq)

Aufgabe 3: Titration

- a) 150 ml einer salzsauren Lösung wurden mit 1 m NaOH titriert. Wie hoch ist die Konzentration dieser Lösung, wenn der Verbrauch an NaOH 12 ml beträgt?
- b) 200 ml einer schwefelsauren Lösung wurden mit 1 m NaOH titriert. Wie hoch ist die Konzentration dieser Lösung, wenn der Verbrauch an NaOH 15 ml beträgt?
- c) 100 ml einer Lauge wurden mit 1 m HCl titriert. Wie hoch ist die Konzentration dieser Lösung, wenn der Verbrauch an HCl 12 ml beträgt?

Aufgabe 4: Mesomeriestabilisierung von Säureresten

Zeichne jeweils zwei mesomere Grenzformeln von

- a) Hydrogenselenat HSeO_4^- b) Selenat SeO_4^{2-} d) Hydrogenphosphat HPO_4^{2-} e) Phosphat PO_4^{3-} f) Formiat HCOO^-

Aufgabe 5: Ionenprodukt des Wassers und pH-Wert

Ergänze die fehlenden Werte:

pH			5		2,5		
$[\text{H}_3\text{O}^+]$	10^{-1}					0,03	
$[\text{OH}^-]$		10^{-1}					0,0005
pOH				4			6,5

Aufgabe 6: K- und pK-Werte

Ergänze die fehlenden Werte:

K_s	10^6		20,89		$7,24 \cdot 10^{-4}$	
$\text{p}K_s$		-3		-1,92		3,7

Aufgabe 7: pK-Werte

Vervollständige die Reaktionsgleichung und gib die entsprechenden Konstanten und pK-Werte mit Hilfe der Tabelle an

Säure 1	+	Base 2	\rightleftharpoons	Base 1	+	Säure 2	Konstante K	pK-Wert
HNO_3	+	H_2O	\rightleftharpoons		+			
H_2O	+	NO_3^-	\rightleftharpoons		+			
H_2O	+	HCO_3^-	\rightleftharpoons		+			
HCO_3^-	+	H_2O	\rightleftharpoons		+			
H_2O	+	H_2PO_4^-	\rightleftharpoons		+			
H_2PO_4^-	+	H_2O	\rightleftharpoons		+			
H_2O	+	NH_3	\rightleftharpoons		+			
NH_3	+	H_2O	\rightleftharpoons		+			

Aufgabe 8: pH-Werte bei starken Säuren und Basen

Berechne die pH-Werte der folgenden wässrigen Lösungen:

- 0,1 m HCl
- 0,1 m NaOH
- 0,05 m HCl
- 0,05 m NaOH
- 0,1 m H₂SO₄
- 0,05 m H₂SO₄

Aufgabe 9: pH-Werte bei schwachen Säuren und Basen

Berechne die pH-Werte der folgenden wässrigen Lösungen:

- 0,1 m HF
- 0,1 m NaF
- 0,05 m CH₃COOH
- 0,05 m CH₃COONa
- 0,01 m H₂CO₃
- 0,01 m Na₂CO₃
- 0,1 m H₃PO₄
- 0,05 m Na₃PO₄

Aufgabe 10: Neutralisationskurven

Zeichne die Neutralisationskurven der folgenden Aminosäuren mit allen Äquivalenz- und Pufferpunkten:

Name	pK _{S1}	pK _{S2}	pK _{S3}
Alanin	2,34	9,69	-
Asparaginsäure	1,88	3,65	9,60
Methionin	2,28	9,21	-
Glutaminsäure	2,19	4,25	9,67

