

**Aufgabe zu Protolysen, pH-Wert-Berechnungen und Pufferlösungen****C2CL**

Die Berechnungen fußen auf folgenden Formeln:

<p><b>pK<sub>s</sub> &lt; 0: starke Säuren</b></p> $c(\text{H}_3\text{O}^+) \approx c_0(\text{HA})$ <p><math>c_0</math>: Anfangskonzentration/Gesamtkonzentration der Säure/Base, <math>c(X)</math>: Gleichgewichtskonzentration der Molekülsorte X in Lösung</p>	<p><b>pK<sub>B</sub> &lt; 0: starke Basen (B + H<sub>2</sub>O → BH<sup>+</sup> + OH<sup>-</sup>)</b></p> $c(\text{OH}^-) \approx c_0(\text{B})$
<p><b>pK<sub>s</sub> = 0 – 4: mittelstarke Säuren</b></p> $c(\text{H}_3\text{O}^+) = -\frac{K_S}{2} + \sqrt{\frac{K_S^2}{4} + K_S \cdot c_0(\text{HA})}$ <p><b>b) pK<sub>s</sub> &gt; 4: schwache Säuren</b></p> $c(\text{H}_3\text{O}^+) \approx \sqrt{K_S \cdot c_0(\text{Säure})} \quad \text{oder}$ $\text{pH} \approx \frac{\text{pK}_S - \lg c_0(\text{Säure})}{2}$	<p><b>a) pK<sub>B</sub> = 0 – 4: mittelstarke Basen</b></p> $c(\text{OH}^-) = -\frac{K_B}{2} + \sqrt{\frac{K_B^2}{4} + K_B \cdot c_0(\text{B})}$ <p><b>b) pK<sub>B</sub> &gt; 4: schwache Basen</b></p> $c(\text{OH}^-) \approx \sqrt{K_B \cdot c_0(\text{Base})} \quad \text{oder}$ $\text{pOH} \approx \frac{\text{pK}_B - \lg c_0(\text{Base})}{2}$

**1. pH-Wert starker Säuren und Basen**

1.1 Berechnen Sie den pH-Wert folgender Lösungen

a) 1 M HCl

b) 0,1 M HNO<sub>3</sub>c) 0,003 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (2. Protolysestufe wird vernachlässigt)d) 0,5 M HNO<sub>3</sub>1.2 Welche Konzentration  $c(\text{HCl})$  hat eine Salzsäure, deren pH-Wert mit  $\text{pH} = 5,62$  gemessen wurde?1.3 Berechnen Sie  $\text{pH}$  und  $c_0(\text{HClO}_3)$  einer Chlorsäure ( $\text{pK}_S = -2,7$ ), wenn  $c(\text{OH}^-) = 1,3 \cdot 10^{-13}$  mol/L beträgt.

1.4 Welche Masse an NaOH ist in 2000 mL Natronlauge mit dem pH-Wert 10,5 enthalten?

1.5 Berechnen Sie den pH-Wert einer Kalilauge mit der Massenkonzentration  $\beta(\text{KOH}) = 0,540$  g/L.1.6 Eine gesättigte Calciumhydroxidlösung besitzt  $\text{pH} = 12,6$ . Berechnen Sie  $\beta(\text{Ca}(\text{OH})_2)$  einer solchen Lösung.1.7 Eine Natronlauge besitzt den Massenanteil  $w\%(\text{NaOH}) = 1,49$  %. Berechnen Sie dem pH-Wert der Lösung, wenn die Dichte der Lösung 1,015 g/cm<sup>3</sup> beträgt.1.8 Mit wie viel Wasser müssen 10 mL einer Chlorsäurelösung ( $\text{pK}_S = -2,7$ ) mit  $\text{pH} = 2,4$  rechnerisch verdünnt werden, um  $\text{pH} = 5,0$  zu erreichen? Annahme: Volumeneffekte können vernachlässigt werden.**2. pH-Wert schwacher und mittelstarker Säuren und Basen**

2.1 Berechnen Sie den pH-Wert folgender wässriger Lösungen

a) Essigsäure,  $c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,015$  mol/Lb) Ameisensäure,  $c(\text{HCOOH}) = 0,035$  mol/Lc) Ammoniaklösung,  $c(\text{NH}_3) = 0,50$  mol/L.d) Trichloressigsäure,  $c(\text{CCl}_3\text{COOH}) = 0,55$  mol/L2.2 8,25 g Propansäure (Propionsäure, CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-COOH) werden zu 2,0 L aufgefüllt. Welchen pH-Wert hat die Lösung?2.3 Eine Ameisensäurelösung hat den pH-Wert 3,2. Berechnen Sie die Massenkonzentration  $\beta(\text{HCOOH})$  der Lösung.2.4 Löst man 0,4 mol einer Säure mit Wasser zu 1000 mL Lösung, so beträgt der gemessene pH-Wert  $\text{pH} = 1,12$ . Berechnen Sie den  $\text{pK}_S$ -Wert der Säure (ohne pH-Näherungsformel!)2.5 Eine Amidosulfonsäure-Lösung mit  $\beta = 2$  g/L besitzt  $\text{pH} = 1,76$ . Berechnen Sie den  $K_S$ -Wert der mittelstarken Säure ohne Näherungsformel. Amidosulfonsäure: (H<sub>2</sub>N-S(O)<sub>2</sub>-OH, M = 97,07 g/mol)**3. pH-Wert-Berechnung von Salzen**

3.1 Berechnen Sie folgende pH-Werte

a) Natriumacetatlösung mit  $c(\text{NaAc}) = 0,2$  mol/Lb) Calciumacetatlösung mit  $c(\text{CaAc}_2) = 0,2$  mol/Lc) Ammoniumchloridlösung mit  $c(\text{NH}_4\text{Cl}) = 0,3$  mol/Ld) Ammoniumsulfatlösung mit  $c(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = 0,3$  mol/Le) Natriumfluorid mit  $c(\text{NaF}) = 0,5$  mol/Lf) Natriumethanolat  $c(\text{NaEt}) = 1,0$  mol/L, Ethanolate: Salze des Ethanols, **pK<sub>s</sub>(Ethanol) = 18,0**g) Kaliumphosphatlösung mit  $c(\text{K}_3\text{PO}_4) = 250$  mM

- 3.2** Eine Natriumbenzoat-Lösung hat den pH-Wert von  $\text{pH} = 9,0$ . Welche Stoffmengenkonzentration befindet sich in der Lösung? Benzoate sind Salze der Benzoesäure.
- 3.3** Wie hoch ist die Massenkonzentration  $\beta$ (Kaliumtrichlorethanolat), wenn der pH-Wert der Lösung  $11,0$  beträgt? Trichlorethanolate sind Salze des Trichlorethanol.  $\text{pK}_s(\text{Trichlorethanol}) = 12,24$ .  $M(\text{Kaliumtrichlorethanolat}) = 187,5 \text{ g/mol}$ .
- 3.4** Welchen Masse an Kaliumpropionat müssen in  $1500 \text{ mL}$  Wasser gelöst werden, um  $\text{pH} = 8,6$  zu erreichen?  $M(\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COOK}) = 122,178 \text{ g/mol}$ . Propionate (Propanoate) sind Salze der Propionsäure (Propansäure).
- 3.5** Eine  $0,25$ -molare Lösung eines Salzes einer Base hat den pH-Wert  $\text{pH} = 4,8$ . Berechnen Sie den  $\text{K}_B$ -Wert der schwachen Base.

