

## 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 $\text{H}_2\text{CO}_3$ (aq)      | e) Natronlauge $\text{NaOH}$ (aq)            |
| b) Ameisensäure $\text{H}_2\text{CO}_2$ (aq)     | f) Kalilauge $\text{KOH}$ (aq)               |
| c) Schwefelsäure $\text{H}_2\text{SO}_4$ (aq)    | g) Kalkwasser $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (aq)  |
| d) schweflige Säure $\text{H}_2\text{SO}_3$ (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  $\text{HCl}$  (aq) reagiert mit Kalilauge  $\text{KOH}$  (aq)
- b) Salpetersäure  $\text{HNO}_3$  (aq) reagiert mit Salmiakgeist  $\text{NH}_3$  (aq)
- c) Kohlensäure  $\text{H}_2\text{CO}_3$  (aq) reagiert mit Kalklauge  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (aq)
- d) Ethansäure  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (aq) reagiert mit Kalklauge  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (aq)
- e) Schwefelsäure  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (aq) reagiert mit Natronlauge  $\text{NaOH}$  (aq)
- f) Schwefelsäure  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (aq) reagiert mit Salmiakgeist  $\text{NH}_3$  (aq)
- g) Phosphorsäure  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (aq) reagiert mit Kalklauge  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (aq)

### Aufgabe 3: Titration

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

### Aufgabe 4: Mesomeriestabilisierung von Säureresten

Zeichne jeweils zwei mesomere Grenzformeln von

- a) Hydrogenselenat  $\text{HSeO}_4^-$     b) Selenat  $\text{SeO}_4^{2-}$     d) Hydrogenphosphat  $\text{HPO}_4^{2-}$     e) Phosphat  $\text{PO}_4^{3-}$     f) Formiat  $\text{HCOO}^-$

### 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
$\text{HNO}_3$	+	$\text{H}_2\text{O}$	$\rightleftharpoons$		+			
$\text{H}_2\text{O}$	+	$\text{NO}_3^-$	$\rightleftharpoons$		+			
$\text{H}_2\text{O}$	+	$\text{HCO}_3^-$	$\rightleftharpoons$		+			
$\text{HCO}_3^-$	+	$\text{H}_2\text{O}$	$\rightleftharpoons$		+			
$\text{H}_2\text{O}$	+	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	$\rightleftharpoons$		+			
$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	+	$\text{H}_2\text{O}$	$\rightleftharpoons$		+			
$\text{H}_2\text{O}$	+	$\text{NH}_3$	$\rightleftharpoons$		+			
$\text{NH}_3$	+	$\text{H}_2\text{O}$	$\rightleftharpoons$		+			

**Aufgabe 8: pH-Werte bei starken Säuren und Basen**

Berechne die pH-Werte der folgenden wässrigen Lösungen:

- a) 0,1 m HCl
- b) 0,1 m NaOH
- c) 0,05 m HCl
- d) 0,05 m NaOH
- e) 0,1 m H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- f) 0,05 m H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

**Aufgabe 9: pH-Werte bei schwachen Säuren und Basen**

Berechne die pH-Werte der folgenden wässrigen Lösungen:

- a) 0,1 m HF
- b) 0,1 m NaF
- c) 0,05 m CH<sub>3</sub>COOH
- d) 0,05 m CH<sub>3</sub>COONa
- e) 0,01 m H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>
- f) 0,01 m Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>
- g) 0,1 m H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>
- h) 0,05 m Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>

**Aufgabe 10: Neutralisationskurven**

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

Name	pK <sub>S1</sub>	pK <sub>S2</sub>	pK <sub>S3</sub>
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**

- a) Wieviel mol Ethansäure CH<sub>3</sub>COOH und wieviel mol Natriumacetat CH<sub>3</sub>COONa 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?
- b) Wieviel mol Kohlensäure H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> und wieviel mol Hydrogencarbonat HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 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?
- c) Wieviel mol Dihydrogenphosphat H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> und wieviel mol Hydrogenphosphat HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 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?  
Wieviel g NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> und wieviel g Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> müssen dazu abgewogen werden?  
Wie ändert sich der pH-Wert des Puffers, wenn 10 ml einer 0,1 molaren Salzsäure hinzugefügt werden?
- d) Wieviel mol Hydrogencarbonat HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> und wieviel mol Carbonat CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 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?  
Wieviel g NaHCO<sub>3</sub> und wieviel g Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 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  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (beide Protolysen laufen nahezu vollständig ab):  $\text{pH} = -\log 0,2 = 0,7$   
 f) 0,05 m  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (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  $\text{CH}_3\text{COOH}$ :  $\text{pH} = \frac{1}{2}(4,75 + 1,3) = 3,02$   
 d) 0,05 m  $\text{CH}_3\text{COONa}$ :  $\text{pOH} = \frac{1}{2}(9,25 + 1,3) = 5,27 \Rightarrow \text{pH} = 14 - 5,27 = 8,73$   
 e) 0,01 m  $\text{H}_2\text{CO}_3$ :  $\text{pH} = \frac{1}{2}(6,52 + 2) = 4,26$   
 f) 0,01 m  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ :  $\text{pOH} = \frac{1}{2}(3,60 + 2) = 2,80 \Rightarrow \text{pH} = 14 - 2,80 = 11,20$   
 g) 0,1 m  $\text{H}_3\text{PO}_4$ :  $\text{pH} = \frac{1}{2}(1,96 + 1) = 1,96$   
 h) 0,05 m  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ :  $\text{pOH} = \frac{1}{2}(1,68 + 1,3) = 1,49 \Rightarrow \text{pH} = 14 - 1,49 = 12,51$

**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  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  und  $\text{CH}_3\text{COOH}$  soll 0,1 mol/L sein:

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

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

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

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

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

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

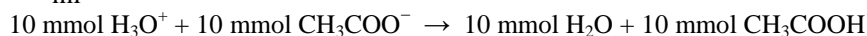
$$\Rightarrow [\text{CH}_3\text{COO}^-] = 0,1 \text{ mol/L} - [\text{CH}_3\text{COOH}]$$

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

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

$$\begin{aligned} \text{Probe:} \quad \text{pH} &= 4,75 + \log \frac{64 \text{ mmol/L}}{36 \text{ mmol/L}} \\ &= \underline{5,0} \end{aligned}$$

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



Die Konzentration von  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  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  $\text{CH}_3\text{COOH}$  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  $pH = 7$ :**

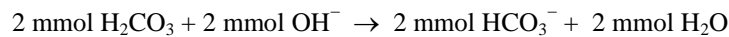
$$7 = 6,52 + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} \Leftrightarrow 10^{0,48} = \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} \Leftrightarrow [\text{HCO}_3^-] = 10^{0,48} \cdot [\text{H}_2\text{CO}_3].$$

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

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

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

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  $2 \text{ mmol HCO}_3^-$  umgesetzt:



Die Konzentration von  $\text{HCO}_3^-$  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  $\text{H}_2\text{CO}_3$  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.  $10 \text{ mmol}$  in  $1 \text{ L}$  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.  $10 \text{ mmol}$  in  $1 \text{ L}$  Pufferlösung

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

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

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