

Uitwerkingen van de opgaven uit:

BASISCHEMIE voor analisten ISBN: 9789491764547, 4^e druk, Uitgeverij Syntax Media

Hoofdstuk 20 Zuur- en base-evenwichten

bladzijde 1

Opgave 1

Hoe groot zijn $[\text{H}_3\text{O}^+]$ en $[\text{OH}^-]$ in zuiver water bij 0 °C?

Bij 0 °C heeft de waterconstante K_w (volgens tabel 20.1) de waarde: $1,1 \cdot 10^{-15}$

Het is zuiver water dus: $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-]$ ► stel: $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = x$

$$x^2 = 1,1 \cdot 10^{-15} \quad \text{►} \quad x = \sqrt{1,1 \cdot 10^{-15}} = 3,3 \cdot 10^{-8} \text{ mol/L}$$

Opgave 2

Hoe groot zijn $[\text{H}_3\text{O}^+]$ en $[\text{OH}^-]$ in zuiver water bij 50 °C?

Bij 50 °C heeft de waterconstante K_w (volgens tabel 20.1) de waarde: $5,5 \cdot 10^{-14}$

Zuiver water dus: $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-]$ ► stel: $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] = x$

$$x^2 = 5,5 \cdot 10^{-14} \quad \rightarrow \quad x = \sqrt{5,5 \cdot 10^{-14}} = 2,4 \cdot 10^{-7} \text{ mol/L}$$

Opgave 3

In zuiver water blijkt bij 90 °C de hydroniumionenconcentratie $5,62 \cdot 10^{-7} \text{ mol/L}$ te zijn.

Bereken de waarde van K_w bij deze temperatuur.

Zuiver water dus: $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-]$ ► $5,62 \cdot 10^{-7} \times 5,62 \cdot 10^{-7} = 3,16 \cdot 10^{-13}$

Opgave 4

Hoe groot zijn $[\text{OH}^-]$ en $[\text{H}_3\text{O}^+]$ bij 25 °C in:

a verdund zoutzuur, $c(\text{HCl}) = 0,050 \text{ mol/L}$

Sterk zuur $[\text{H}_3\text{O}^+] = 0,050 \text{ mol/L}$ ► waterevenwicht: $[\text{OH}^-] \times 0,050 = 1,0 \cdot 10^{-14}$

$$[\text{OH}^-] = 1,0 \cdot 10^{-14} / 0,050 = 2,0 \cdot 10^{-13} \text{ mol/L}$$

b verdund salpeterzuur, $c(\text{HNO}_3) = 0,0010 \text{ mol/L}$?

Sterk zuur $[\text{H}_3\text{O}^+] = 0,0010 \text{ mol/L}$ ► waterevenwicht: $[\text{OH}^-] \times 0,0010 = 1,0 \cdot 10^{-14}$

Uitwerkingen van de opgaven uit:

BASISCHEMIE voor analisten ISBN: 9789491764547, 4^e druk, Uitgeverij Syntax Media

Hoofdstuk 20 Zuur- en base-evenwichten

bladzijde 2

$$[\text{OH}^-] = 1,0 \cdot 10^{-14} / 0,0010 = 1,0 \times 10^{-11} \text{ mol/L}$$

c verdund zoutzuur, $c(\text{HCl}) = 2,0 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$?

Sterk zuur $[\text{H}_3\text{O}^+] = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$ ► waterevenwicht: $[\text{OH}^-] \times 2,0 \cdot 10^{-4} = 1,0 \cdot 10^{-14}$
 $[\text{OH}^-] = 1,0 \cdot 10^{-14} / 2,0 \times 10^{-4} = 5,0 \times 10^{-11} \text{ mol/L}$

d NaOH-oplossing, $c(\text{NaOH}) = 0,10 \text{ mol/L}$?

Sterk basische opl: $[\text{OH}^-] = 0,10 \text{ mol/L}$ ► evenwicht: $[\text{H}_3\text{O}^+] \times 0,10 = 1,0 \cdot 10^{-14}$
 $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1,0 \cdot 10^{-14} / 0,10 = 1,0 \cdot 10^{-13} \text{ mol/L}$

e KOH-oplossing, $c(\text{KOH}) = 0,050 \text{ mol/L}$?

Sterk basische opl: $[\text{OH}^-] = 0,050 \text{ mol/L}$ ► evenwicht: $[\text{H}_3\text{O}^+] \times 0,050 = 1,0 \cdot 10^{-14}$
 $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1,0 \cdot 10^{-14} / 0,050 = 2,0 \cdot 10^{-13} \text{ mol/L}$

Opgave 5

Hoe groot is de pH van de volgende verdunde oplossingen:

a zoutzuur met $c(\text{HCl}) = 0,250 \text{ mol/L}$

sterk zuur, dus: $[\text{H}_3\text{O}^+] = 0,250 \text{ mol/L}$ ► $\text{pH} = -\log 0,250 = 0,60$

b NaOH-oplossing, $c(\text{NaOH}) = 0,075 \text{ mol/L}$

sterke base (hydroxide), dus: $[\text{OH}^-] = 0,075$ $\text{pOH} = -\log 0,075 = 1,125$
 $\text{pH} + \text{pOH} = 14,00$ ► $\text{pH} + 1,125 = 14,00$ $\text{pH} = 14,00 - 1,125 = 12,88$

c salpeterzuur met $c(\text{HNO}_3) = 0,050 \text{ mol/L}$

sterk zuur, dus: $[\text{H}_3\text{O}^+] = 0,050 \text{ mol/L}$ ► $\text{pH} = -\log 0,050 = 1,30$

d verdund zoutzuur, $c(\text{HCl}) = 0,0050 \text{ mol/L}$

sterk zuur, dus: $[\text{H}_3\text{O}^+] = 0,0050 \text{ mol/L}$ ► $\text{pH} = -\log 0,0050 = 2,30$

e zoutzuur met $c(\text{HCl}) = 0,00025 \text{ mol/L}$

sterk zuur, dus: $[\text{H}_3\text{O}^+] = 0,000250 \text{ mol/L}$ ► $\text{pH} = -\log 0,000250 = 3,60$

Uitwerkingen van de opgaven uit:

BASISCHEMIE voor analisten ISBN: 9789491764547, 4^e druk, Uitgeverij Syntax Media

Hoofdstuk 20 Zuur- en base-evenwichten

bladzijde 3

- f salpeterzuur met $c(\text{HNO}_3) = 0,20 \text{ mol/L}$
sterk zuur, dus: $[\text{H}_3\text{O}^+] = 0,20 \text{ mol/L} \rightarrow \text{pH} = -\log 0,20 = 0,70$
- g verdund zoutzuur, $c(\text{HCl}) = 0,30 \text{ mol/L}$?
sterk zuur, dus: $[\text{H}_3\text{O}^+] = 0,30 \text{ mol/L} \rightarrow \text{pH} = -\log 0,30 = 0,52$

Opgave 6

Bereken de concentratie van de opgeloste stof in de onderstaande oplossingen.

- a verdund zoutzuur met $\text{pH} = 1,50$
 $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} \rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-1,5} = 0,032 \text{ mol/L}$
Zeer sterk zuur dus ook $c(\text{HCl}) = 0,0316 \text{ mol/L}$
- b verdunde NaOH-oplossing met $\text{pH} = 12,25$
 $\text{pOH} = 14,00 - 12,25 = 1,75 \quad [\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}} \rightarrow [\text{OH}^-] = 10^{-1,75} = 0,0178 \text{ mol/L}$
Zeer sterke base (hydroxide) dus $c(\text{NaOH}) = 0,0178 \text{ mol/L}$
- c verdund salpeterzuur met $\text{pH} = 2,80$
 $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} \rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-2,8} = 1,58 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$
Zeer sterk zuur dus ook $c(\text{HNO}_3) = 1,58 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$
- d verdund barietwater ($\text{Ba}(\text{OH})_2$ -oplossing) met $\text{pH} = 10,55$
 $\text{pOH} = 14,00 - 10,55 = 3,45 \quad [\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}} \rightarrow [\text{OH}^-] = 10^{-3,45} = 3,55 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$
Zeer sterke base (hydroxide) en er komen 2 OH^- -ionen uit één $\text{Ba}(\text{OH})_2$ dus:
 $c(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 0,5 \times 3,55 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L} = 1,77 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$

Opgave 7

We mengen 500 mL verdund zoutzuur met $\text{pH} = 2,50$ met 500 mL verdunde natronloog met $\text{pH} = 11,00$.

Bereken de pH van het mengsel.

Zoutzuur: $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-2,5} = 3,16 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$ (mmol/mL)

Natronloog: $\text{pOH} = 14,00 - 11,00 = 3,00 \rightarrow [\text{OH}^-] = 10^{-3} \text{ mol/L}$ (mmol/mL)

Uitwerkingen van de opgaven uit:

BASISCHEMIE voor analisten ISBN: 9789491764547, 4^e druk, Uitgeverij Syntax Media

Hoofdstuk 20 Zuur- en base-evenwichten

bladzijde 4

$$\text{Hoeveelheid H}_3\text{O}^+: \quad n = 500 \text{ mL} \times 3,16 \cdot 10^{-3} \text{ mmol/mL} = 1,58 \text{ mmol H}_3\text{O}^+$$

$$\text{Hoeveelheid OH}^-: \quad n = 500 \text{ mL} \times 10^{-3} \text{ mmol/mL} = 0,500 \text{ mmol OH}^-$$

We hebben meer H_3O^+ dan OH^- . De oplossing wordt zuur.