#### 4. pH-Wert von Pufferlösungen

- 4.1** Der PBS-Puffer („phosphate buffer saline“, zu deutsch etwa Phosphat-gepufferte Salzlösung) ist ein wichtiger Puffer in der Molekularbiologie und Biochemie, weil er im neutralen Bereich puffert und isotonisch zu den Gewebsflüssigkeiten des menschlichen Organismus ist. Er enthält:  $\beta(\text{NaCl}) = 8,0 \text{ g/L}$ ,  $\beta(\text{KCl}) = 0,2 \text{ g/L}$ ,  $\beta(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 1,44 \text{ g/L}$  und  $\beta(\text{KH}_2\text{PO}_4) = 0,24 \text{ g/L}$ . Berechnen Sie den pH-Wert der Lösung wenn man den Einfluss von KCl und NaCl vernachlässigt.
- 4.2** In einem  $1000 \text{ mL}$ -Messkolben werden  $n = 0,1 \text{ mol}$  Essigsäure und  $n = 0,1 \text{ mol}$  Natriumacetat  $\text{CH}_3\text{COONa}$  gegeben und mit  $\text{H}_2\text{O}$  bis zur Marke aufgefüllt.
- a) Welchen pH-Wert hat die entstehende Pufferlösung?  
b) Erklären Sie die Pufferwirkung anhand geeigneter Reaktionsgleichungen.
- 4.3** In jeweils  $250 \text{ mL}$  Ammoniak-Lösung der Konzentration  $c(\text{NH}_3) = 1,00 \text{ mol/L}$  werden:
- a)  $10,0 \text{ g}$  Ammoniumchlorid  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ODER b)  $30,0 \text{ g}$  Ammoniumchlorid  $\text{NH}_4\text{Cl}$  gelöst.  
Welchen pH-Wert hat die jeweils entstehenden Pufferlösung rechnerisch, wenn man Volumeneffekte durch Salzzugabe vernachlässigt?
- 4.4** Welcher pH-Wert stellt sich ein, wenn in  $250 \text{ mL}$  Ameisensäure-Lösung der Konzentration  $c(\text{HCOOH}) = 0,25 \text{ mol/L}$ , eine Portion von  $3,50 \text{ g}$  Natriumformiat ( $\text{HCOONa}$ ) gelöst wird? Hinweis: Volumeneffekte werden vernachlässigt.
- 4.5** Welche Konzentration an Ammoniumchlorid muss in eine Ammoniak-Lösung  $c(\text{NH}_3) = 0,010 \text{ mol/L}$  eingebracht werden, um eine Pufferlösung mit  $\text{pH} = 8,5$  zu erhalten?
- 4.6** Welche Masse an Natriumacetat muss  $500 \text{ mL}$  einer Essigsäure-Lösung der Konzentration  $c(\text{CH}_3\text{COOH}) = 0,05 \text{ mol/L}$  zugesetzt werden, damit eine Pufferlösung mit  $\text{pH} = 5,0$  erhalten wird?

#### 5. Aufgaben, die weniger mit Rechnungen zu tun haben und deshalb vielleicht sogar noch wichtiger sind

- 5.1** Ein festes Benzoesäure-Präparat ist verunreinigt. Es soll deshalb in Lösung gebracht und die reine Benzoesäure danach wieder ausgefällt werden (**Umfällung**). Die Benzoesäure ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{-COOH}$ ) löst sich jedoch kaum in Wasser. Wie kann die Löslichkeit erhöht werden? Wie wird die Benzoesäure nachher wieder gefällt. Begründen Sie auf struktureller Ebene bzw. mit dem Molekülbau dieses Verhalten!

#### 6. Gemischte Aufgaben und Klassenarbeitsfragen vergangener Jahre

**Beachten Sie, dass auch auch ein Arbeitsblatt zu Säure-Base-Titrationen (incl. Rücktitrationen) existiert,**

**6.1** Berechnen Sie den pH-Wert folgender Lösungen

- a) Magensaft,  $c(\text{HCl}) \approx 0,14 \text{ mol/L}$       c) Trimethylamin (dies ist eine Base) mit  $c = 200 \text{ mmol/L}$ , ( $\text{K}_B = 5,75 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$ )      b) Benzolsulfonsäurelösung mit  $c = 150 \text{ mmol/L}$  ( $\text{K}_S = 0,2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )

**6.2** Geben Sie die Namen und die Summenformeln an, von...

- a) 3 Salzen, deren wässrige Lösungen ungefähr neutral sind      b) 1 Salz, dessen wässrige Lösung sauer ist.      c) 3 Salze, deren wässrige Lösungen alkalisch sind.  
d) Begründen Sie, warum sich die Salze schwacher/starker Säuren/Basen in dieser Eigenschaft unterscheiden!

**6.3** Berechnen Sie die in den Klammern angegebenen Größen.

- a) Chlorsäure ( $\text{HClO}_3$ ) mit  $\beta(\text{HClO}_3) = 100 \text{ mg/L}$ , [ $\text{pH}$  und  $c(\text{OH}^-)$ ],  $\text{HClO}_3$  als starke Säure behandeln!  
b) Monochloressigsäure mit  $\text{pH} = 2,8$ . [ $c_0(\text{Monochloressigsäure})$ ], **Hinweis:  $\text{K}_S = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$**

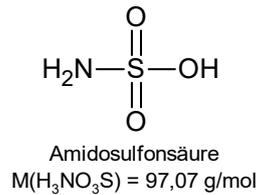
**6.4** Löst man in einer Milchsäure-Lösung ( $\text{CH}_3\text{-CH(OH)-COOH}$ ,  $K_s = 1,4 \cdot 10^{-4}$  mol/L) eine geringe Menge NaOH auf, so entsteht eine Pufferlösung.

- Geben Sie allgemein die Bestandteile einer Pufferlösung an und begründen Sie mit einer passenden Reaktionsgleichung und dazugehörigem Text, dass hier eine solche Lösung entsteht.
- Welcher pH-Wert stellt sich bei dem bei a) entstandenen Puffer ein, wenn die Gleichgewichtskonzentration der Säure der Pufferlösung vier mal größer ist als die Konzentration der korrespondierenden Base?

**6.5** Eine Salzsäure-Ausgangslösung besitzt  $\text{pH} = 1,5$ . Für einen Versuch sollen daraus 500 mL einer Salzsäurelösung mit  $\text{pH} = 2$  hergestellt werden.

