

### Opgave 1

- 1 Ga na of de volgende zuren en basen met elkaar kunnen reageren. Zo ja, geef de reactievergelijking. Zo nee, leg duidelijk uit waarom niet.
- a. een oplossing van waterstoffluoride met natriumwaterstofoxalaat-oplossing.  
 HF staat in tabel 49 boven  $\text{HC}_2\text{O}_4^{2-}$ . De reactie kan dus plaatsvinden  

$$\text{HF}(\text{aq}) + \text{C}_2\text{O}_4^{2-} \rightleftharpoons \text{F}^-(\text{aq}) + \text{HC}_2\text{O}_4^{2-}(\text{aq})$$
 zuur 1      base 2      base 1      zuur 2  
 HF (zuur 1) is dus sterker zuur dan  $\text{HC}_2\text{O}_4^{2-}$  (zuur 2) en de reactie verloopt naar rechts. Theoretisch zou  $\text{HC}_2\text{O}_4^{2-}$  nog een  $\text{H}^+$  kunnen opnemen, maar  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  is een sterker zuur dan HF, dus de reactie tussen HF en  $\text{HC}_2\text{O}_4^{2-}$  verloopt niet.
- b. Een oplossing van ammoniumchloride met een oplossing van natriumacetaat.  
 $\text{NH}_4^+$  staat in tabel 49 onder  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . De reactie verloopt dus niet.  

$$\text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{NH}_3(\text{aq}) + \text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$$
 zuur 1      base 2      base 1      zuur 2  
 $\text{NH}_4^+$  (zuur 1) is een zwakker zuur dan  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (zuur 2). De teruggaande reactie (van links naar rechts) zou wel verlopen
- 2 50 mL natronloog (natriumhydroxide-oplossing) met  $\text{pH} = 11$  wordt gevoegd bij 15 mL zoutzuur met  $\text{pH} = 2,0$  en het geheel wordt aangevuld tot 1,00 L.  
 Bereken de pH van de aldus ontstane oplossing.  

$$\text{OH}^- + \text{H}_3\text{O}^+ \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}$$
natronloog:  
 $\text{pOH} = 14 - 11 = 3,0 \rightarrow [\text{OH}^-] = 1,0 \times 10^{-3} \text{ mmol/mL} \rightarrow \text{aantal mmol OH}^- = 50 \text{ mL} \times 1,0 \times 10^{-3} \text{ mmol/mL} = 5,0 \times 10^{-2} \text{ mmol OH}^-$ 
zoutzuur:  
 $\text{pH} = 2,0 \rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mmol/mL} \rightarrow \text{aantal mmol H}_3\text{O}^+ = 15 \text{ mL} \times 1,0 \times 10^{-2} \text{ mmol/mL} = 1,5 \times 10^{-1} \text{ mmol H}_3\text{O}^+$ 
 Uit de RV volgt dat  $5,0 \times 10^{-2} \text{ mmol OH}^-$  reageert met  $5,0 \times 10^{-2} \text{ mmol H}_3\text{O}^+$   
 In het totale volume van (50 mL + 15 mL = ) 65 mL blijft over:  $(1,5 \times 10^{-1}) - (5,0 \times 10^{-2}) \text{ mmol H}_3\text{O}^+ = 1,0 \times 10^{-1} \text{ mmol H}_3\text{O}^+ \rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 1,0 \times 10^{-1} \text{ mmol/65 mL} = 1,54 \times 10^{-3} \rightarrow \text{pH} = 2,8$   
 Na aanvullen tot 1,00 L wordt  $[\text{H}_3\text{O}^+] = 1,0 \times 10^{-1} \text{ mmol/1000 mL} = 1,0 \times 10^{-4} \text{ M} \rightarrow \text{pH} = 4,0$
- 3 Aan 100,0 mL van een sterk zuur met  $\text{pH} = 1,0$  wordt precies 0,84 g watervrij  $\text{NaHCO}_3$  toegevoegd.  
 Bereken de pH van de aldus ontstane oplossing. Neem aan dat het volume niet verandert.  