Na de neutralisatiereactie zal er $1,58 \text{ mmol} - 0,500 \text{ mmol} = 1,08 \text{ mmol H}_3\text{O}^+$ over zijn in 1000 mL oplossing.

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 1,08 \text{ mmol} / 1000 \text{ mL} = 1,08 \cdot 10^{-3} \text{ mmol/mL (mol/L)} \blacktriangleright$$

$$\text{pH} = -\log 1,08 \cdot 10^{-3} = 2,97$$

Opgave 8

We mengen 100 mL verdund zoutzuur, $\text{pH} = 1,00$ met 400 mL verdunde natronloog, $\text{pH} = 12,50$.

Bereken de pH van het mengsel.

$$\text{Zoutzuur: } [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-1} = 0,100 \text{ mol/L (mmol/mL)}$$

$$\text{Natronloog: } \text{pOH} = 14,00 - 12,50 = 1,50 \blacktriangleright [\text{OH}^-] = 10^{-1,5} = 0,0316 \text{ mol/L (mmol/mL)}$$

$$\text{Hoeveelheid H}_3\text{O}^+: \quad n = 100 \text{ mL} \times 0,100 \text{ mmol/mL} = 10,0 \text{ mmol H}_3\text{O}^+$$

$$\text{Hoeveelheid OH}^-: \quad n = 400 \text{ mL} \times 0,0316 \text{ mmol/mL} = 12,65 \text{ mmol OH}^-$$

We hebben meer OH^- dan H_3O^+ . De oplossing wordt basisch.

Na de reactie zal er $12,65 \text{ mmol} - 10,0 \text{ mmol} = 2,65 \text{ mmol OH}^-$ over zijn in 500 mL oplossing.

$$[\text{OH}^-] = 2,65 \text{ mmol} / 500 \text{ mL} = 5,30 \cdot 10^{-3} \text{ mmol/mL (mol/L)} \blacktriangleright \text{pOH} = -\log 5,30 \cdot 10^{-3} = 2,28$$

$$\text{pH} = 14,00 - 2,28 = 11,72$$

Opgave 9

We mengen 100 mL verdund zoutzuur met $\text{pH} = 3,00$ met 500 mL verdunde Ba(OH)_2 -oplossing met $\text{pH} = 10,00$.

Bereken de pH van het mengsel.

Uitwerkingen van de opgaven uit:

BASISCHEMIE voor analisten ISBN: 9789491764547, 4^e druk, Uitgeverij Syntax Media

Hoofdstuk 20 Zuur- en base-evenwichten

bladzijde 5

Zoutzuur: $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-3} \text{ mol/L (mmol/mL)}$

Hydroxide-opl.: $\text{pOH} = 14,00 - 10,00 = 4,00 \rightarrow [\text{OH}^-] = 1,00 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L (mmol/mL)}$

Hoeveelheid H_3O^+ : $n = 100 \text{ mL} \times 10^{-3} \text{ mmol/mL} = 0,10 \text{ mmol H}_3\text{O}^+$

Hoeveelheid OH^- : $n = 500 \text{ mL} \times 10^{-4} \text{ mmol/mL} = 0,050 \text{ mmol OH}^-$

We hebben meer H_3O^+ dan OH^- . De oplossing wordt zuur.

Na de zuur/basereactie zal er $0,10 \text{ mmol} - 0,050 \text{ mmol} = 0,050 \text{ mmol H}_3\text{O}^+$ over zijn in 600 mL oplossing.

$[\text{H}_3\text{O}^+] = 0,050 \text{ mmol} / 600 \text{ mL} = 8,3 \cdot 10^{-5} \text{ mmol/mL (mol/L)} \rightarrow \text{pH} = -\log 8,3 \cdot 10^{-5} = 4,08$

Opgave 10

HB is het zwakke zuur, B^- de zuurrest dus zwakke base.

Bereken $[\text{H}_3\text{O}^+]$, $[\text{B}^-]$, $[\text{HB}]$ en de pH van de volgende oplossingen in water bij kamertemperatuur:

a methaanzuur, $c(\text{HCOOH}) = 0,50 \text{ mol/L}$ $K_z = 1,8 \cdot 10^{-4}$

voor elke H_3O^+ ontstaat één B^- dus: $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{B}^-]$ en: $[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{K_z \cdot c_z} \rightarrow$

$[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{B}^-] = \sqrt{1,8 \cdot 10^{-4} \times 0,50} = 9,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$ $\text{pH} = -\log 9,5 \cdot 10^{-3} = 2,02$

$[\text{HB}] = 0,50 - 9,5 \cdot 10^{-3} = 0,49 \text{ mol/L}$

b ethaanzuur (azijnzuur), $c(\text{HAc}) = 0,0050 \text{ mol/L}$ $K_z = 1,7 \cdot 10^{-5}$

voor elke H_3O^+ ontstaat één B^- dus: $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{B}^-]$ en: $[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{K_z \cdot c_z} \rightarrow$

$[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{B}^-] = \sqrt{1,7 \cdot 10^{-5} \times 0,0050} = 2,9 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$ $\text{pH} = -\log 2,9 \cdot 10^{-4} = 3,54$

$[\text{HB}] = 0,0050 - 2,9 \cdot 10^{-4} = 0,0047 \text{ mol/L}$

c ammoniumchloride, $c(\text{NH}_4\text{Cl}) = 2,00 \text{ mol/L}$ Het zuur: NH_4^+ $K_z = 5,6 \cdot 10^{-10}$

voor elke H_3O^+ ontstaat één NH_3 dus: $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{NH}_3]$ en: $[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{K_z \cdot c_z} \rightarrow$

$[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{NH}_3] = \sqrt{5,6 \cdot 10^{-10} \times 2,00} = 3,3 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$ $\text{pH} = -\log 3,3 \cdot 10^{-5} = 4,48$

$[\text{HB}] = 2,00 - 3,3 \cdot 10^{-5} = 2,0 \text{ mol/L}$

d waterstoffluoride, $c(\text{HF}) = 0,25 \text{ mol/L}$ $K_z = 6,3 \cdot 10^{-4}$

voor elke H_3O^+ ontstaat één F^- dus: $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{F}^-]$ en: $[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{K_z \cdot c_z} \rightarrow$

Uitwerkingen van de opgaven uit:

BASISCHEMIE voor analisten ISBN: 9789491764547, 4^e druk, Uitgeverij Syntax Media

Hoofdstuk 20 Zuur- en base-evenwichten

bladzijde 6

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{F}^-] = \sqrt{6,3 \cdot 10^{-4} \times 0,25} = 0,0125 \text{ mol/L} \quad \text{pH} = -\log 0,0125 = 1,90$$
$$[\text{HF}] = 0,25 - 0,0125 = 0,24 \text{ mol/L}$$

e melkzuur (2-hydroxypropaanzuur), $c_z = 0,10 \text{ mol/L}$ $K_z = 1,4 \cdot 10^{-4}$

voor elke H_3O^+ ontstaat één B^- dus: $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{B}^-]$ en: $[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{K_z \cdot c_z}$ ►

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{B}^-] = \sqrt{1,4 \cdot 10^{-4} \times 0,10} = 0,00374 \text{ mol/L} \quad \text{pH} = -\log 0,00374 = 2,43$$
$$[\text{HB}] = 0,10 - 0,00374 = 0,096 \text{ mol/L}$$

Opgave 11

Bereken de hydroniumionen-concentratie, de hydroxideconcentratie en de pH van de volgende oplossingen.

Berekening steeds in deze volgorde:

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{K_b \cdot c_b} \quad \text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] \quad \text{pH} = 14,00 - \text{pOH} \quad [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}}$$

a ammonia, $c(\text{NH}_3) = 0,01 \text{ mol/L}$ $K_b = 1,8 \cdot 10^{-5}$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{1,8 \cdot 10^{-5} \times 0,010} = 4,2 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$$

$$\text{pOH} = -\log (4,24 \cdot 10^{-4}) = 3,37 \quad \text{pH} = 14,00 - 3,37 = 10,63$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-10,63} = 2,4 \cdot 10^{-11} \text{ mol/L}$$

b natriumfluoride, $c(\text{NaF}) = 0,25 \text{ mol/L}$ F^- -ion is de base. $K_b = 1,6 \cdot 10^{-11}$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{1,6 \cdot 10^{-11} \times 0,25} = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L}$$

$$\text{pOH} = -\log (2,00 \cdot 10^{-6}) = 5,70 \quad \text{pH} = 14,00 - 5,70 = 8,30$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-8,30} = 5,0 \cdot 10^{-9} \text{ mol/L}$$

c natriumacetaat, $c(\text{NaAc}) = 0,010 \text{ mol/L}$. Acetaation (CH_3COO^-) is de base. $K_b = 5,8 \cdot 10^{-10}$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{5,8 \cdot 10^{-10} \times 0,010} = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L}$$

$$\text{pOH} = -\log (2,4 \cdot 10^{-6}) = 5,62 \quad \text{pH} = 14,00 - 5,62 = 8,38$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-8,38} = 4,2 \cdot 10^{-9} \text{ mol/L}$$

d natriumformiaat, $c(\text{HCOONa}) = 0,50 \text{ mol/L}$. HCOO^- is de base. $K_b = 5,6 \cdot 10^{-11}$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{5,6 \cdot 10^{-11} \times 0,50} = 5,3 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L}$$

$$\text{pOH} = -\log (5,29 \cdot 10^{-6}) = 5,28 \quad \text{pH} = 14,00 - 5,28 = 8,72$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-8,72} = 1,9 \cdot 10^{-9} \text{ mol/L}$$