- Wie kann die gewünschte Lösung durch Verdünnen mit Wasser hergestellt werden? [RECHNUNG + praktisches Vorgehen]
- Wie kann die gewünschte Lösung durch Zusatz von Natriumhydroxid hergestellt werden? Hinweis: Volumeneffekte werden vernachlässigt. [RECHNUNG + praktisches Vorgehen]

**6.6** Entkalker für Kaffeemaschinen meistens Amidosulfonsäure.



- Löst man 1,00 Gramm der reinen Säure auf 0,5 Liter, so beträgt der  $\text{pH} = 1,75$ . Berechnen Sie den  $K_s$ -Wert der Säure ohne Näherungsformel.
- Durch eine intramolekulare Säure-Base-Reaktion liegt Amidosulfonsäure ionisch und damit als salzförmiger Feststoff vor. Formulieren Sie die Reaktionsgleichung in Strukturformeln.
- Welche Ladung besitzen die Moleküle in stark saurer ( $\text{pH} = 0$ ) und in stark alkalischer ( $\text{pH} = 14$ ) Umgebung jeweils? Zeichnen Sie die entsprechenden Strukturformeln und geben Sie an, wie solche Verbindungen genannt werden.

$$a) c(\text{H}_3\text{O}^+) = 10^{-1,75} \approx 0,01778 \text{ mol/L} \quad c(\text{HA}) = \frac{\beta}{M} \approx 0,02060 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

	HA	$\rightleftharpoons$	A- +	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>
vor Protolyse (in mol/L)	0,01778		0	0
nach Protolyse (in mol/L)	0,02060-0,01778		0,01778	0,01778

$$K_s = \frac{c(\text{A}^-) \cdot c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c(\text{HA})} = \frac{\left(\dots \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)^2}{\dots \frac{\text{mol}}{\text{L}}} \approx 0,112 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad \text{p}K_s \approx -\lg 0,112 \approx 0,95$$

## Lösungen - ohne Gewähr

Je nach der Tabellenbuch, können die Säuren- und Basenkonstanten und die Säuren- und Basenexponenten leicht variieren.

1.1

a) vollständige Protolyse  $\Rightarrow c(\text{H}_3\text{O}^+) = 1 \text{ mol/L}$   
 $\Rightarrow \text{pH} = -\lg 1 \approx 0$

a) vollständige Protolyse  $\Rightarrow c(\text{H}_3\text{O}^+) = 0,003 \text{ mol/L}$   
 $\Rightarrow \text{pH} = -\lg 0,003 \approx 2,5$

Da die 2. Protolysestufe nun eine untergeordnete Rolle spielt, kann sie näherungsweise vernachlässigt werden. Der tatsächliche pH-Wert kann um ca. 0,1 pH-Einheiten vom berechneten Ergebnis abweichen.

b) ) vollständige Protolyse  $\Rightarrow c(\text{H}_3\text{O}^+) = 0,1 \text{ mol/L}$

$\Rightarrow \text{pH} = -\lg 0,1 \approx 1$

d) a) vollständige Protolyse  $\Rightarrow c(\text{H}_3\text{O}^+) = 0,5 \text{ mol/L}$

$\Rightarrow \text{pH} = -\lg 0,5 \approx 0,30$

1.2

$$\text{pH} = 5,62 \Rightarrow c(\text{H}_3\text{O}^+) = 10^{-5,62} \text{ mol/L} = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L} \Rightarrow c(\text{HCl}) = c(\text{H}_3\text{O}^+) = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L}$$

1.3

$$c(\text{H}_3\text{O}^+) \cdot c(\text{OH}^-) = 10^{-14} \frac{\text{mol}^2}{\text{L}^2} \Rightarrow c(\text{H}_3\text{O}^+) = \frac{10^{-14} \frac{\text{mol}^2}{\text{L}^2}}{1,3 \cdot 10^{-13} \frac{\text{mol}}{\text{L}}} \approx 0,077 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$c(\text{HClO}_3) \approx c(\text{H}_3\text{O}^+) \approx 0,077 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$\text{pH} = -\lg 0,077 \approx 1,11$$

1.4

$$\text{pH} = 10,5 \Rightarrow \text{pOH} = 14 - 10,5 = 3,5$$

$$c(\text{OH}^-) = 10^{-3,5} \text{ mol/L} \approx 0,000316 \text{ mol/L}$$

Da in 1 NaOH-Formeleinheit genau 1 OH<sup>-</sup> enthalten ist:  $c(\text{NaOH}) = c(\text{OH}^-) \approx 0,000316 \text{ mol/L}$

In 2 L Lsg enthaltene Stoffmenge NaOH:

$$n(\text{NaOH}) = c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{Lsg}) = 0,00031623 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 2\text{L} = 0,000632 \text{ mol}$$

Umrechnung in Masse:  $m(\text{NaOH}) = 0,000632 \text{ mol} \cdot 39,9971 \text{ g/mol} \approx 0,025 \text{ g}$

1.5

Hier der Lösungsweg: Zuerst  $c(\text{KOH})$  berechnen. Daraus auf  $c(\text{OH}^-)$  schließen. Dann kann pOH und pH-Wert berechnet werden. Ergebnis:  $\text{pH} \approx 11,98$

1.6

$$\text{pH} = 12,6 \Rightarrow \text{pOH} = 14 - 12,6 = 1,4$$

$$\text{a) } c(\text{H}_3\text{O}^+) = 10^{-1,75} \approx 0,01778 \text{ mol/L} \quad c(\text{HA}) = \frac{\beta}{M} \approx 0,02060 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

	<b>HA</b>	$\rightleftharpoons$	<b>A- +</b>	<b>H<sub>3</sub>O<sup>+</sup></b>
<b>vor Protolyse (in mol/L)</b>	0,01778		0	0
<b>nach Protolyse (in mol/L)</b>	0,02060-0,01778		0,01778	0,01778

$$K_S = \frac{c(\text{A}^-) \cdot c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c(\text{HA})} = \frac{\left(\dots \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)^2}{\dots \frac{\text{mol}}{\text{L}}} \approx 0,112 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad \text{p}K_S \approx -\lg 0,112 \approx 0,95$$

$$c(\text{OH}^-) = 10^{-1,4} \text{ mol/L} \approx 0,039811 \text{ mol/L}$$

Da in 1  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Formeleinheit genau 2  $\text{OH}^-$  enthalten ist:  $c(\text{Ca}(\text{OH})_2) : 2 = c(\text{OH}^-) \approx 0,019905 \text{ mol/L}$

$$\beta(\text{Ca}(\text{OH})_2) = c(\text{Ca}(\text{OH})_2) \cdot M(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 0,019905 \text{ mol/L} \cdot 74,093 \text{ g/mol} \approx 1,475 \text{ g/L}$$