Aufgabe 11: Herstellung von Puffern

- Wieviele mol Ethansäure CH₃COOH und wieviel mol Natriumacetat CH₃COONa müssen in 1 Liter Wasser gegeben werden, wenn ein Acetat-Puffer mit pH = 5 und einer Gesamtkonzentration von 0,1 mol/L hergestellt werden soll?
Wie ändert sich der pH-Wert des Puffers, wenn 5 ml einer 1 molaren Schwefelsäure hinzugefügt werden?
- Wieviele mol Kohlensäure H₂CO₃ und wieviel mol Hydrogencarbonat HCO₃⁻ müssen in 100 ml Liter Wasser gegeben werden, wenn ein Hydrogencarbonat-Puffer mit pH = 7 und einer Gesamtkonzentration von 0,1 mol/L hergestellt werden soll?
Wie ändert sich der pH-Wert des Puffers, wenn 2 ml einer 1 molaren Natronlauge hinzugefügt werden?
- Wieviele mol Dihydrogenphosphat H₂PO₄⁻ und wieviel mol Hydrogenphosphat HPO₄²⁻ müssen in 100 ml Liter Wasser gegeben werden, wenn ein Hydrogenphosphat-Puffer mit pH = 7 und einer Gesamtkonzentration von 0,1 mol/L hergestellt werden soll?
Wieviele g NaH₂PO₄ und wieviel g Na₂HPO₄ müssen dazu abgewogen werden?
Wie ändert sich der pH-Wert des Puffers, wenn 10 ml einer 0,1 molaren Salzsäure hinzugefügt werden?
- Wieviele mol Hydrogencarbonat HCO₃⁻ und wieviel mol Carbonat CO₃²⁻ müssen in 500 ml Liter Wasser gegeben werden, wenn ein Carbonat-Puffer mit pH = 10 und einer Gesamtkonzentration von 0,1 mol/L hergestellt werden soll?
Wieviele g NaHCO₃ und wieviel g Na₂CO₃ müssen dazu abgewogen werden?
Wie ändert sich der pH-Wert des Puffers, wenn 5 ml einer 1 molaren Salzsäure hinzugefügt werden?

Aufgabe 8: pH-Werte starker Säuren und Basen

- a) 0,1 m HCl: $\text{pH} = 1$
 b) 0,1 m NaOH: $\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 1 = 13$
 c) 0,05 m HCl: $\text{pH} = -\log 0,05 = 1,3$
 d) 0,05 m NaOH: $\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - (-\log 0,05) = 14 - 1,3 = 12,7$
 e) 0,1 m H_2SO_4 (beide Protolysen laufen nahezu vollständig ab): $\text{pH} = -\log 0,2 = 0,7$
 f) 0,05 m H_2SO_4 (beide Protolysen laufen nahezu vollständig ab): $\text{pH} = -\log 0,1 = 1$

Aufgabe 9: pH-Werte schwacher Säuren und Basen

- a) 0,1 m HF: $\text{pH} = \frac{1}{2}(3,14 + 1) = 2,07$
 b) 0,1 m NaF: $\text{pOH} = \frac{1}{2}(10,86 + 1) = 5,93 \Rightarrow \text{pH} = 14 - 5,93 = 8,07$
 c) 0,05 m CH_3COOH : $\text{pH} = \frac{1}{2}(4,75 + 1,3) = 3,02$
 d) 0,05 m CH_3COONa : $\text{pOH} = \frac{1}{2}(9,25 + 1,3) = 5,27 \Rightarrow \text{pH} = 14 - 5,27 = 8,73$
 e) 0,01 m H_2CO_3 : $\text{pH} = \frac{1}{2}(6,52 + 2) = 4,26$
 f) 0,01 m Na_2CO_3 : $\text{pOH} = \frac{1}{2}(3,60 + 2) = 2,80 \Rightarrow \text{pH} = 14 - 2,80 = 11,20$
 g) 0,1 m H_3PO_4 : $\text{pH} = \frac{1}{2}(1,96 + 1) = 1,96$
 h) 0,05 m Na_3PO_4 : $\text{pOH} = \frac{1}{2}(1,68 + 1,3) = 1,49 \Rightarrow \text{pH} = 14 - 1,49 = 12,51$

Aufgabe 10: Neutralisationskurven: Vgl. Skript**Aufgabe 11: Herstellung von Puffern****a) Ansatz für Acetat-Puffer mit $\text{pK}_S = 4,75$ und $\text{pH} = 5$:**

$$5 = 4,75 + \log \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} \Leftrightarrow 10^{0,25} = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} \Leftrightarrow [\text{CH}_3\text{COO}^-] = 10^{0,25} \cdot [\text{CH}_3\text{COOH}]$$

Die Gesamtkonzentration von CH_3COO^- und CH_3COOH soll 0,1 mol/L sein:

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] + [\text{CH}_3\text{COOH}] = 0,1 \text{ mol/L} \quad | \text{ Puffergleichung einsetzen}$$

$$10^{0,25} \cdot [\text{CH}_3\text{COOH}] + [\text{CH}_3\text{COOH}] = 0,1 \text{ mol/L} \quad | \text{ ausklammern}$$

$$(10^{0,25} + 1) \cdot [\text{CH}_3\text{COOH}] = 0,1 \text{ mol/L} \quad | : (10^{0,25} + 1)$$

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = \frac{0,1}{10^{0,25} + 1} \text{ mol/L}$$

$$= 0,036 \text{ mol/L}$$

$$= \underline{36 \text{ mmol/L}}$$

$$\Rightarrow [\text{CH}_3\text{COO}^-] = 0,1 \text{ mol/L} - [\text{CH}_3\text{COOH}]$$

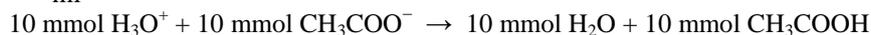
$$= 0,064 \text{ mol/L}$$

$$= \underline{64 \text{ mmol/L}}$$

$$\text{Probe:} \quad \text{pH} = 4,75 + \log \frac{64 \text{ mmol/L}}{36 \text{ mmol/L}}$$

$$= \underline{5,0}$$

Durch Zugabe von 5 ml $\cdot \frac{2 \text{ mmol}}{\text{ml}} = 10 \text{ mmol H}_3\text{O}^+$ werden 10 mmol CH_3COO^- in 10 mmol CH_3COOH umgesetzt:



Die Konzentration von CH_3COO^- sinkt also um 10 mmol/L auf

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = 64 \text{ mmol/L} - 10 \text{ mmol/L}$$

$$= \underline{54 \text{ mmol/L}}$$

Die Konzentration von CH_3COOH erhöht sich entsprechend um 10 mmol/L auf

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = 36 \text{ mmol/L} + 10 \text{ mmol/L}$$

$$= \underline{46 \text{ mmol/L}}$$

$$\Rightarrow \text{neuer pH} = 4,75 + \log \frac{54 \text{ mmol/L}}{46 \text{ mmol/L}}$$

$$= \underline{4,81}$$

b) Ansatz für Hydrogencarbonat-Puffer mit $pK_S = 6,52$ und $pH = 7$:

$$7 = 6,52 + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} \Leftrightarrow 10^{0,48} = \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} \Leftrightarrow [\text{HCO}_3^-] = 10^{0,48} \cdot [\text{H}_2\text{CO}_3].$$

$$\Rightarrow [\text{H}_2\text{CO}_3] = \frac{0,1}{10^{0,48} + 1} \text{ mol/L} = \underline{25 \text{ mmol/L}} \quad \text{bzw.} \quad \underline{2,5 \text{ mmol für 0,1 L}}$$

$$\Rightarrow [\text{HCO}_3^-] = 100 \text{ mmol/L} - 25 \text{ mmol/L} = \underline{75 \text{ mmol/L}} \quad \text{bzw.} \quad \underline{7,5 \text{ mmol für 0,1 L}}$$

$$\text{Probe: } pH = 6,52 + \log \frac{75 \text{ mmol/L}}{25 \text{ mmol/L}} = \underline{7,0}$$

Durch Zugabe von $2 \text{ ml} \cdot \frac{1 \text{ mmol}}{\text{ml}} = 2 \text{ mmol OH}^-$ werden $2 \text{ mmol H}_2\text{CO}_3$ in 2 mmol HCO_3^- umgesetzt:



Die Konzentration von HCO_3^- erhöht sich also um $\frac{2 \text{ mmol}}{0,1 \text{ L}} = 20 \text{ mmol/L}$ auf

$$[\text{HCO}_3^-] = 75 \text{ mmol/L} + 20 \text{ mmol/L} = \underline{95 \text{ mmol/L}}$$