Uitwerkingen van de opgaven uit:

BASISCHEMIE voor analisten ISBN: 9789491764547, 4^e druk, Uitgeverij Syntax Media

Hoofdstuk 20 Zuur- en base-evenwichten

bladzijde 7

e ethanolamine, $c_b = 0,250 \text{ mol/L}$ Het amine is de base. $K_b = 3,2 \cdot 10^{-5}$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{3,2 \cdot 10^{-5} \times 0,250} = 2,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$\text{pOH} = -\log(2,8 \cdot 10^{-3}) = 2,55 \quad \text{pH} = 14,00 - 2,55 = 11,45$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-11,45} = 3,5 \cdot 10^{-12} \text{ mol/L}$$

f 2,50 mmol diethanolamine in 100 mL. Het amine is de base. $K_b = 7,6 \cdot 10^{-6}$

$$c_b = 2,50 \text{ mmol} / 100 \text{ mL} = 0,025 \text{ mmol/mL} \rightarrow 0,025 \text{ mol/L}$$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{7,6 \cdot 10^{-6} \times 0,025} = 4,4 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$$

$$\text{pOH} = -\log(4,36 \cdot 10^{-4}) = 3,36 \quad \text{pH} = 14,00 - 3,36 = 10,64$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-10,64} = 2,3 \cdot 10^{-11} \text{ mol/L}$$

g 500 mmol diethylamine in een liter. Het amine is de base. $K_b = 1,0 \cdot 10^{-3}$

$$c_b = 500 \text{ mmol} / 1000 \text{ mL} = 0,50 \text{ mmol/mL} \rightarrow 0,50 \text{ mol/L}$$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{1,0 \cdot 10^{-3} \times 0,50} = 2,2 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$$

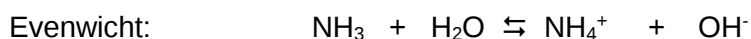
$$\text{pOH} = -\log 2,24 \cdot 10^{-2} = 1,65 \quad \text{pH} = 14,00 - 1,65 = 12,35$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-12,35} = 4,5 \cdot 10^{-13} \text{ mol/L}$$

Opgave 12

Van een ammoniakoplossing meten we de pH, deze blijkt 11,58 te zijn. Bereken $c(\text{NH}_3)$ in deze oplossing.

$$K_b = 1,8 \cdot 10^{-5}$$



$[\text{OH}^-]$ is gelijk aan $[\text{NH}_4^+]$

$[\text{OH}^-]$ berekenen we uit de pOH.

$$\text{pOH} = 14,00 - 11,58 = 2,42 \quad \blacktriangleright \quad [\text{OH}^-] = 10^{-2,42} = 3,80 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$[\text{NH}_3]$ is met kleine verwaarlozing gelijk aan $c(\text{NH}_3)$. We gebruiken de vereenvoudigde formule:

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{K_b \cdot c_b} \quad \blacktriangleright \quad 3,80 \cdot 10^{-3} = \sqrt{1,8 \cdot 10^{-5} \times c(\text{NH}_3)}$$

We kwadrateren links en rechts van het = teken, dan ontstaat:

$$1,44 \cdot 10^{-5} = 1,8 \cdot 10^{-5} \times c(\text{NH}_3) \quad \blacktriangleright \quad c(\text{NH}_3) = 0,80 \text{ mol/L}$$

Opgave 13

Hoe groot is de pH in de onderstaande oplossingen?

We kunnen steeds de bufferformule gebruiken: $[H_3O^+] = K_z \cdot \frac{n_z}{n_b}$

a 110 mmol NH_4Cl + 500 mmol NH_3 $K_z = 5,6 \cdot 10^{-10}$

$$[H_3O^+] = 5,6 \cdot 10^{-10} \times 110 \text{ mmol} / 500 \text{ mmol} = 1,23 \cdot 10^{-10} \text{ mol/L}$$

$$pH = -\log(1,23 \cdot 10^{-10}) = 9,91$$

b 110 g NH_4Cl + 500 mL ammonia met $c(NH_3) = 4,0 \text{ mol/L}$ $K_z = 5,6 \cdot 10^{-10}$

$$n(NH_4^+) = 110 \text{ g} / 53,45 \text{ g/mol} = 2,06 \text{ mol}$$

$$n(NH_3) = 500 \text{ mL} \times 4,0 \text{ mmol/mL} = 2000 \text{ mmol} \quad \blacktriangleright \quad 2,00 \text{ mol}$$

$$[H_3O^+] = 5,6 \cdot 10^{-10} \times 2,06 \text{ mol} / 2,00 \text{ mol} = 5,77 \cdot 10^{-10} \text{ mol/L}$$

$$pH = -\log(5,77 \cdot 10^{-10}) = 9,24$$

c 250 mmol $(NH_4)_2SO_4$ + 100 mL ammonia met $c(NH_3) = 1,0 \text{ mol/L}$ $K_z = 5,8 \cdot 10^{-10}$

$$n(NH_4^+) = 2 \times 250 \text{ mmol} = 500 \text{ mmol} \quad ((NH_4)_2SO_4 \text{ geeft } 2 \times 250 \text{ mmol } NH_4^+)$$

$$n(NH_3) = 100 \text{ mL} \times 1,0 \text{ mmol/mL} = 100 \text{ mmol}$$

$$[H_3O^+] = 5,8 \cdot 10^{-10} \times 500 \text{ mmol} / 100 \text{ mmol} = 2,8 \cdot 10^{-10} \text{ mol/L}$$

$$pH = -\log(2,8 \cdot 10^{-10}) = 8,55$$

d 10,0 mL ethaanzuur ($\rho = 1,04 \text{ g/mL}$) + 100 mmol NaAc in 500 mL waterige oplossing

$$K_z = 1,7 \cdot 10^{-5}$$

$$m(HAc) = 10,0 \text{ mL} \times 1,04 \text{ g/mL} = 10,4 \text{ g} \quad \blacktriangleright \quad n(HAc) = 10,4 \text{ g} / 60,05 \text{ g/mol} = 0,173 \text{ mol}$$

$$n(Ac^-) = 100 \text{ mmol} = 0,100 \text{ mol}$$

We hoeven ons niet druk te maken over het eindvolume. Het gaat om de verhouding tussen de molaire hoeveelheden.

$$[H_3O^+] = 1,7 \cdot 10^{-5} \times 0,173 \text{ mol} / 0,100 \text{ mol} = 2,94 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$$

$$pH = -\log(2,94 \cdot 10^{-5}) = 4,53$$

Uitwerkingen van de opgaven uit:

BASISCHEMIE voor analisten ISBN: 9789491764547, 4^e druk, Uitgeverij Syntax Media

Hoofdstuk 20 Zuur- en base-evenwichten

bladzijde 9

e 50,0 g $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ + 100 mL ethaanzuur ($c(\text{HAc}) = 4,00 \text{ mol/L}$) $K_z = 1,7 \cdot 10^{-5}$

$$n(\text{HAc}) = 100 \text{ mL} \times 4,00 \text{ mmol/L} = 400 \text{ mmol}$$

$$n(\text{Ac}^-) = 50,0 \text{ g} / 136,1 \text{ g/mol} = 0,367 \text{ mol} = 367 \text{ mmol}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 1,7 \cdot 10^{-5} \times 400 \text{ mmol} / 367 \text{ mmol} = 1,85 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$$

$$\text{pH} = -\log(1,85 \cdot 10^{-5}) = 4,73$$

f 10,0 g NaH_2PO_4 + 10,0 g Na_2HPO_4 Het zuur is H_2PO_4^- $K_z = 6,2 \cdot 10^{-8}$

$$n(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 10,0 \text{ g} / 120,0 \text{ g/mol} = 0,083 \text{ mol}$$

$$n(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 10,0 \text{ g} / 142,0 \text{ g/mol} = 0,070 \text{ mol}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 6,2 \cdot 10^{-8} \times 0,083 \text{ mol} / 0,070 \text{ mol} = 7,35 \cdot 10^{-8} \text{ mol/L}$$

$$\text{pH} = -\log(7,35 \cdot 10^{-8}) = 7,13$$

Opgave 14

a Hoeveel mmol natriumacetaat (CH_3COONa) moet men aan 500 mmol ethaanzuur (CH_3COOH) toevoegen om een pH te verkrijgen van 5,00?