1.7

$$c(\text{NaOH}) = \frac{\beta(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})} = \frac{w(\text{NaOH}) \cdot \rho(\text{Lsg})}{M(\text{NaOH})} = \frac{0,0149 \cdot 1,015 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}}{39,9971 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \approx 0,000378 \frac{\text{mol}}{\text{cm}^3} \approx 0,378 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$c(\text{OH}^-) = c(\text{NaOH}) \approx 0,378 \text{ mol/L}. \quad \text{pOH} \approx -\lg 0,378 \approx 0,422 \Rightarrow \text{pH} \approx 13,58$$

1.8

Weil Chlorsäure eine starke Säure ist, gilt:  $c(\text{HClO}_3) \approx 10^{-\text{pH}}$

$$\text{Konzentrat: } c_1(\text{HClO}_3) \approx 10^{-2,4} \approx 0,003981 \text{ mol/L}$$

$$\text{Verdünnung: } c_2(\text{HClO}_3) \approx 10^{-5,0} \approx 0,00001 \text{ mol/L}$$

$$\text{Mischungsgleichung: } c_1 \cdot V_1 = c_2 \cdot V_2 \Rightarrow V_2 = \frac{c_1 \cdot V_1}{c_2} \approx \frac{0,003981 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 10 \text{ mL}}{0,00001 \frac{\text{mol}}{\text{L}}} \approx 3981 \text{ mL}$$

Das Gesamtvolumen der Verdünnung beträgt also ca. 3,98 L. Da 10 mL zu Beginn an Volumen schon vorliegen, müssen also noch ca. 3,97 L Wasser zugegeben werden.

2.1

**a)**

$\Rightarrow \text{p}K_S = 4,75 \Rightarrow$  Es kann die Formel für schwache Säuren angewendet werden

$$\text{pH} \approx \frac{4,75 - \lg 0,015}{2} \approx 3,29$$

**b)**  $\text{p}K_S(\text{Ameisensäure}) = -\lg K_S(\text{HA}) = \approx 3,75$

$\Rightarrow \text{p}K_S 0 - 4 \Rightarrow$  Es muss die Formel für mittelstarke Säuren angewendet werden

$$c(\text{H}_3\text{O}^+) = -\frac{1,8 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}}}{2} + \sqrt{\frac{(1,8 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}})^2}{4} + 1,8 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 0,035 \frac{\text{mol}}{\text{L}}} \approx 0,00242 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$\text{pH} \approx -\lg 0,00242 \approx 2,62$$

**c)**  $\text{p}K_B(\text{NH}_3) = 4,75$

$\Rightarrow \text{p}K_B > 4 \Rightarrow$  Es kann die Formel für schwache Basen angewendet werden

$$\text{pOH} \approx \frac{4,75 - \lg 0,5}{2} \approx 2,53 \Rightarrow \text{pH} \approx 14 - 2,53 \approx 11,47$$

**d)**  $\text{p}K_S(\text{Trichloressigsäure}) = 0,7$

Es muss die Formel für mittelstarke Säuren benutzt werden.,  $K_S = 0,2 \text{ mol/L}$

a)  $c(\text{H}_3\text{O}^+) = 10^{-1,75} \approx 0,01778 \text{ mol/L}$      $c(\text{HA}) = \frac{\beta}{M} \approx 0,02060 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$

	<b>HA</b>	$\rightleftharpoons$	<b>A- +</b>	<b>H<sub>3</sub>O<sup>+</sup></b>
<b>vor Protolyse (in mol/L)</b>	0,01778		0	0
<b>nach Protolyse (in mol/L)</b>	0,02060-0,01778		0,01778	0,01778

$$K_S = \frac{c(\text{A}^-) \cdot c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c(\text{HA})} = \frac{\left(\dots \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)^2}{\dots \frac{\text{mol}}{\text{L}}} \approx 0,112 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad \text{p}K_S \approx -\lg 0,112 \approx 0,95$$

$$c(\text{H}_3\text{O}^+) = -\frac{0,2 \frac{\text{mol}}{\text{L}}}{2} + \sqrt{\frac{(0,2 \frac{\text{mol}}{\text{L}})^2}{4} + 0,2 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 0,55 \frac{\text{mol}}{\text{L}}} \approx 0,24641 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$\Rightarrow \text{pH} = -\lg 0,2464 \approx 0,61$

2.2

$$c(\text{Propionsäure}) = \frac{n(\text{Propionsäure})}{M(\text{Propionsäure}) \cdot V(\text{Lsg})} = \frac{8,25 \text{g}}{74,079 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 2 \text{L}} = 0,0556838 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$\text{p}K_S \approx 4,9 \Rightarrow$  Es kann die Formel für schwache Säuren eingesetzt werden.

$$\text{pH} \approx \frac{4,9 - \lg 0,0556838}{2} \approx 3,1$$

2.3

$c(\text{H}_3\text{O}^+) = 10^{-\text{pH}} = 10^{-3,2} \approx 6,30957 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$

Ameisensäure ist eine mittelstarke Säure:  $\text{p}K_S = 3,75$  ( $K_S = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$ ).  $\Rightarrow$

$$6,30957 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}} = -\frac{1,8 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}}}{2} + \sqrt{\frac{(1,8 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}})^2}{4} + 1,8 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot c(\text{HCOOH})}$$

$$7,20957 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}} = \sqrt{\frac{(1,8 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}})^2}{4} + 1,8 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot c(\text{HCOOH})}$$

$$5,19779 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mol}^2}{\text{L}^2} = \frac{(1,8 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}})^2}{4} + 1,8 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot c(\text{HCOOH})$$

$$5,11679 \cdot 10^{-7} \frac{\text{mol}^2}{\text{L}^2} = 1,8 \cdot 10^{-4} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot c(\text{HCOOH})$$

$$2,84 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L}} = c(\text{HCOOH})$$

$$\beta(\text{HCOOH}) = c(\text{HCOOH}) \cdot M(\text{HCOOH}) \approx 0,13 \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

2.4

	<b>HA</b>	<b>+ H<sub>2</sub>O</b>	<b>=</b>	<b>H<sub>3</sub>O<sup>+</sup></b>	<b>+ A<sup>-</sup></b>
<b>zu Beginn (mol/L):</b>	0,4			0	0
<b>im GG (mol/L):</b>	<b>0,32414</b>			<b>- 0,07586</b>	<b>0,07586</b>

$$K_S = \frac{c(\text{H}_3\text{O}^+) \cdot c(\text{A}^-)}{c(\text{HA})} \approx \frac{0,07586 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 0,07586 \frac{\text{mol}}{\text{L}}}{0,32414 \frac{\text{mol}}{\text{L}}} \approx 0,01775 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \Rightarrow$$

$$\text{p}K_S = -\lg 0,01775 \approx 1,75$$

$$a) c(\text{H}_3\text{O}^+) = 10^{-1,75} \approx 0,01778 \text{ mol/L} \quad c(\text{HA}) = \frac{\beta}{M} \approx 0,02060 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

	<b>HA</b>	$\rightleftharpoons$	<b>A- +</b>	<b>H<sub>3</sub>O<sup>+</sup></b>
<b>vor Protolyse (in mol/L)</b>	0,01778		0	0
<b>nach Protolyse (in mol/L)</b>	0,02060-0,01778		0,01778	0,01778

$$K_S = \frac{c(\text{A}^-) \cdot c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c(\text{HA})} = \frac{\left(\dots \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)^2}{\dots \frac{\text{mol}}{\text{L}}} \approx 0,112 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad \text{p}K_S \approx -\lg 0,112 \approx 0,95$$

ALTERNATIVE: Man setzt in die Formel für die exakte pH-Wert-Berechnung ein und löst nach  $K_S$  auf. Dies ist möglich, erfordert allerdings viele Umformungsschritte.

