

## 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.

- Salzsäure  $\text{HCl}$  (aq) reagiert mit Kalilauge  $\text{KOH}$  (aq)
- Salpetersäure  $\text{HNO}_3$  (aq) reagiert mit Salmiakgeist  $\text{NH}_3$  (aq)
- Kohlensäure  $\text{H}_2\text{CO}_3$  (aq) reagiert mit Kalklauge  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (aq)
- Ethansäure  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (aq) reagiert mit Kalklauge  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (aq)
- Schwefelsäure  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (aq) reagiert mit Natronlauge  $\text{NaOH}$  (aq)
- Schwefelsäure  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (aq) reagiert mit Salmiakgeist  $\text{NH}_3$  (aq)
- Phosphorsäure  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (aq) reagiert mit Kalklauge  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (aq)

### Aufgabe 3: Titration

- 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?
- 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?
- 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: 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 5: 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 6: 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 7: 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 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
- 0,05 m H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

**Aufgabe 8: 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 CH<sub>3</sub>COOH
- 0,05 m CH<sub>3</sub>COONa
- 0,01 m H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>
- 0,01 m Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>
- 0,1 m H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>
- 0,05 m Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>

**Aufgabe 9: 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 10: Herstellung von Puffern**

- 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?
- 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?
- 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?
- 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?

### 3.2. Lösungen zu den Aufgaben zu Säure-Base-Gleichgewichten

#### Aufgabe 1: Herstellung saurer und basischer Lösungen

Siehe 1.10.2. Oxide als Säuren und Basen

#### Aufgabe 2: Neutralisation

- a)  $K^+ + OH^- + H_3O^+ + Cl^- \rightarrow KCl(aq)$  (Kaliumchlorid/Steinsalz) + 2 H<sub>2</sub>O  
 b)  $NH_4^+ + OH^- + H_3O^+ + NO_3^- \rightarrow NH_4NO_3(aq)$  (Ammoniumnitrat) + 2 H<sub>2</sub>O  
 c)  $Ca^{2+} + 2 OH^- + 2 H_3O^+ + CO_3^{2-} \rightarrow CaCO_3(aq)$  (Calciumcarbonat/Kalk) + 4 H<sub>2</sub>O  
 d)  $Ca^{2+} + 2 OH^- + 2 H_3O^+ + 2 CH_3COO^- \rightarrow Ca(CH_3COO)_2(aq)$  (Calciumacetat) + 4 H<sub>2</sub>O  
 e)  $2 Na^+ + 2 OH^- + 2 H_3O^+ + SO_4^{2-} \rightarrow Na_2SO_4(aq)$  (Natriumsulfat/Glaubersalz) + 4 H<sub>2</sub>O  
 f)  $2 NH_4^+ + 2 OH^- + 2 H_3O^+ + SO_4^{2-} \rightarrow (NH_4)_2SO_4(aq)$  (Ammoniumsulfat) + 4 H<sub>2</sub>O  
 g)  $3 Ca^{2+} + 6 OH^- + 6 H_3O^+ + 2 PO_4^{3-} \rightarrow Ca_3(PO_4)_3(aq)$  (Calciumphosphat/Apatit) + 6 H<sub>2</sub>O

#### Aufgabe 3: Titration

- a)  $12 \text{ ml} \cdot \frac{1 \text{ mmol}}{1 \text{ ml}} = 12 \text{ mmol OH}^- \Rightarrow 12 \text{ mmol H}_3\text{O}^+ \text{ in } 150 \text{ ml Lösung} \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{12 \text{ mmol}}{150 \text{ ml}} = 0,08 \text{ mol/L}$   
 b)  $15 \text{ ml} \cdot \frac{1 \text{ mmol}}{1 \text{ ml}} = 15 \text{ mmol OH}^- \Rightarrow 15 \text{ mmol H}_3\text{O}^+ \text{ in } 200 \text{ ml Lösung} \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{15 \text{ mmol}}{200 \text{ ml}} = 0,075 \text{ mol/L}$   
 $\Rightarrow [\text{H}_2\text{SO}_4] = \frac{1}{2} [\text{H}_3\text{O}^+] = 37,5 \text{ mmol/L}$   
 c)  $12 \text{ ml} \cdot \frac{1 \text{ mmol}}{1 \text{ ml}} = 12 \text{ mmol H}_3\text{O}^+ \Rightarrow 12 \text{ mmol OH}^- \text{ in } 100 \text{ ml Lösung} \Rightarrow [\text{OH}^-] = \frac{12 \text{ mmol}}{100 \text{ ml}} = 0,12 \text{ mol/L}$