We gebruiken weer de bufferformule: $[\text{H}_3\text{O}^+] = K_z \cdot \frac{n_z}{n_b}$

$$n_z = 500 \text{ mmol ethaanzuur}$$

$$n_b = ? \text{ mmol natriumacetaat}$$

$$K_z = 1,7 \cdot 10^{-5}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-5,0} = 1,00 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$$

$$10^{-5} = 1,7 \cdot 10^{-5} \times \frac{500}{n_b} \quad \blacktriangleright \quad n_b = 1,7 \cdot 10^{-5} \times 500 / 1,00 \cdot 10^{-5} = 850 \text{ mmol}$$

b Hoeveel mmol ammoniumchloride moet men toevoegen aan 250 mL ammonia ($c(\text{NH}_3) = 4,00 \text{ mol/L}$) om een pH te verkrijgen van 9,50?

$$n_z = ? \text{ mmol } \text{NH}_4^+$$

$$n_b = 250 \text{ mL} \times 4,00 \text{ mmol/mL} = 1000 \text{ mmol } \text{NH}_3$$

Uitwerkingen van de opgaven uit:

BASISCHEMIE voor analisten ISBN: 9789491764547, 4^e druk, Uitgeverij Syntax Media

Hoofdstuk 20 Zuur- en base-evenwichten

bladzijde 10

$$K_z = 5,6 \cdot 10^{-10}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-9,50} = 3,16 \cdot 10^{-10} \text{ mol/L}$$

$$3,16 \cdot 10^{-10} = 5,6 \cdot 10^{-10} \times \frac{n_z}{1000} \quad \blacktriangleright \quad n_z = 3,16 \cdot 10^{-10} \times 1000 / 5,6 \cdot 10^{-10} = 564 \text{ mmol}$$

Opgave 15

In de onderstaande vragen gebruiken we weer steeds de bufferformule.

Eerst berekenen we de hoeveelheid zuur en de hoeveelheid geconjugeerde base.

Daarna $[\text{H}_3\text{O}^+]$ en de pH.

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = K_z \cdot \frac{n_z}{n_b}$$

- a We mengen 100 mL natronloog ($c(\text{NaOH}) = 1,00 \text{ mol/L}$) met 500 mL ethaanzuur ($c(\text{HAc}) = 1,00 \text{ mol/L}$). Bereken de pH van de oplossing.

Voor de reactie:

$$n_z = 500 \text{ mL} \times 1,00 \text{ mmol/mL} = 500 \text{ mmol HAc}$$

$$n_b = 100 \text{ mL} \times 1,00 \text{ mmol/mL} = 100 \text{ mmol OH}^-$$



$$n_z = 500 - 100 = 400 \text{ mmol HAc}$$

$$n_b = 100 \text{ mmol Ac}^-$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 1,7 \cdot 10^{-5} \times 400 \text{ mmol} / 100 \text{ mmol} = 6,8 \cdot 10^{-5} \quad \text{pH} = -\log(6,8 \cdot 10^{-5}) = 4,17$$

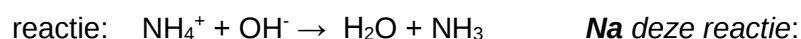
- b We lossen 500 mmol ammoniumchloride op tot ongeveer 500 mL oplossing en voegen hieraan 200 mmol natriumhydroxide aan toe. Bereken de pH van de oplossing.

$$K_z = 5,6 \cdot 10^{-10} \quad \text{evenwicht: } \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$$

Voor de reactie:

$$n_z = 500 \text{ mmol NH}_4^+$$

$$n_b = 200 \text{ mmol OH}^-$$



$$n_z = 500 - 200 = 300 \text{ mmol NH}_4^+$$

$$n_b = 200 \text{ mmol NH}_3$$

Uitwerkingen van de opgaven uit:

BASISCHEMIE voor analisten ISBN: 9789491764547, 4^e druk, Uitgeverij Syntax Media

Hoofdstuk 20 Zuur- en base-evenwichten

bladzijde 11

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 5,6 \cdot 10^{-10} \times 300 \text{ mmol} / 200 \text{ mmol} = 8,4 \cdot 10^{-10} \quad \text{pH} = -\log(8,4 \cdot 10^{-10}) = 9,08$$

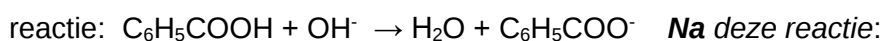
- c We lossen 61,0 g benzoëzuur ($\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$) op in 500 mL natriumhydroxide-oplossing met $c(\text{NaOH}) = 0,50 \text{ mol/L}$. Bereken de pH van de oplossing.

$$K_z = 6,3 \cdot 10^{-5}$$

Voor de reactie:

$$n_z = 61,0 \text{ g} / 122 \text{ g/mol} = 0,50 \text{ mol } \text{C}_6\text{H}_5\text{COOH} = 500 \text{ mmol}$$

$$n_b = 0,500 \text{ L} \times 0,50 \text{ mol/L} = 0,25 \text{ mol } \text{OH}^- = 250 \text{ mmol}$$



$$n_z = 500 - 250 = 250 \text{ mmol } \text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$$

$$n_b = 250 \text{ mmol } \text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 6,3 \cdot 10^{-5} \times 250 \text{ mmol} / 250 \text{ mmol} = \text{pH} = -\log(6,3 \cdot 10^{-5}) = 4,20$$

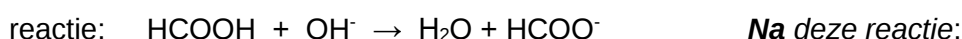
- d We voegen 1,00 g NaOH toe aan 500 mL methaanzuur (HCOOH)-oplossing ($\rho = 1,00 \text{ g/mL}$; 1,00 % (m/m)). Bereken de pH van de oplossing.

$$K_z = 1,8 \cdot 10^{-4}$$

Voor de reactie:

$$n_z = 500 \text{ mL} \times 1,00 \text{ g/mL} \times 0,01 = 5 \text{ g } \text{HCOOH} \rightarrow 5 \text{ g} / 46,0 \text{ g/mol} = 0,109 \text{ mol } \text{HCOOH}$$

$$n_b = 1,00 \text{ g} / 40,0 \text{ g/mol} = 0,025 \text{ mol } \text{OH}^-$$



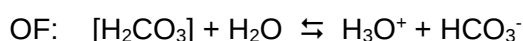
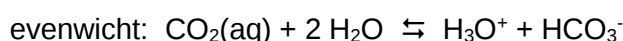
$$n_z = 109 \text{ mmol} - 25 \text{ mmol} = 84 \text{ mmol } \text{HCOOH}$$

$$n_b = 25 \text{ mmol } \text{HCOO}^-$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 1,8 \cdot 10^{-4} \times 84 \text{ mmol} / 25 \text{ mmol} = 6,0 \cdot 10^{-4} \quad \text{pH} = -\log(6,0 \cdot 10^{-4}) = 3,22$$

- e Aan een liter van een verzadigde oplossing van CO_2 in water (40 mmol/L) wordt 10,0 mL natronloog $c(\text{NaOH}) = 1,00 \text{ mol/L}$ toegevoegd. Bereken de pH.

$$K_z = 4,5 \cdot 10^{-7}$$



Uitwerkingen van de opgaven uit:

BASISCHEMIE voor analisten ISBN: 9789491764547, 4^e druk, Uitgeverij Syntax Media

Hoofdstuk 20 Zuur- en base-evenwichten

bladzijde 12

Voor de reactie met NaOH:

$$n_z = 40 \text{ mmol CO}_2(\text{aq})$$

$$n_b = 10,0 \text{ mL} \times 1,00 \text{ mmol/mL} = 10,0 \text{ mmol OH}^-$$

reactie: $\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{OH}^- \rightarrow \text{HCO}_3^-$ **Na** deze reactie:

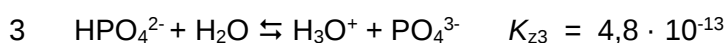
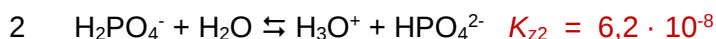
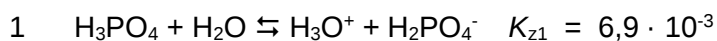
$$n_z = 40 - 10 = 30 \text{ mmol CO}_2(\text{aq})$$

$$n_b = 10 \text{ mmol HCO}_3^-$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 4,5 \cdot 10^{-7} \times 30 \text{ mmol} / 10 \text{ mmol} = 1,35 \cdot 10^{-6} \quad \text{pH} = -\log(1,35 \cdot 10^{-6}) = 5,87$$

Opgave 16

Deze vraag gaat over fosforzuur, opgelet: fosforzuur kent drie evenwichten:



Aan een oplossing van fosforzuur met 100 mmol H_3PO_4 , wordt 50 mL natronloog ($c(\text{NaOH}) = 1,00 \text{ mol/L}$) toegevoegd.

a Hoe groot wordt de pH?

Voor de reactie met NaOH:

$$n_z = 100 \text{ mmol H}_3\text{PO}_4$$

$$n_b = 50 \text{ mL} \times 1,00 \text{ mmol/mL} = 50 \text{ mmol OH}^-$$

reactie: $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{PO}_4^-$ **Na** deze reactie:

$$n_z = 100 - 50 = 50 \text{ mmol H}_3\text{PO}_4$$

$$n_b = 50 \text{ mmol H}_2\text{PO}_4^-$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 6,9 \cdot 10^{-3} \times 50 \text{ mmol} / 50 \text{ mmol} = 6,9 \cdot 10^{-3} \quad \text{pH} = -\log(6,9 \cdot 10^{-3}) = 2,16$$

Aan de verkregen oplossing wordt nog 100 mL natronloog toegevoegd.

b Hoe groot wordt de pH nu?