### 2.5 Amidosulfonsäure

$$c(\text{H}_3\text{O}^+) = 10^{-1,76} \approx 0,01738 \text{ mol/L} \quad c(\text{HA}) = \frac{\beta}{M} = \frac{2 \text{ g/L}}{97,07 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \approx 0,02060 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

	<b>HA</b>	$\rightleftharpoons$	<b>A- +</b>	<b>H<sub>3</sub>O<sup>+</sup></b>
<b>vor Protolyse (in mol/L)</b>	0,02060		0	0
<b>nach Protolyse (in mol/L)</b>	0,02060-0,01738		0,002042	0,002042

$$K_S = \frac{c(\text{A}^-) \cdot c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c(\text{HA})} = \frac{\left(0,01738 \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)^2}{0,00322 \frac{\text{mol}}{\text{L}}} \approx 0,094 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad \text{p}K_S \approx -\lg 0,094 \approx 1,03$$

### 3.1 a + b)

$$\text{p}K_S(\text{HAc}) = 4,75 \text{ (Tabellenwert)}$$

$$\Rightarrow \text{p}K_B(\text{Ac}^-) = 14 - 4,756 \approx 9,25; \text{ Merke: } \text{p}K_S(\text{Säure}) + \text{p}K_B(\text{korrespondierende Base}) = 14 \text{ (bei } 22^\circ\text{C)}$$

Da  $\text{p}K_B > 4$ , lässt sich die Näherungsformel für schwache Basen benutzen.

$$\text{pOH} \approx \frac{\text{p}K_B - \lg c_0(\text{Base})}{2}$$

$$a) c(\text{NaAc}) = 0,2 \text{ mol/L} \Rightarrow c(\text{Ac}^-) = 0,2 \text{ mol/L} \quad \text{pOH} \approx \frac{9,25 - \lg 0,2}{2} \approx 4,97 \Rightarrow \text{pH} = 14 - 4,97 \Rightarrow \text{pH} \approx 9,03$$

$$b) c(\text{CaAc}_2) = 0,2 \text{ mol/L} \Rightarrow c(\text{Ac}^-) = 2 \cdot 0,2 \text{ mol/L} = 0,4 \text{ mol/L}$$

$$\text{pOH} \approx \frac{9,25 - \lg 0,4}{2} \approx 4,82 \Rightarrow \text{pH} = 14 - 4,82 \Rightarrow \text{pH} \approx 9,18$$

Obwohl bei der Aufgabe 1b) die Basenkonzentration doppelt so groß ist wie bei Aufgabe 1a), ist der pH-Wert nur etwas größer (1a: 9,03, 1b: 9,18).

### 3.1 c+ d)

$$\Rightarrow \text{p}K_B(\text{NH}_3) \approx 4,75 \Rightarrow \text{p}K_S(\text{NH}_4^+) = 9,25$$

Da  $\text{p}K_S > 4$ , kann die entsprechende Näherungsformel benutzt werden.

$$c) c(\text{NH}_4\text{Cl}) = 0,3 \text{ mol/L} \Rightarrow c(\text{NH}_4^+) = 0,3 \text{ mol/L}$$

$$\text{pH} \approx \frac{\text{p}K_S - \lg c_0(\text{Säure})}{2} \Rightarrow \text{pH} \approx \frac{9,25 - \lg 0,3}{2} \approx 4,89$$

$$d) c((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = 0,3 \text{ mol/L} \Rightarrow c(\text{NH}_4^+) = 0,6 \text{ mol/L} \text{ Eine Formeleinheit des Salzes enthält } 2 \text{ NH}_4^+\text{-Ionen}$$

$$\text{pH} \approx \frac{9,25 - \lg 0,6}{2} \approx 4,74$$

$$\text{a) } c(\text{H}_3\text{O}^+) = 10^{-1,75} \approx 0,01778 \text{ mol/L} \quad c(\text{HA}) = \frac{\beta}{M} \approx 0,02060 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

	<b>HA</b>	$\rightleftharpoons$	<b>A- + H<sub>3</sub>O<sup>+</sup></b>
<b>vor Protolyse (in mol/L)</b>	0,01778		0      0
<b>nach Protolyse (in mol/L)</b>	0,02060-0,01778		0,01778    0,01778

$$K_S = \frac{c(\text{A}^-) \cdot c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c(\text{HA})} = \frac{\left(\dots \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)^2}{\dots \frac{\text{mol}}{\text{L}}} \approx 0,112 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad \text{p}K_S \approx -\lg 0,112 \approx 0,95$$

3.1e)

$$\text{p}K_S = 3,45 \Rightarrow \text{p}K_B(\text{F}^-) = 14 - 3,45 \approx 10,55$$

Da  $\text{p}K_B > 4$ , lässt sich die Näherungsformel für schwache Basen benutzen.

$$\text{pOH} \approx \frac{\text{p}K_B - \lg c_0(\text{Base})}{2} \approx \frac{10,55 - \lg 0,5}{2} \approx 5,42$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} \approx 8,58$$

3.1f)

$$\text{p}K_S(\text{Ethanol}) = 18 \Rightarrow \text{p}K_B(\text{Ethanolat}) = 14 - 18 = -4$$

Da  $\text{p}K_B < 0$ , kann man von einer starken Base ausgehen und die entsprechende Näherungsformel benutzen.

$$c(\text{OH}^-) \approx c(\text{Ethanolat}) \approx 1 \text{ mol/L} \Rightarrow \text{pOH} \approx -\lg(c(\text{OH}^-)) \approx 0, \text{pH} = 14 - \text{pOH} \approx 14.$$

3.1g)

$$\text{p}K_B(\text{PO}_4^{3-}) \approx 14 - \text{p}K_S(\text{HPO}_4^{2-}) \approx 14 - 11,745 \approx 2,255 \Rightarrow K_B = 10^{-\text{p}K_B} \approx 5,56 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L} = 0,00556 \text{ mol/L}$$

mittelstarke Base

$$c(\text{OH}^-) = -\frac{K_B}{2} + \sqrt{\frac{K_B^2}{4} + K_B \cdot c_0(B)} \Rightarrow$$

$$c(\text{OH}^-) = -\frac{0,00556}{2} + \sqrt{\frac{0,00556^2}{4} + 0,00556 \cdot 0,25} \approx 0,0346 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \Rightarrow \text{pOH} = 1,46 \Rightarrow \text{pH} = 12,54$$