$$\text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+ \rightleftharpoons (\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow) \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$$
 $\text{pH} = 1,0 \rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 1,00 \times 10^{-1} \text{ mol/L} \rightarrow \text{hoeveelheid H}_3\text{O}^+ \text{ in } 100,0 \text{ mL} = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol.}$ 
 $0,84 \text{ g NaHCO}_3 = 0,84 \text{ g} : 84,01 \text{ g/mol} = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol.}$ 
 Uit de RV volgt dat  $1,00 \times 10^{-2} \text{ mol H}_3\text{O}^+$  reageert met  $1,00 \times 10^{-2} \text{ mol HCO}_3^-$ .  
 In de oplossing (100,0 mL) is  $1,00 \times 10^{-2} \text{ mol CO}_2$  ontstaan  $\rightarrow c(\text{CO}_2) = 1,00 \times 10^{-1} \text{ mol/L.}$   
 Aangezien  $\text{CO}_2$  een zwak zuur is, zal zich het volgende evenwicht instellen:  

$$\text{CO}_2(\text{aq}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) \text{ (of } \text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}))$$
 Stel  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  in de evenwichtssituatie op  $x$ . Uit de RV volgt nu:  $[\text{HCO}_3^-] = x$  en  $[\text{CO}_2] = c(\text{CO}_2) - x = 1,00 \times 10^{-1} - x$ . Invullen tabel levert:

Concentratie in M	$\text{CO}_2$	$\text{H}_3\text{O}^+$	$\text{HCO}_3^-$
begin	$1,00 \times 10^{-1}$	0,00	0,00
geïoniseerd/ gevormd	-x	x	x
evenwicht	$1,00 \times 10^{-1} - x$	x	x

Noteer  $K_z$ , vul deze in en bereken  $x$ :

$$K_z = \frac{[\text{HCO}_3^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CO}_2]} = 4,5 \cdot 10^{-7} = \frac{x^2}{1,00 \times 10^{-1} - x} \rightarrow x = [\text{H}_3\text{O}^+] = 2,1 \times 10^{-4} \rightarrow \text{pH} = 3,67$$

- 4 Een oplossing van 0,10 M azijnzuur (ethaanzuur) is voor 1,36% geprotolyseerd. Bereken:  
a. de pH van de oplossing;

Stel de RV op:  $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$  ( $\text{CH}_3\text{COOH}$  verder genoteerd als HZ)  
Geïoniseerd (1,36%):  $0,0136 \times 0,10 \text{ mol/L} = 1,36 \cdot 10^{-3} \text{ mol HZ}$ ; gevormd:  $= 1,36 \cdot 10^{-3} \text{ mol Z}^- = 1,36 \cdot 10^{-3} \text{ mol H}_3\text{O}^+$ .  $\rightarrow \text{pH} = -\log 1,36 \cdot 10^{-3} = 2,87$

- b.  $\text{p}K_Z$  en  $K_Z$ .

Vul de tabel in.

Concentratie in M	HZ	Z <sup>-</sup>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>
begin	$1,0 \times 10^{-1}$	0,0	0,0
geïoniseerd/ gevormd	$-1,36 \cdot 10^{-3}$	$1,36 \cdot 10^{-3}$	$1,36 \cdot 10^{-3}$
evenwicht	$9,86 \times 10^{-3}$	$1,36 \cdot 10^{-3}$	$1,36 \cdot 10^{-3}$

Noteer  $K_Z$  en vul deze in:

$$K_Z = \frac{[\text{HZ}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HZ}]} = \frac{(1,36 \cdot 10^{-3})^2}{9,86 \cdot 10^{-3}} = 1,88 \cdot 10^{-5} \quad \text{p}K_Z = 4,73$$

- 5 Leg uit hoe  $K_Z$  en  $\text{p}K_Z$  zullen veranderen bij temperatuurverhoging, als bekend is dat de protolysereactie van azijnzuur met water endotherm verloopt.

Bij temperatuurverhoging verschuift het evenwicht naar de endotherme kant, dus naar rechts.

$[\text{H}_3\text{O}^+]$  en  $[\text{Z}^-]$  nemen toe en  $[\text{HZ}]$  neemt af.  $K_Z$  neemt dus toe en  $\text{p}K_Z$  wordt zodoende kleiner.

- 6 Van een zuur wordt 0,48 g in 200 mL water opgelost.  $M_{\text{HZ}} = 96,0 \text{ g mol}^{-1}$  en  $K_Z = 1,6 \cdot 10^{-4}$ .