In de oplossing zit:

Uitwerkingen van de opgaven uit:

BASISCHEMIE voor analisten ISBN: 9789491764547, 4^e druk, Uitgeverij Syntax Media

Hoofdstuk 20 Zuur- en base-evenwichten

bladzijde 13

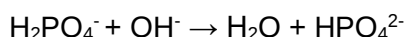
50 mmol H_3PO_4 en 50 mmol H_2PO_4^-

We voegen nog toe: $100 \text{ mL} \times 1,00 \text{ mmol/mL} = 100 \text{ mmol OH}^-$

OH^- reageert eerst met het sterkste zuur H_3PO_4 : $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{PO}_4^-$

50 mmol H_3PO_4 verbruikt 50 mmol OH^- in de oplossing zit nu:

0 mmol H_3PO_4 en 100 mmol H_2PO_4^- en er is nog 50 mmol OH^- dat reageert met H_2PO_4^- als volgt:



50 mmol H_2PO_4^- verbruikt 50 mmol OH^-

in de oplossing zit nu:

50 mmol H_2PO_4^- en 50 mmol HPO_4^{2-}

$n_z = 50 \text{ mmol H}_2\text{PO}_4^-$

$n_b = 50 \text{ mmol HPO}_4^{2-}$

We gebruiken nu K_{z2} de zuurconstante $K_{z2} = 6,2 \cdot 10^{-8}$ van de 2^e protolysestap:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 6,2 \cdot 10^{-8} \times 50 \text{ mmol} / 50 \text{ mmol} = 6,2 \cdot 10^{-8} \text{ mol/L}$$

$$\text{pH} = -\log (6,2 \cdot 10^{-8}) = 7,21$$

Opgave 17

- a We lossen 25,0 g kaliumfluoride op en voegen 200 mmol waterstofchloride toe. Bereken de pH. $K_z = 6,3 \cdot 10^{-4}$

Voor de reactie van fluoride met H_3O^+ :

$n_z = 200 \text{ mmol HCl}$

$n_b = 25,0 \text{ g} / 58,1 \text{ g/mol} = 0,430 \text{ mol} = 430 \text{ mmol F}^-$

Reactie: $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{F}^- \rightarrow \text{HF} + \text{H}_2\text{O}$ Na deze reactie:

$n_z = 200 \text{ mmol HF}$

$n_b = 430 \text{ mmol} - 200 \text{ mmol} = 230 \text{ mmol F}^-$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 6,3 \cdot 10^{-4} \times 200 \text{ mmol} / 230 \text{ mmol} = 5,48 \cdot 10^{-4} \quad \text{pH} = -\log (5,48 \cdot 10^{-4}) = 3,26$$

- b Aan een oplossing van 50,0 g $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ wordt 50,0 mL zoutzuur ($c(\text{HCl}) = 2,0$

mol/L) toegevoegd. Bereken de pH.

Voor de reactie van carbonaat met H_3O^+ :

$$n_z = 50 \times 2,0 = 100 \text{ mmol HCl}$$

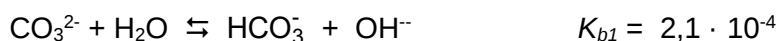
$$n_b = 50,0 \text{ g} / 286,14 \text{ g/mol} = 0,175 \text{ mol} = 175 \text{ mmol } \text{CO}_3^{2-}$$

Reactie: $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$ Na deze reactie:

$$n_z = 100 \text{ mmol HCO}_3^-$$

$$n_b = 175 \text{ mmol} - 100 \text{ mmol} = 75 \text{ mmol } \text{CO}_3^{2-}$$

We hebben feitelijk een basische buffer met het evenwicht:



Als we de basische bufferformule gebruiken:

$$[\text{OH}^-] = K_b \cdot \frac{n_b}{n_z}$$

$$[\text{OH}^-] = 1,8 \cdot 10^{-4} \times 75 \text{ mmol} / 100 \text{ mmol} = 1,35 \cdot 10^{-4} \quad \text{pOH} = -\log(1,35 \cdot 10^{-4}) = 3,80$$

$$\text{pH} = 14,00 - 3,80 = 10,20$$

Maar ... we kunnen voor de berekening van de pH ook gewoon de “zure” bufferformule gebruiken van het evenwicht:



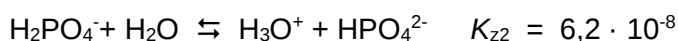
$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 4,7 \cdot 10^{-11} \times 100 \text{ mmol} / 75 \text{ mmol} = 6,27 \cdot 10^{-11}$$

$$\text{pH} = -\log(6,27 \cdot 10^{-11}) = 10,20$$

Opgave 18

- a Bereken de molverhouding tussen NaH_2PO_4 en Na_2HPO_4 die nodig is om een pH van 7,00 te verkrijgen.

Evenwicht:

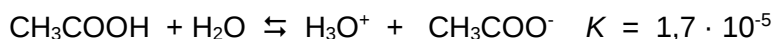


$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-7,00} \quad \text{bufferformule: } 10^{-7,00} = 6,2 \cdot 10^{-8} \times \frac{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]}{[\text{HPO}_4^{2-}]}$$

$$\text{H}_2\text{PO}_4^- / \text{HPO}_4^{2-} = 10^{-7,00} / 6,2 \cdot 10^{-8} = 1,6$$

- b Bereken de molverhouding tussen ethaanzuur (CH_3COOH) en natriumacetaat (CH_3COONa) die nodig is om een buffer te bereiden met $\text{pH} = 5,50$.

Evenwicht:



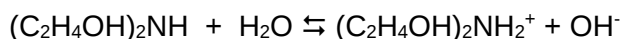
$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-5,50} = 3,16 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L}$$

$$\text{bufferformule: } 3,16 \cdot 10^{-6} = 1,7 \cdot 10^{-5} \times \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}$$

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] / [\text{CH}_3\text{COO}^-] = 3,16 \cdot 10^{-6} / 1,7 \cdot 10^{-5} = 0,19$$

Opgave 19

In de klinische chemie wordt veel gebruik gemaakt van di-ethanolamine als buffer. Door toevoeging van zoutzuur wordt uit het amine een ammoniumion gevormd. Het volgende evenwicht is vervolgens aanwezig:



Als men 21,0 g van het amine oplost en 12,5 mL zoutzuur met $c(\text{HCl}) = 4,00 \text{ mol/L}$ toevoegt, verkrijgt men een pH van 9,36.

Bereken de $\text{p}K_z$ van het di-ethanolammoniumion.

$$n(\text{HCl}) = 12,5 \text{ mL} \times 4 \text{ mmol/mL} = 50 \text{ mmol HCl}$$

$$n(\text{amine}) = 21,0 \text{ g} / 105 \text{ g/mol} = 0,20 \text{ mol} = 200 \text{ mmol}$$

50 mmol van het amine reageert met HCl er ontstaat 50 mmol di-ethanolammoniumion.

Over blijft $200 \text{ mmol} - 50 \text{ mmol} = 150 \text{ mmol}$ amine.

$$n_z = 50 \text{ mmol ammonium}$$

$$n_b = 150 \text{ mmol amine}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-9,36} = 4,37 \cdot 10^{-10} \text{ mol/L}$$

$$4,37 \cdot 10^{-10} = K_z \times 50 / 150 \quad \blacktriangleright \quad K_z = 1,31 \cdot 10^{-9} \quad \text{p}K_z = -\log 1,31 \cdot 10^{-9} = 8,88$$

Opgave 20

Van een ethaanzuuroplossing met $c(\text{HAc}) = 0,0800 \text{ mol/L}$ wordt 20,00 mL gepipetteerd in een bekersglas. Er wordt water toegevoegd tot het vloeistofvolume 200 mL is.

Dan wordt getitreerd met natronloog met $c(\text{NaOH}) = 0,100 \text{ mol/L}$.

Ethaanzuur: $K_z = 1,7 \cdot 10^{-5}$

Bereken de pH in de oplossing na toevoeging van de volgende volumes titreervloeistof:

a 0,00 mL

Zwak zuur in de oplossing: $c(\text{HAc}) = 0,0800 \text{ mol/L} \times 20,0 / 200 = 0,0080 \text{ mol/L}$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{K_z \cdot c_z}$$

$$\blacktriangleright [\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{1,7 \cdot 10^{-5} \times 0,080} = 3,68 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$$

pH = 3,43

b 4,00 mL

Bufferoplossing:

Bij de start: $n_z = 20,0 \text{ mL} \times 0,080 \text{ mmol/mL} = 1,60 \text{ mmol HAc}$

NaOH toegevoegd: $4,00 \text{ mL} \times 0,100 \text{ mmol/mL} = 0,40 \text{ mmol NaOH}$

Er wordt 0,40 mmol HAc door OH^- omgezet tot Ac^- .

$$n_z = 1,60 \text{ mmol} - 0,40 \text{ mmol} = 1,20 \text{ mmol HAc}$$

$$n_b = 0,40 \text{ mmol Ac}^-$$

$$\text{Bufferformule: } [\text{H}_3\text{O}^+] = 1,7 \cdot 10^{-5} \times 1,20 / 0,40 = 5,10 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L} \quad \text{pH} = 4,29$$

c 8,00 mL

Bufferoplossing:

Bij de start: $n_z = 1,60 \text{ mmol HAc}$

NaOH toegevoegd: $8,00 \text{ mL} \times 0,100 \text{ mmol/mL} = 0,80 \text{ mmol NaOH}$

Er wordt 0,80 mmol HAc door OH^- omgezet tot Ac^- .

$$n_z = 1,60 \text{ mmol} - 0,80 \text{ mmol} = 0,80 \text{ mmol HAc}$$

$$n_b = 0,80 \text{ mmol Ac}^-$$

$$\text{Bufferformule: } [\text{H}_3\text{O}^+] = 1,7 \cdot 10^{-5} \times 0,8 / 0,8 = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L} \quad \text{pH} = 4,77$$