Nr. 3.2

$$\text{p}K_S(\text{Benzoessäure}) \approx 4,2 \text{ (Tabellenwert)}$$

$$\Rightarrow \text{p}K_B(\text{Benzoat}) = 14 - 4,2 \approx 9,8; \text{Merke: } \text{p}K_S(\text{Säure}) + \text{p}K_B(\text{korrespondierende Base}) = 14$$

Da  $\text{p}K_B > 4$ , lässt sich die Näherungsformel für schwache Basen benutzen.

$$\text{pH} = 9,0 \Rightarrow \text{pOH} = 5,0$$

$$5,0 \approx \frac{9,8 - \lg c_0(\text{Base})}{2} \Rightarrow -0,2 \approx \lg c_0(\text{Base}) \Rightarrow 10^{-0,2} \approx c_0(\text{Base}) \Rightarrow c_0(\text{Base}) \approx 0,631 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

Nr. 3.3

$$\text{p}K_S(\text{Trichlorethanol}) = 12,24 \Rightarrow \text{p}K_B(\text{Trichlorethanolat}) = 14 - 12,24 = 1,76$$

Es handelt sich um eine mittelstarke Base ( $\text{p}K_B = 0 - 4$ ), so dass die entsprechende Formel für die Berechnung genutzt werden kann.

$$K_B = 10^{-1,76} = 0,01737801 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$a) c(\text{H}_3\text{O}^+) = 10^{-1,75} \approx 0,01778 \text{ mol/L} \quad c(\text{HA}) = \frac{\beta}{M} \approx 0,02060 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

	<b>HA</b>	$\rightleftharpoons$	<b>A- +</b>	<b>H<sub>3</sub>O<sup>+</sup></b>
vor Protolyse (in mol/L)	0,01778		0	0
nach Protolyse (in mol/L)	0,02060-0,01778		0,01778	0,01778

$$K_s = \frac{c(\text{A}^-) \cdot c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c(\text{HA})} = \frac{\left(\dots \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)^2}{\dots \frac{\text{mol}}{\text{L}}} \approx 0,112 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad \text{p}K_s \approx -\lg 0,112 \approx 0,95$$

$$\text{pOH} = 14 - 11,0 = 3,0 \Rightarrow c(\text{OH}^-) = 10^{-3,0} = 0,001 \text{ mol/L}$$

Zur vereinfachten Schreibweise werden die Einheiten in den Zwischenschritten der Rechnung weggelassen.

$$c(\text{OH}^-) = -\frac{K_B}{2} + \sqrt{\frac{K_B^2}{4} + K_B \cdot c_0(B)} \Rightarrow 0,001 = -\frac{0,01737801}{2} + \sqrt{\frac{0,301995172 \cdot 10^{-3}}{4} + 0,01737801 \cdot c_0(B)}$$

$$\Rightarrow 0,009689 = \sqrt{\frac{0,301995172 \cdot 10^{-3}}{4} + 0,01737801 \cdot c_0(B)} \Rightarrow \text{Quadrierung} \Rightarrow$$

$$93,876818 \cdot 10^{-6} = \frac{0,301995 \cdot 10^{-3}}{4} + 0,01737801 \cdot c_0(B) \Rightarrow c_0(B) \approx 0,001058 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$c(\text{Trichlorethanolat}) = c(\text{Kaliumtrichlorethanolat}) = 0,001058 \text{ mol/L}$$

$$\beta = c \cdot M = 0,001058 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 187,50 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 0,198 \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

Nr. 3.4

$$\text{p}K_s(\text{Propansäure}) = 4,9 \Rightarrow \text{p}K_B(\text{Propanoat}) = 14 - 4,9 \approx 9,1$$

Da  $\text{p}K_B > 4$ , lässt sich die Näherungsformel für schwache Basen benutzen.

$$\text{pH} = 8,6 \Rightarrow \text{pOH} = 5,4$$

$$5,4 \approx \frac{9,1 - \lg c_0(\text{Base})}{2} \Rightarrow -1,7 \approx \lg c_0(\text{Base}) \Rightarrow 10^{-1,7} \approx c_0(\text{Base}) \Rightarrow c_0(\text{Base}) = 0,01995 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$c(\text{Propionat}) = c(\text{Kaliumpropionat}) = 0,01995 \text{ mol/L}$$

$$c(\text{KProp}) = \frac{n(\text{KProp})}{V(\text{Lsg})} = \frac{m(\text{KProp})}{M(\text{KProp}) \cdot V(\text{Lsg})} \Rightarrow m(\text{KProp}) = c(\text{KProp}) \cdot M(\text{KProp}) \cdot V(\text{Lsg}) \approx 3,7 \text{ g}$$

Nr. 3.5

$$4,8 \approx \frac{\text{p}K_s - \lg 0,25}{2} \Rightarrow \text{p}K_s = 8,998$$

$$\text{p}K_B = 14 - \text{p}K_s \approx 14 - 8,998 \approx 5,002$$

$$K_B = 10^{-5,002} \approx 9,954 \cdot 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

4.1

$$c(\text{HPO}_4^{2-}) = c(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = \frac{\beta(\text{Na}_2\text{HPO}_4)}{M(\text{Na}_2\text{HPO}_4)} = \frac{1,44 \frac{\text{g}}{\text{L}}}{141,959 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \approx 0,010144 \frac{\text{mol}}{\text{L}} = c(\text{korr. Base})$$

$$a) c(\text{H}_3\text{O}^+) = 10^{-1,75} \approx 0,01778 \text{ mol/L} \quad c(\text{HA}) = \frac{\beta}{M} \approx 0,02060 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

	<b>HA</b>	$\rightleftharpoons$	<b>A- +</b>	<b>H<sub>3</sub>O<sup>+</sup></b>
<b>vor Protolyse (in mol/L)</b>	0,01778		0	0
<b>nach Protolyse (in mol/L)</b>	0,02060-0,01778		0,01778	0,01778

$$K_s = \frac{c(\text{A}^-) \cdot c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c(\text{HA})} = \frac{\left(\dots \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)^2}{\dots \frac{\text{mol}}{\text{L}}} \approx 0,112 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad pK_s \approx -\lg 0,112 \approx 0,95$$

$$c(\text{H}_2\text{PO}_4^-) = c(\text{KH}_2\text{PO}_4) = \frac{\beta(\text{KH}_2\text{PO}_4)}{M(\text{KH}_2\text{PO}_4)} = \frac{0,24 \frac{\text{g}}{\text{L}}}{136,085 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,0017636 \frac{\text{mol}}{\text{L}} = c(\text{korr. Säure})$$

$pK_s(\text{korr. Säure}) = 7,21$  (aus Tabellenbuch, 2. Protolysestufe der Phosphorsäure)

$$pH = pK_s(\text{H}_2\text{PO}_4^-) + \lg \frac{c(\text{HPO}_4^{2-})}{c(\text{H}_2\text{PO}_4^-)} = 7,21 + \lg \frac{0,010144}{0,0017636} \approx 7,97$$