#### Aufgabe 4: Ionenprodukt des Wassers und pK-Werte

[H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> ]	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-13</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-10</sup>
[OH <sup>-</sup> ]	10 <sup>-13</sup>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-4</sup>

#### Aufgabe 5: K- und pK-Werte

K <sub>S</sub>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>3</sup>	20,89	1,2 · 10 <sup>-2</sup>	7,24 · 10 <sup>-4</sup>	2 · 10 <sup>-4</sup>
pK <sub>S</sub>	-6	-3	-1,23	1,92	3,14	3,7

#### Aufgabe 6: pK-Werte

Säure 1	+	Base 2	⇌	Base 1	+	Säure 2	Konstante K	pK-Wert
HNO <sub>3</sub>	+	H <sub>2</sub> O	⇌	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	+	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	K <sub>S</sub> = 20,89	pK <sub>S</sub> = -1,32
H <sub>2</sub> O	+	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	⇌	OH <sup>-</sup>	+	HNO <sub>3</sub>	K <sub>B</sub> = 4,79 · 10 <sup>-16</sup>	pK <sub>B</sub> = 15,32
H <sub>2</sub> O	+	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	⇌	OH <sup>-</sup>	+	H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	K <sub>B</sub> = 3,3 · 10 <sup>-8</sup>	pK <sub>B</sub> = 7,48
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	+	H <sub>2</sub> O	⇌	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	+	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	K <sub>S</sub> = 3,98 · 10 <sup>-11</sup>	pK <sub>S</sub> = 10,40
H <sub>2</sub> O	+	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	⇌	OH <sup>-</sup>	+	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	K <sub>B</sub> = 9,12 · 10 <sup>-13</sup>	pK <sub>B</sub> = 12,04
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	+	H <sub>2</sub> O	⇌	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	+	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	K <sub>S</sub> = 7,59 · 10 <sup>-8</sup>	pK <sub>S</sub> = 7,12
H <sub>2</sub> O	+	NH <sub>3</sub>	⇌	OH <sup>-</sup>	+	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sub>B</sub> = 5,62 · 10 <sup>-10</sup>	pK <sub>B</sub> = 4,75
NH <sub>3</sub>	+	H <sub>2</sub> O	⇌	NH <sub>2</sub> <sup>-</sup>	+	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	K <sub>S</sub> = 10 <sup>-23</sup>	pK <sub>S</sub> = 23

#### Aufgabe 7: pH-Werte starker Säuren und Basen

- a) 0,1 m HCl: pH = 1  
 b) 0,1 m NaOH: pH = 14 - pOH = 14 - 1 = 13  
 c) 0,05 m HCl: pH = -log 0,05 = 1,3  
 d) 0,05 m NaOH: pH = 14 - pOH = 14 - (-log 0,05) = 14 - 1,3 = 12,7  
 e) 0,1 m H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (beide Protolysen laufen nahezu vollständig ab): pH = -log 0,2 = 0,7  
 f) 0,05 m H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (beide Protolysen laufen nahezu vollständig ab): pH = -log 0,1 = 1

### Aufgabe 8: 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 9: Neutralisationskurven

Vgl. Skript

### Aufgabe 10: Herstellung von Puffern

a) Ansatz für Acetat-Puffer mit  $\text{pK}_s = 4,75$  und  $\text{pH} = 5$ :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

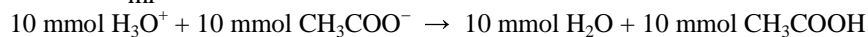
$$= 0,064 \text{ mol/L}$$

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

**Probe:**

$$\text{pH} = 4,75 + \log \frac{64 \text{ mmol/L}}{36 \text{ mmol/L}}$$
$$= \underline{5,0}$$

Durch Zugabe von 5 ml  $\cdot \frac{2 \text{ mmol}}{\text{ml}} = 10 \text{ mmol H}_3\text{O}^+$  werden 10 mmol  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  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  $pH = 7$ :**

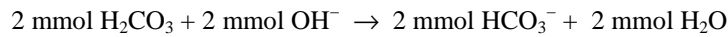
$$7 = 6,52 + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} \Leftrightarrow 10^{0,48} = \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} \Leftrightarrow [\text{HCO}_3^-] = 10^{0,48} \cdot [\text{H}_2\text{CO}_3].$$

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

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

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

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

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

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

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