► halverwege de titratie $\text{pH} = \text{pK}_z$

d **12,00 mL**

Bufferoplossing:

Bij de start: $n_z = 1,60 \text{ mmol HAc}$

NaOH toegevoegd: $12,00 \text{ mL} \times 0,100 \text{ mmol/mL} = 1,20 \text{ mmol NaOH}$

Er is $1,20 \text{ mmol HAc}$ door OH^- omgezet tot Ac^- .

$$n_z = 1,60 \text{ mmol} - 1,20 \text{ mmol} = 0,40 \text{ mmol HAc}$$

$$n_b = 1,20 \text{ mmol Ac}^-$$

$$\text{Bufferformule: } [\text{H}_3\text{O}^+] = 1,7 \cdot 10^{-5} \times 0,40 / 1,20 = 5,7 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L} \quad \text{pH} = 5,25$$

e **16,00 mL**

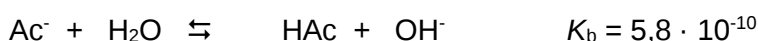
Bij de start: $n_z = 1,60 \text{ mmol HAc}$

NaOH toegevoegd: $16,00 \text{ mL} \times 0,100 \text{ mmol/mL} = 1,60 \text{ mmol NaOH}$

Alle azijnzuur is omgezet tot Ac^- . We hebben een oplossing van $1,60 \text{ mmol NaAc}$ in:

$$200 + 16 = 216 \text{ mL.}$$

Ac^- is een zwakke base $c_b = 1,60 \text{ mmol} / 216 \text{ mL} = 0,0074 \text{ mmol/mL (mol/L)}$



Dus:

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{K_b \cdot c_b}$$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{5,8 \cdot 10^{-10} \times 0,0074} = 2,07 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L}$$

$$\text{pOH} = 5,68 \quad \text{►} \quad \text{pH} = 14,00 - 5,68 = \mathbf{8,32}$$

f **17,00 mL**

Bij de start: $n_z = 1,60 \text{ mmol HAc}$

NaOH toegevoegd: $17,00 \text{ mL} \times 0,100 \text{ mmol/mL} = 1,70 \text{ mmol NaOH}$

Alle azijnzuur is omgezet tot Ac^- .

We hebben een oplossing van $1,60 \text{ mmol NaAc}$ én een overmaat NaOH:

$$1,70 \text{ mmol} - 1,60 \text{ mmol} = 0,10 \text{ mmol OH}^- \text{ in } 217 \text{ mL.}$$

De pH wordt volledig bepaald door het sterke hydroxide:

Uitwerkingen van de opgaven uit:

BASISCHEMIE voor analisten ISBN: 9789491764547, 4^e druk, Uitgeverij Syntax Media

Hoofdstuk 20 Zuur- en base-evenwichten

bladzijde 18

$$[\text{OH}^-] = 0,10 \text{ mmol} / 217 \text{ mL} = 4,61 \cdot 10^{-4} \text{ mmol/mL (mol/L)}$$

$$\text{pOH} = -\log 4,61 \cdot 10^{-4} = 3,34 \quad \blacktriangleright \quad \text{pH} = 14,00 - 3,34 = \mathbf{10,66}$$

Opgave 21

250 mL methaanzuur (HCOOH) oplossing, die 2,50 mmol HCOOH bevat, wordt getitreerd. De titreervloeistof bevat NaOH met een concentratie van 0,1000 mol/L.

$$K_z = 1,8 \cdot 10^{-4}$$

Bereken de pH van de oplossing na toevoeging van de volgende volumes titreervloeistof:

a 0,00 mL

Zwak zuur in de oplossing: $c(\text{HCOOH}) = 2,50 \text{ mmol} / 250 \text{ mL} = 0,010 \text{ mmol/mL}$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{K_z \cdot c_z}$$

$$\blacktriangleright [\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{1,8 \cdot 10^{-4} \times 0,010} = 1,34 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$\mathbf{\text{pH} = 2,87}$$

b 5,00 mL

Bufferoplossing:

Bij de start: $n_z = 2,50 \text{ mmol HCOOH}$

NaOH toegevoegd: $5,00 \text{ mL} \times 0,1000 \text{ mmol/mL} = 0,5000 \text{ mmol NaOH}$

Er wordt 0,50 mmol HCOOH door OH^- omgezet tot HCOO^- .

$$n_z = 2,50 \text{ mmol} - 0,50 \text{ mmol} = 2,00 \text{ mmol HCOOH}$$

$$n_b = 0,50 \text{ mmol HCOO}^-$$

$$\text{Bufferformule: } [\text{H}_3\text{O}^+] = 1,8 \cdot 10^{-4} \times 2,00 / 0,50 = 7,20 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L} \quad \mathbf{\text{pH} = 3,14}$$

c 12,50 mL

Bufferoplossing:

Bij de start: $n_z = 2,50 \text{ mmol HCOOH}$

NaOH toegevoegd: $12,50 \text{ mL} \times 0,1000 \text{ mmol/mL} = 1,250 \text{ mmol NaOH}$

Er wordt 1,250 mmol HCOOH door OH^- omgezet tot HCOO^- .

$$n_z = 2,50 \text{ mmol} - 1,250 \text{ mmol} = 1,250 \text{ mmol HCOOH}$$

$$n_b = 1,250 \text{ mmol HCOO}^-$$

Bufferformule: $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1,8 \cdot 10^{-4} \times 1,25 / 1,25 = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$ **pH = 3,74**

d **20,00 mL**

Bufferoplossing:

Bij de start: $n_z = 2,50 \text{ mmol HCOOH}$

NaOH toegevoegd: $20,00 \text{ mL} \times 0,1000 \text{ mmol/mL} = 2,00 \text{ mmol NaOH}$

Er wordt 2,00 mmol HCOOH door OH^- omgezet tot HCOO^- .

$n_z = 2,50 \text{ mmol} - 2,00 \text{ mmol} = 0,500 \text{ mmol HCOOH}$

$n_b = 2,00 \text{ mmol HCOO}^-$

Bufferformule: $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1,8 \cdot 10^{-4} \times 0,50 / 2,00 = 4,5 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$ **pH = 4,35**

e **25,00 mL**

Bij de start: $n_z = 2,50 \text{ mmol HCOOH}$

NaOH toegevoegd: $25,00 \text{ mL} \times 0,1000 \text{ mmol/mL} = 2,50 \text{ mmol NaOH}$

Er wordt 2,50 mmol HCOOH door OH^- omgezet tot HCOO^- .

$n_z = 2,50 \text{ mmol} - 2,50 \text{ mmol} = 0,000 \text{ mmol HCOOH}$

$n_b = 2,50 \text{ mmol HCOO}^-$

We hebben nu een oplossing van natriumformiaat (HCOONa) van 2,50 mmol in $250 + 25 = 275 \text{ mL}$. $[\text{HCOO}^-] = 2,50 / 275 = 9,09 \cdot 10^{-3} \text{ mmol/mL (mol/L)}$

Het formiaat-ion is een zwakke base, dus:



$$[\text{OH}^-] = \sqrt{K_b \cdot c_b}$$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{5,6 \cdot 10^{-11} \times 9,09 \cdot 10^{-3}} = 7,13 \cdot 10^{-7} \text{ mol/L}$$

$$\text{pOH} = 6,15 \quad \blacktriangleright \quad \text{pH} = 14,00 - 6,15 = 7,85$$

f **27,00 mL**

Bij de start: $n_z = 2,50 \text{ mmol HCOOH}$

NaOH toegevoegd: $27,00 \text{ mL} \times 0,100 \text{ mmol/mL} = 2,70 \text{ mmol NaOH}$

Alle HCOOH is omgezet tot HCOO^- .

We hebben een oplossing van 2,50 mmol HCOONa én een overmaat NaOH:
2,70 mmol - 2,50 mmol = 0,20 mmol OH⁻ in 277 mL.

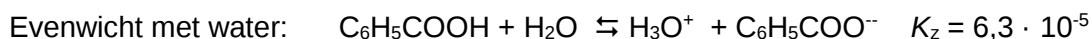
De pH wordt volledig bepaald door het sterke hydroxide:

$$[\text{OH}^-] = 0,20 \text{ mmol} / 277 \text{ mL} = 7,22 \cdot 10^{-4} \text{ mmol/mL (mol/L)}$$

$$\text{pOH} = -\log 7,22 \cdot 10^{-4} = 3,14 \quad \blacktriangleright \quad \text{pH} = 14,00 - 3,14 = \mathbf{10,86}$$

Opgave 22

Bij de titratie van benzeencarbonzuur (C₆H₅COOH) wordt 10,00 mL oplossing met $c_z = 0,500$ mol/L tot 100 mL verdund en getitreerd met natronloog met een concentratie van 0,200 mol/L.