4.2.

$$pH = pK_s(\text{HAc}) + \lg \frac{c(\text{Ac}^-)}{c(\text{HAc})}$$

$$pK_s(\text{HAc}) = 4,75 \quad (\text{Tabellenwert})$$

$$pH = 4,75 + \lg \frac{0,1 \text{ mol/L}}{0,1 \text{ mol/L}} = 4,75 + \lg 1 = 4,75 + 0 = 4,75$$

**Bemerkung:** Sind die Stoffmengenkonzentration an Säure und korrespondierendem Salz gleich groß, kürzt sich der lg-Term heraus. Der pH-Wert des Puffers entspricht dem  $pK_s$ -Wert des Puffers.

b) siehe Unterlagen

4.3.

$$pH = pK_s(\text{NH}_4^+) + \lg \frac{c(\text{NH}_3)}{c(\text{NH}_4^+)}$$

$$pK_s(\text{NH}_4^+) = 14 - pK_b(\text{NH}_3) = 14 - 4,75 = 9,25$$

$$c(\text{NH}_4\text{Cl}) = \frac{m(\text{NH}_4\text{Cl})}{M(\text{NH}_4\text{Cl}) \cdot V(\text{NH}_4\text{Cl})}$$

$$a) c(\text{NH}_4\text{Cl}) = \frac{10 \text{ g}}{53,491 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 0,25 \text{ L}} = 0,7478 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$b) c(\text{NH}_4\text{Cl}) = \frac{30 \text{ g}}{53,491 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 0,25 \text{ L}} = 2,2434 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$a) pH = 9,25 + \lg \frac{1 \text{ mol/L}}{0,7478 \text{ mol/L}} \approx 9,38$$

$$b) pH = 9,25 + \lg \frac{1 \text{ mol/L}}{2,2434 \text{ mol/L}} \approx 8,90$$

a)  $c(\text{H}_3\text{O}^+) = 10^{-1,75} \approx 0,01778 \text{ mol/L}$      $c(\text{HA}) = \frac{\beta}{M} \approx 0,02060 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$

	<b>HA</b>	$\rightleftharpoons$	<b>A- +</b>	<b>H<sub>3</sub>O<sup>+</sup></b>
vor Protolyse (in mol/L)	0,01778		0	0
nach Protolyse (in mol/L)	0,02060-0,01778		0,01778	0,01778

$$K_s = \frac{c(\text{A}^-) \cdot c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c(\text{HA})} = \frac{\left(\dots \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)^2}{\dots \frac{\text{mol}}{\text{L}}} \approx 0,112 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad pK_s \approx -\lg 0,112 \approx 0,95$$

4.4.

$$pH = pK_s(\text{HCOOH}) + \lg \frac{c(\text{HCOO}^-)}{c(\text{HCOOH})}$$

$$c(\text{NaOOCH}) = \frac{m(\text{NaOOCH})}{M(\text{NaOOCH}) \cdot V(\text{NaOOCH})} = \frac{3,50 \text{ g}}{68,00 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \cdot 0,25 \text{ L}} = 0,2059 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$pK_s(\text{HCOOH}) = 3,75$$

$$pH = 3,75 + \lg \frac{0,2059 \frac{\text{mol}}{\text{L}}}{0,25 \frac{\text{mol}}{\text{L}}} \approx 3,67$$

4.5.

$$pH = pK_s(\text{NH}_4^+) + \lg \frac{c(\text{NH}_3)}{c(\text{NH}_4^+)} \Rightarrow pK_s(\text{NH}_4^+) = 14 - pK_B(\text{NH}_3) \approx 9,25$$

$$8,5 = 9,25 + \lg \frac{0,01}{c(\text{NH}_4^+)} \Rightarrow -0,75 = \lg \frac{0,01}{c(\text{NH}_4^+)} \Rightarrow 10^{-0,75} = \frac{0,01}{c(\text{NH}_4^+)} \Rightarrow c(\text{NH}_4^+) \approx 0,056 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

4.6.

$$pH = pK_s(\text{HAc}) + \lg \frac{c(\text{Ac}^-)}{c(\text{HAc})}$$

$$pK_s(\text{HAc}) = 4,75$$

$$5,0 = 4,75 + \lg \frac{c(\text{Ac}^-)}{c(\text{HAc})} \Rightarrow 0,25 = \lg \frac{c(\text{Ac}^-)}{c(\text{HAc})} \Rightarrow 10^{0,25} = \frac{c(\text{Ac}^-)}{c(\text{HAc})} \Rightarrow 1,7783 = \frac{c(\text{Ac}^-)}{c(\text{HAc})} \Rightarrow c(\text{Ac}^-) = 1,7783 \cdot c(\text{HAc})$$

$$c(\text{Ac}^-) = 1,7783 \cdot 0,05 \frac{\text{mol}}{\text{L}} = 0,0889 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$c(\text{Ac}^-) = c(\text{NaAc}) = 0,0889 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

$$n(\text{NaAc}) = c(\text{NaAc}) \cdot V_{\text{Puffer}} = 0,0889 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 0,5 \text{ L} = 0,0444 \text{ mol}$$

$$m(\text{NaAc}) = 0,0444 \text{ mol} \cdot 82,034 \approx 3,65 \text{ g}$$

6.1

Magensaft

$$pH = -\lg c(\text{H}_3\text{O}^+) \approx -\lg c(\text{HCl}) \approx 0,85$$

Trimethylamin  $\Rightarrow pK_B \approx 4,240$

$$pOH \approx \frac{4,240 - \lg 0,2}{2} \approx 2,47$$

$$pH \approx 14 - 2,47 \approx 11,53$$

Benzolsulfonsäure  $pK_s \approx 0,699$

$$c(\text{H}_3\text{O}^+) = -\frac{0,2}{2} + \sqrt{\frac{0,2^2}{4} + 0,2 \cdot 0,15 \frac{\text{mol}}{\text{L}}} \approx 0,1$$

$$\text{mol/L} \Rightarrow pH \approx 1,00$$

6.2

**sauer:**  $\text{NH}_4\text{Cl}$  – Ammoniumchlorid

**alkalisch:** z.B.  $\text{NaCH}_3\text{COO}$  Natriumacetat,  $\text{KCH}_3\text{CHCOO}$  Natriumpropanoat,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  Natriumphosphat

$$a) c(\text{H}_3\text{O}^+) = 10^{-1,75} \approx 0,01778 \text{ mol/L} \quad c(\text{HA}) = \frac{\beta}{M} \approx 0,02060 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

	<b>HA</b>	$\rightleftharpoons$	<b>A- +</b>	<b>H<sub>3</sub>O<sup>+</sup></b>
<b>vor Protolyse (in mol/L)</b>	0,01778		0	0
<b>nach Protolyse (in mol/L)</b>	0,02060-0,01778		0,01778	0,01778

$$K_S = \frac{c(\text{A}^-) \cdot c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c(\text{HA})} = \frac{\left(\dots \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)^2}{\dots \frac{\text{mol}}{\text{L}}} \approx 0,112 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad \text{p}K_S \approx -\lg 0,112 \approx 0,95$$