Die Konzentration von H_2CO_3 sinkt entsprechend um $\frac{2 \text{ mmol}}{0,1 \text{ L}} = 20 \text{ mmol/L}$ auf

$$[\text{H}_2\text{CO}_3] = 25 \text{ mmol/L} - 20 \text{ mmol/L} = \underline{5 \text{ mmol/L}}$$

$$\Rightarrow \text{neuer pH} = 6,52 + \log \frac{95 \text{ mmol/L}}{5 \text{ mmol/L}} = \underline{7,80}$$

c) Ansatz für Hydrogenphosphat-Puffer mit $pK_S = 7,21$ und $pH = 7$:

$$7 = 7,21 + \log \frac{[\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} \Leftrightarrow 10^{-0,21} = \frac{[\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} \Leftrightarrow [\text{HPO}_4^{2-}] = 10^{-0,21} \cdot [\text{H}_2\text{PO}_4^-].$$

$$\Rightarrow [\text{H}_2\text{PO}_4^-] = \frac{0,1}{10^{-0,21} + 1} \text{ mol/L} = \underline{62 \text{ mmol/L}} \quad \text{bzw.} \quad \underline{6,2 \text{ mmol} = 0,744 \text{ g NaH}_2\text{PO}_4 \text{ für 0,1 L}}$$

$$\Rightarrow [\text{HPO}_4^{2-}] = 100 \text{ mmol/L} - 62 \text{ mmol/L} = \underline{38 \text{ mmol/L}} \quad \text{bzw.} \quad \underline{3,8 \text{ mmol} = 0,540 \text{ g Na}_2\text{HPO}_4 \text{ für 0,1 L}}$$

$$\text{Probe: } pH = 7,21 + \log \frac{38 \text{ mmol/L}}{62 \text{ mmol/L}} = \underline{7,0}$$

Zugabe von $10 \text{ ml} \cdot \frac{0,1 \text{ mmol}}{\text{ml}} = 1 \text{ mmol H}_3\text{O}^+$ in $0,1 \text{ L}$ Pufferlösung bzw. 10 mmol in 1 L Pufferlösung

$$\Rightarrow [\text{HPO}_4^{2-}] = 38 \text{ mmol/L} - 10 \text{ mmol/L} = \underline{28 \text{ mmol/L}}$$

$$\Rightarrow [\text{H}_2\text{PO}_4^-] = 62 \text{ mmol/L} + 10 \text{ mmol/L} = \underline{72 \text{ mmol/L}}$$

$$\Rightarrow \text{neuer pH} = 7,21 + \log \frac{28 \text{ mmol/L}}{72 \text{ mmol/L}} = \underline{6,80}$$

d) Ansatz für Carbonat-Puffer mit $pK_S = 10,40$ und $pH = 10$:

$$10 = 10,40 + \log \frac{[\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} \Leftrightarrow 10^{-0,4} = \frac{[\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} \Leftrightarrow [\text{CO}_3^{2-}] = 10^{-0,4} \cdot [\text{HCO}_3^-].$$

$$\Rightarrow [\text{HCO}_3^-] = \frac{0,1}{10^{-0,4} + 1} \text{ mol/L} = \underline{72 \text{ mmol/L}} \quad \text{bzw.} \quad \underline{36 \text{ mmol} = 3,02 \text{ g NaHCO}_3 \text{ für 0,5 L}}$$

$$\Rightarrow [\text{CO}_3^{2-}] = 100 \text{ mmol/L} - 72 \text{ mmol/L} = \underline{28 \text{ mmol/L}} \quad \text{bzw.} \quad \underline{14 \text{ mmol} = 1,48 \text{ g Na}_2\text{CO}_3 \text{ für 0,5 L}}$$

$$\text{Probe: } pH = 10,40 + \log \frac{28 \text{ mmol/L}}{72 \text{ mmol/L}} = \underline{10,0}$$

Zugabe von $5 \text{ ml} \cdot \frac{1 \text{ mmol}}{\text{ml}} = 5 \text{ mmol H}_3\text{O}^+$ in $0,5 \text{ L}$ Pufferlösung bzw. 10 mmol in 1 L Pufferlösung

$$\Rightarrow [\text{CO}_3^{2-}] = 28 \text{ mmol/L} - 10 \text{ mmol/L} = \underline{18 \text{ mmol/L}}$$

$$\Rightarrow [\text{HCO}_3^-] = 72 \text{ mmol/L} + 10 \text{ mmol/L} = \underline{82 \text{ mmol/L}}$$

$$\Rightarrow \text{neuer pH} = 10,40 + \log \frac{18 \text{ mmol/L}}{82 \text{ mmol/L}} = \underline{9,74}$$