Bereken de pH van de oplossing na toevoeging van de **volgende volumes** natronloog:

a **0,00 mL** Zwak zuur in de oplossing:

$$c_z = 10,0 \text{ mL} \times 0,50 \text{ mmol/mL} = 5,00 \text{ mmol} \quad \blacktriangleright \quad 5,00 \text{ mmol} / 100 \text{ mL} = 0,0500 \text{ mmol/mL}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{K_z \cdot c_z}$$

$$\blacktriangleright [\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{6,3 \cdot 10^{-5} \times 0,050} = 1,77 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$\mathbf{\text{pH} = 2,75}$$

b **5,00 mL**

Bufferoplossing:

Bij de start: $n_z = 5,00 \text{ mmol C}_6\text{H}_5\text{COOH}$

NaOH toegevoegd: $5,00 \text{ mL} \times 0,200 \text{ mmol/mL} = 1,00 \text{ mmol NaOH}$

Er wordt 1,00 mmol C₆H₅COOH door OH⁻ omgezet tot C₆H₅COO⁻.

We hebben nu een buffer met:

$$n_z = 5,00 \text{ mmol} - 1,00 \text{ mmol} = 4,00 \text{ mmol C}_6\text{H}_5\text{COOH}$$

$$n_b = 1,00 \text{ mmol C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$$

$$\text{Bufferformule: } [\text{H}_3\text{O}^+] = 6,3 \cdot 10^{-5} \times 4,00 / 1,00 = 2,52 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$$

$$\text{pH} = 3,60$$

c 12,50 mL

Bufferoplossing:

Bij de start: $n_z = 5,00 \text{ mmol C}_6\text{H}_5\text{COOH}$

NaOH toegevoegd: $12,50 \text{ mL} \times 0,200 \text{ mmol/mL} = 2,50 \text{ mmol NaOH}$

Er wordt 2,50 mmol $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ door OH^- omgezet tot $\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$.

We hebben nu een buffer met:

$$n_z = 5,00 \text{ mmol} - 2,50 \text{ mmol} = 2,50 \text{ mmol C}_6\text{H}_5\text{COOH}$$

$$n_b = 2,50 \text{ mmol C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$$

Je ziet het al: $n_z = n_b$ en dus geldt: $\text{pH} = \text{p}K_z = -\log 6,3 \cdot 10^{-5}$

$$\text{pH} = 4,20$$

d 20,00 mL

Bufferoplossing:

Bij de start: $n_z = 5,00 \text{ mmol C}_6\text{H}_5\text{COOH}$

NaOH toegevoegd: $20,00 \text{ mL} \times 0,200 \text{ mmol/mL} = 4,00 \text{ mmol NaOH}$

Er wordt 4,00 mmol $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ door OH^- omgezet tot $\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$.

We hebben nu een buffer met:

$$n_z = 5,00 \text{ mmol} - 4,00 \text{ mmol} = 1,00 \text{ mmol C}_6\text{H}_5\text{COOH}$$

$$n_b = 4,00 \text{ mmol C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$$

$$\text{Bufferformule: } [\text{H}_3\text{O}^+] = 6,3 \cdot 10^{-5} \times 1,00 / 4,00 = 1,58 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$$

$$\text{pH} = 4,80$$

e 25,00 mL

Bij de start: $n_z = 5,00 \text{ mmol C}_6\text{H}_5\text{COOH}$

NaOH toegevoegd: $25,00 \text{ mL} \times 0,200 \text{ mmol/mL} = 5,00 \text{ mmol NaOH}$

Er wordt 5,00 mmol $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ door OH^- omgezet tot $\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$.

We hebben nu een oplossing van natriumbenzoaat ($\text{C}_6\text{H}_5\text{COONa}$) van 5,00 mmol in $100 + 25 = 125$ mL. $[\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-] = 5,00 / 125 = 0,0400$ mmol/mL (mol/L)

Het benzoaat-ion is een zwakke base, dus:



$$[\text{OH}^-] = \sqrt{K_b \cdot c_b}$$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{1,6 \cdot 10^{-10} \times 0,0400} = 2,53 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L}$$

$$\text{pOH} = 5,60 \quad \blacktriangleright \quad \text{pH} = 14,00 - 5,60 = \mathbf{8,40}$$

f **27,00 mL**

Bij de start: $n_z = 5,00$ mmol $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$

NaOH toegevoegd: $27,00 \text{ mL} \times 0,200 \text{ mmol/mL} = 5,40$ mmol NaOH

Alle $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ is omgezet tot $\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$.

We hebben een oplossing van 5,00 mmol $\text{C}_6\text{H}_5\text{COONa}$ én een overmaat NaOH:

$5,40 \text{ mmol} - 5,00 \text{ mmol} = 0,40 \text{ mmol OH}^-$ in 127 mL.

De pH wordt volledig bepaald door het sterke hydroxide:

$$[\text{OH}^-] = 0,40 \text{ mmol} / 127 \text{ mL} = 3,15 \cdot 10^{-3} \text{ mmol/mL (mol/L)}$$

$$\text{pOH} = -\log(3,15 \cdot 10^{-3}) = 2,50 \quad \blacktriangleright \quad \text{pH} = 14,00 - 2,50 = \mathbf{11,50}$$

Opgave 23

Bij de bepaling van melkzuur ($\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$ $\text{p}K_z = 3,86$) titreren we 200 mL oplossing ($c_z = 0,025$ mol/L) met natronloog ($c(\text{NaOH}) = 0,200$ mol/L).

Bereken de pH van de oplossing na toevoeging van de volgende volumes titreervloeistof:

a **0,00 mL**

Zwak zuur in de oplossing:

$$c_z = 0,025 \text{ mmol/mL} \quad K_z = 10^{-\text{p}K_z} = 10^{-3,86} = 1,38 \cdot 10^{-4}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{K_z \cdot c_z}$$

$$\blacktriangleright [\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{1,38 \cdot 10^{-4} \times 0,025} = 1,86 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$\text{pH} = 2,73$$

b 5,00 mL

Bufferoplossing:

Bij de start: $n_z = 200 \text{ mL} \times 0,025 \text{ mmol/mL} = 5,00 \text{ mmol}$ melkzuur

NaOH toegevoegd: $5,00 \text{ mL} \times 0,200 \text{ mmol/mL} = 1,00 \text{ mmol}$ NaOH

Er wordt 1,00 mmol melkzuur door OH^- omgezet tot lactaat (zuurrest van melkzuur).

We hebben nu een buffer met:

$$n_z = 5,00 \text{ mmol} - 1,00 \text{ mmol} = 4,00 \text{ mmol melkzuur}$$

$$n_b = 1,00 \text{ mmol zuurrest-ion}$$

$$\text{Bufferformule: } [\text{H}_3\text{O}^+] = 1,38 \cdot 10^{-4} \times 4,00 / 1,00 = 5,52 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$$

$$\text{pH} = 3,26$$

c 12,50 mL

Bufferoplossing:

Bij de start: $n_z = 5,00 \text{ mmol}$ melkzuur

NaOH toegevoegd: $12,50 \text{ mL} \times 0,200 \text{ mmol/mL} = 2,50 \text{ mmol}$ NaOH

Er wordt 2,50 mmol melkzuur door OH^- omgezet tot lactaat-ion.

We hebben nu een buffer met:

$$n_z = 5,00 \text{ mmol} - 2,50 \text{ mmol} = 2,50 \text{ mmol zuur}$$

$$n_b = 2,50 \text{ mmol base}$$

Je ziet het al: $n_z = n_b$ en dus geldt: $\text{pH} = \text{p}K_z = -\log 1,38 \cdot 10^{-4}$

$$\text{pH} = 3,86$$

d 20,00 mL

Bufferoplossing:

Bij de start: $n_z = 5,00 \text{ mmol}$ melkzuur

NaOH toegevoegd: $20,00 \text{ mL} \times 0,200 \text{ mmol/mL} = 4,00 \text{ mmol}$ NaOH

Er wordt 4,00 mmol melkzuur door OH^- omgezet tot lactaat (bijbehorende base,

zuurrest-ion).

We hebben nu een buffer met:

$$n_z = 5,00 \text{ mmol} - 4,00 \text{ mmol} = 1,00 \text{ mmol zuur}$$

$$n_b = 4,00 \text{ mmol base}$$

$$\text{Bufferformule: } [\text{H}_3\text{O}^+] = 1,38 \cdot 10^{-4} \times 1,00 / 4,00 = 3,45 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$$

$$\text{pH} = 4,46$$

e 25,00 mL

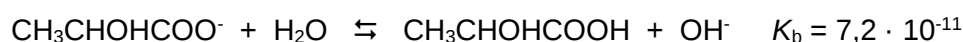
Bij de start: $n_z = 5,00 \text{ mmol}$ melkzuur

NaOH toegevoegd: $25,00 \text{ mL} \times 0,200 \text{ mmol/mL} = 5,00 \text{ mmol NaOH}$

Er wordt $5,00 \text{ mmol C}_6\text{H}_5\text{COOH}$ door OH^- omgezet tot $\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$.

We hebben nu een oplossing van natriumlactaat ($\text{CH}_3\text{CHOHCOONa}$) van $5,00 \text{ mmol}$ in $200 + 25 = 225 \text{ mL}$. $[\text{CH}_3\text{CHOHCOO}^-] = 5,00 / 225 = 0,0222 \text{ mmol/mL (mol/L)}$

Het lactaat-ion is een zwakke base, dus:



$$[\text{OH}^-] = \sqrt{K_b \cdot c_b}$$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{7,2 \cdot 10^{-11} \times 0,0222} = 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L}$$

$$\text{pOH} = 5,90 \quad \blacktriangleright \quad \text{pH} = 14,00 - 5,90 = \mathbf{8,10}$$

f 27,00 mL

Bij de start: $n_z = 5,00 \text{ mmol C}_6\text{H}_5\text{COOH}$

NaOH toegevoegd: $27,00 \text{ mL} \times 0,200 \text{ mmol/mL} = 5,40 \text{ mmol NaOH}$

Alle melkzuur is omgezet tot lactaat ($\text{CH}_3\text{CHOHCOO}^-$).