**eher neutral:** z.B. NaCl – Natriumchlorid, NaBr Natriumbromid, KNO<sub>3</sub>: Kaliumnitrat

starke Säuren, wie z.B. HCl, haben eine große Tendenz Protonen abzugeben. Umgekehrt haben die entstehenden Säurerestionen starker Säuren (hier z.B. Cl<sup>-</sup>) nur eine sehr geringe Tendenz von H<sub>2</sub>O ein Proton abzuspalten um wieder in die Säure überzugehen. Die Salze starker Säuren reagieren neutral. Schwache Säuren (z.B. HAc) haben hingegen nur eine geringe Tendenz Protonen (H<sup>+</sup>) abzuspalten. Löst man die Salze schwacher Säuren in Wasser (hier z.B. NaAc), so hat das Säurerestion (hier: Ac<sup>-</sup>) eine hohe Tendenz von H<sub>2</sub>O wieder ein Proton abzuspalten um in HAc überzugehen:  $\text{Ac}^- + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HAc} + \text{OH}^-$ , so dass eine alkalische Lösung entsteht.

### 6.3

a)

$$a) c(\text{HClO}_3) = \frac{\beta(\text{HClO}_3)}{M(\text{HClO}_3)} = \frac{0,1 \frac{\text{g}}{\text{L}}}{84,4588 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} \approx 0,001184 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

da starke Säure  $\Rightarrow c(\text{H}_3\text{O}^+) \approx 0,001184 \text{ mol/L}$

$$\text{pH} \approx 2,93 \Rightarrow \text{pOH} \approx 11,07 \Rightarrow c(\text{OH}^-) \approx 10^{-11,07} \approx 8,45 \cdot 10^{-12} \text{ mol/L}$$

b)  $K_S = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L} \Rightarrow \text{p}K_S \approx 2,85 \Rightarrow$  mittelstarke Säure

$$c(\text{H}_3\text{O}^+) = 10^{-2,8} \approx 1,5849 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$c(\text{H}_3\text{O}^+) = -\frac{K_S}{2} + \sqrt{\frac{K_S^2}{4} + K_S \cdot c_0(\text{HA})} \Rightarrow \frac{\left(c(\text{H}_3\text{O}^+) + \frac{K_S}{2}\right)^2 - \frac{K_S^2}{4}}{K_S} = c_0(\text{HA}) \approx 3,386 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \Rightarrow$$

$$\frac{\left(1,5849 \cdot 10^{-3} + \frac{1,4 \cdot 10^{-3}}{2}\right)^2 - \frac{(1,4 \cdot 10^{-3})^2}{4}}{1,4 \cdot 10^{-3}} \approx c_0(\text{HA}) \approx 3,38 \cdot 10^{-3} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

### 6.4

a) Eine Pufferlösung entsteht, wenn in einer wässrigen Lösung einer schwachen oder mittelstarken Säure und die korrespondierende Base dazu in ähnlichen Konzentrationen vorliegen.



Durch Zugabe von etwas NaOH, wird ein Teil der Milchsäuremoleküle in Lactat-Ionen umgewandelt, so dass beide benötigten Bestandteile für eine Pufferlösung (Säure + korrespondierende Base) nebeneinander vorliegen.

$$b) \text{pH} = \text{p}K_S(\text{Milchsäure}) + \lg \frac{c(\text{Lactat})}{c(\text{Milchsäure})} \approx 3,85 + \lg \frac{x}{4 \cdot x} \approx 3,85 + \lg \frac{1}{4} \approx 3,25$$

### 6.5

$$a) c_1(\text{HCl}) \approx 10^{-\text{pH}} \approx 10^{-1,5} \approx 0,0316 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad \text{und} \quad c_2(\text{HCl}) \approx 10^{-\text{pH}} \approx 10^{-2,0} \approx 0,01 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

a)  $c(\text{H}_3\text{O}^+) = 10^{-1,75} \approx 0,01778 \text{ mol/L}$      $c(\text{HA}) = \frac{\rho}{M} \approx 0,02060 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$

	<b>HA</b>	$\rightleftharpoons$	<b>A<sup>-</sup> +</b>	<b>H<sub>3</sub>O<sup>+</sup></b>
<b>vor Protolyse (in mol/L)</b>	0,01778		0	0
<b>nach Protolyse (in mol/L)</b>	0,02060-0,01778		0,01778	0,01778

$$K_s = \frac{c(\text{A}^-) \cdot c(\text{H}_3\text{O}^+)}{c(\text{HA})} = \frac{\left(\dots \frac{\text{mol}}{\text{L}}\right)^2}{\dots \frac{\text{mol}}{\text{L}}} \approx 0,112 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \quad \text{p}K_s \approx -\lg 0,112 \approx 0,95$$

$$c_1 V_1 = c_2 V_2 \Rightarrow 0,0316 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot V_1 \approx 0,01 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 500 \text{ mL} \Rightarrow V_1 \approx 158 \text{ mL}$$

158 mL mit Vollpipette in 500 mL-Messkolben überführen und mit Wasser bis zur Marke auffüllen.

b) In 500 mL der Ausgangslsg. sind enthalten:

$$n(\text{HCl}) = c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) \approx 0,0316 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 0,5 \text{ L} \approx 0,0158 \text{ mol HCl}$$

In der Wunschlösung müssen enthalten sein:

$$n(\text{HCl}) = c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) \approx 0,0100 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 0,5 \text{ L} \approx 0,0050 \text{ mol HCl}$$

Es muss also folgende Stoffmenge  $n(\text{HCl})$  neutralisiert werden:

$$n(\text{HCl}) = 0,0108 \text{ mol HCl}$$

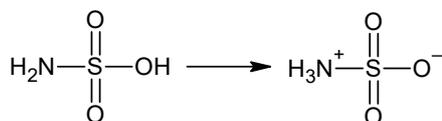
Hierfür wird dieselbe Stoffmenge NaOH benötigt, weil die beiden Verbindungen im Koeffizientenverhältnis 1:1 reagieren.

$$\text{NaOH} + \text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} \quad m(\text{NaOH}) = n(\text{NaOH}) \cdot M(\text{NaOH}) = 0,0108 \text{ mol} \cdot 40 \text{ g/mol} = 0,432 \text{ g}$$

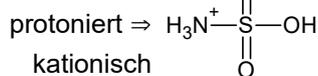
In 500 der Ausgangslösung werden 0,432 g NaOH gelöst.

6.6

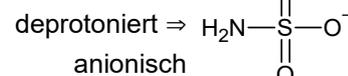
b)



c) sauer: vollständig



alkalisch: vollständig



Stoffe, die sowohl als Säure als auch als Base reagieren können, werden Ampholyte genannt.