We hebben een oplossing van $5,00 \text{ mmol CH}_3\text{CHOHCOONa}$ én een overmaat NaOH:
 $5,40 \text{ mmol} - 5,00 \text{ mmol} = 0,40 \text{ mmol OH}^-$ in 227 mL .

De pH wordt volledig bepaald door het sterke hydroxide:

$$[\text{OH}^-] = 0,40 \text{ mmol} / 227 \text{ mL} = 1,76 \cdot 10^{-3} \text{ mmol/mL (mol/L)}$$

$$\text{pOH} = -\log = 1,76 \cdot 10^{-3} = 2,75 \quad \blacktriangleright \quad \text{pH} = 14,00 - 2,75 = \mathbf{11,25}$$

Opgave 24

We titreren 1,00 mmol ammoniak (NH_3) in 100 mL met zoutzuur met $c(\text{HCl}) = 0,1000 \text{ mol/L}$.
Bereken de pH van de oplossing na toevoeging van de **volgende volumes** titreervloeistof:

NH_3 is een base: $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$

Voor NH_3 : $K_b = 1,8 \cdot 10^{-5}$

voor NH_4^+ : $K_z = 5,6 \cdot 10^{-10}$

a 0,00 mL

We hebben een oplossing van de zwakke base NH_3 .

$$c_b = 1,00 \text{ mmol} / 100 \text{ mL} = 0,0100 \text{ mmol/mL (mol/L)}$$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{K_b \cdot c_b}$$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{1,8 \cdot 10^{-5} \times 0,0100} = 4,24 \cdot 10^{-4} \text{ mol/L}$$

$$\text{pOH} = -\log(4,24 \cdot 10^{-4}) = 3,37 \quad \text{pH} = 14,00 - 3,37 = \mathbf{10,63}$$

b 5,00 mL

Bufferoplossing:

Bij de start: $n_b = 1,00 \text{ mmol } \text{NH}_3$

HCl toegevoegd: $5,00 \text{ mL} \times 0,1000 \text{ mmol/mL} = 0,500 \text{ mmol}$

Er wordt $0,500 \text{ mmol } \text{NH}_3$ door H_3O^+ omgezet tot NH_4^+ .

We hebben dus een buffer met:

$$n_b = 1,00 \text{ mmol} - 0,500 \text{ mmol} = 0,500 \text{ mmol } \text{NH}_3$$

$$n_z = 0,500 \text{ mmol } \text{NH}_4^+$$

Ook al is het een buffer in basisch milieu, we kunnen de “zure” bufferformule gebruiken:

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = K_z \times \frac{n_z}{n_b}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 5,6 \cdot 10^{-10} \times 0,500 / 0,500 = 5,6 \cdot 10^{-10} \text{ mol/L} \quad \text{pH} = \mathbf{9,25}$$

c 10,00 mL

Uitwerkingen van de opgaven uit:

BASISCHEMIE voor analisten ISBN: 9789491764547, 4^e druk, Uitgeverij Syntax Media

Hoofdstuk 20 Zuur- en base-evenwichten

bladzijde 26

Toegevoegd: $10,00 \times 0,100 = 1,00$ mmol HCl. Precies zoveel als er NH_3 aanwezig was. Alle base (NH_3) is juist omgezet tot NH_4^+ . We hebben een oplossing van 1,00 mmol NH_4^+ in 110 mL.

$$c_z = 1,00 / 110 = 9,1 \cdot 10^{-3} \text{ mmol/mL (mol/L)}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{K_z \cdot c_z}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{5,6 \cdot 10^{-10} \times 9,1 \cdot 10^{-3}} = 2,26 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L} \quad \blacktriangleright \quad \text{pH} = 5,65$$

d 11,00 mL

Toegevoegd: $11,00 \times 0,100 = 1,10$ mmol HCl. Alle base (NH_3) is omgezet tot NH_4^+ . We hebben een overmaat zoutzuur: $1,10 \text{ mmol HCl} - 1,00 \text{ mmol NH}_3 = 0,100 \text{ mmol HCl}$.

$$0,100 \text{ mmol HCl in 111 mL.} \quad \blacktriangleright \quad [\text{H}_3\text{O}^+] = 0,10 / 111 \text{ mL} = 9,01 \cdot 10^{-4} \quad \blacktriangleright \quad \text{pH} = 3,05$$

Opgave 25

We titreren 2,50 mmol fenolaat-ion ($\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-$) in 200 mL met zoutzuur met $c(\text{HCl}) = 0,1000$ mol/L.

Het fenolaat-ion is een base: $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + \text{OH}^-$

$$\text{Voor } \text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-: \quad K_b = 9,8 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{voor } \text{C}_6\text{H}_5\text{OH}: \quad K_z = 1,0 \cdot 10^{-10}$$

Bereken de pH van de oplossing na toevoeging van de volgende volumes titreervloeistof:

a 0,00 mL

We hebben een oplossing van de zwakke base $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-$

$$c_b = 2,50 \text{ mmol} / 200 \text{ mL} = 0,0125 \text{ mmol/mL (mol/L)}$$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{K_b \cdot c_b}$$

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{9,8 \cdot 10^{-5} \times 0,0125} = 1,11 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L}$$

$$\text{pOH} = -\log(1,11 \cdot 10^{-3}) = 2,96 \quad \text{pH} = 14,00 - 2,96 = 11,04$$

b 5,00 mL

Bufferoplossing:

Bij de start: $n_b = 2,50 \text{ mmol } \text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-$

HCl toegevoegd: $5,00 \text{ mL} \times 0,100 \text{ mmol/mL} = 0,500 \text{ mmol HCl}$

Er wordt 0,50 mmol fenolaat door H_3O^+ omgezet tot fenol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$).

We hebben nu een buffer met:

$n_z = 0,50 \text{ mmol fenol}$

$n_b = 2,50 \text{ mmol} - 0,500 = 2,00 \text{ mmol } \text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-$

Bufferformule: $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1,0 \cdot 10^{-10} \times 0,50 / 2,00 = 2,5 \cdot 10^{-11} \text{ mol/L}$ **pH = 10,60**

c **12,50 mL**

Bufferoplossing:

Bij de start: $n_b = 2,50 \text{ mmol } \text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-$

HCl toegevoegd: $12,50 \text{ mL} \times 0,100 \text{ mmol/mL} = 1,250 \text{ mmol HCl}$

Er is 1,250 mmol fenolaat door H_3O^+ omgezet tot fenol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$).

We hebben nu een buffer met:

$n_z = 1,25 \text{ mmol fenol}$

$n_b = 2,50 \text{ mmol} - 1,25 = 1,25 \text{ mmol } \text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-$

Bufferformule: $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1,0 \cdot 10^{-10} \times 1,25 / 1,25 = 1,0 \cdot 10^{-10} \text{ mol/L}$ **pH = 10,00**

d **20,00 mL**

Bufferoplossing:

Bij de start: $n_b = 2,50 \text{ mmol } \text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-$

HCl toegevoegd: $20,00 \text{ mL} \times 0,100 \text{ mmol/mL} = 2,000 \text{ mmol HCl}$

Er is 2,00 mmol fenolaat door H_3O^+ omgezet tot fenol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$).

We hebben nu een buffer met:

$n_z = 2,00 \text{ mmol fenol}$

$n_b = 2,50 \text{ mmol} - 2,00 = 0,50 \text{ mmol } \text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-$

Bufferformule: $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1,0 \cdot 10^{-10} \times 2,00 / 0,50 = 4,0 \cdot 10^{-10} \text{ mol/L}$ **pH = 9,40**

e **25,00 mL**

Bij de start was er: $n_b = 2,50 \text{ mmol } \text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-$

Uitwerkingen van de opgaven uit:

BASISCHEMIE voor analisten ISBN: 9789491764547, 4^e druk, Uitgeverij Syntax Media

Hoofdstuk 20 Zuur- en base-evenwichten

bladzijde 28

HCl toegevoegd: $25,00 \text{ mL} \times 0,100 \text{ mmol/mL} = 2,50 \text{ mmol HCl}$

Precies evenveel HCl toegevoegd als er base aanwezig was. We zijn in het titratie-eindpunt. Er is nu een oplossing van fenol met $c_z = 2,50 \text{ mmol} / 225 \text{ mL} = 0,011 \text{ mmol/mL}$.

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{K_z \cdot c_z}$$

$$\blacktriangleright [\text{H}_3\text{O}^+] = \sqrt{1,0 \cdot 10^{-10} \times 0,011} = 1,05 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L}$$

pH = 5,98

f 26,00 mL

Toegevoegd: $26,00 \times 0,100 = 2,60 \text{ mmol HCl}$. Alle base is omgezet tot fenol. We hebben een overmaat zoutzuur: $2,60 \text{ mmol HCl} - 2,50 \text{ mmol} = 0,100 \text{ mmol HCl}$.

0,100 mmol HCl in 226 mL. $\blacktriangleright [\text{H}_3\text{O}^+] = 0,10 / 226 \text{ mL} = 4,42 \cdot 10^{-4}$ $\blacktriangleright \text{pH} = 3,35$