Bereken hoeveel mol  $\text{H}_3\text{O}^+$  en  $\text{OH}^-$  in de oplossing aanwezig zijn.

$$c_{\text{HZ}} = 0,48 \text{ g} : 96,0 \text{ g/mol} = 5,0 \times 10^{-3} \text{ mol} / 0,200 \text{ L} = 2,5 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$$



Concentratie in M	HZ	Z <sup>-</sup>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>
begin	$2,5 \times 10^{-2}$	0,0	0,0
geïoniseerd/ gevormd	-x	x	x
evenwicht	$2,5 \times 10^{-2} - x$	x	x

$$K_Z = \frac{[\text{HZ}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HZ}]} = \frac{x^2}{2,5 \cdot 10^{-2} - x} = 1,6 \cdot 10^{-4} \quad x = [\text{H}_3\text{O}^+] = 1,8 \cdot 10^{-3}$$

$$[\text{OH}^-] = \frac{K_w}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{1,0 \cdot 10^{-14}}{1,8 \cdot 10^{-3}} = 5,6 \cdot 10^{-12} \quad \text{In de oplossing van 200 mL aanwezig:}$$

aantal mol  $\text{H}_3\text{O}^+ = 1,8 \cdot 10^{-3} : 5 = 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$  en aantal mol  $\text{OH}^- = 5,6 \cdot 10^{-12} : 5 = 1,1 \cdot 10^{-12}$

- 7 Een zwak zuur waarvan 0,0200 mol is opgelost in 1,00 L water heeft  $\text{pH} = 4,0$ .

a. Bereken de pH als het volume door toevoeging van 9,00 L water op 10,0 L wordt gebracht.

Bereken eerst  $K_Z$ .  $\text{HZ}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{Z}^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) \rightarrow 1 \text{ mol HZ} \hat{=} 1 \text{ mol Z}^- \hat{=} 1 \text{ mol H}_3\text{O}^+$

Concentratie in M	HZ	Z <sup>-</sup>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>
begin	$2,00 \times 10^{-2}$	0,0	0,0
geïoniseerd/ gevormd	$-1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$

evenwicht	$1,99 \times 10^{-2}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$
-----------	-----------------------	---------------------	---------------------

$$K_Z = \frac{[\text{HZ}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HZ}]} = \frac{(1,0 \cdot 10^{-4})^2}{1,99 \cdot 10^{-2}} = 5,03 \cdot 10^{-7}$$

Er wordt 10 keer verdund. Hieruit volgt  $c_{\text{HZ}} = 0,00200 \text{ M} \rightarrow 1 \text{ mol HZ} \hat{=} 1 \text{ mol Z}^- \hat{=} 1 \text{ mol H}_3\text{O}^+ = x$   
Invullen in  $K_Z$  geeft:

$$K_Z = \frac{[\text{HZ}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HZ}]} = \frac{x^2}{2,0 \cdot 10^{-3} - x} = 5,03 \cdot 10^{-7} \quad x = [\text{H}_3\text{O}^+] = 3,1 \cdot 10^{-5} = [\text{Z}^-]$$

b. Bereken in beide gevallen de protolysegraad  $\alpha$ .

Berekening  $\alpha$  bij  $c_{\text{HZ}} = 0,0200 \text{ M}$  is:  $\alpha = (1,0 \cdot 10^{-4} : 2,00 \times 10^{-2}) \times 100\% = 0,5\%$

Berekening  $\alpha$  bij  $c_{\text{HZ}} = 0,0020 \text{ M}$  is:  $\alpha = (3,1 \cdot 10^{-5} : 2,00 \times 10^{-3}) \times 100\% = 1,6\%$

- 8 Bereken hoeveel gram zuiver azijnzuur men aan 2,0 L water moet toevoegen om een oplossing met pH = 5,0 te krijgen.

(CH<sub>3</sub>COOH wordt verder voorgesteld als HZ.)

Bereken m.b.v.  $K_Z$  eerst  $c_{\text{HZ}}$

$$K_Z = \frac{[\text{HZ}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HZ}]} = \frac{(1,0 \cdot 10^{-5})^2}{c_{\text{HZ}} - 1,0 \cdot 10^{-5}} = 1,8 \cdot 10^{-5} \quad c_{\text{HZ}} = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$$

In 2,0 L aanwezig  $2,0 \times 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L} = 3,2 \cdot 10^{-5} \text{ mol} = 3,2 \cdot 10^{-5} \text{ mol} \times 60,05 \text{ g/mol} = 1,9 \cdot 10^{-3} \text{ g}$  azijnzuur.

- 9 Van een zwak zuur lost men 0,50 mol op in 1,0 L water. de pH van de oplossing blijkt 3,6 te zijn.

Bereken  $pK_Z$  en  $\alpha$ .

$\text{HZ}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{Z}^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) \rightarrow 1 \text{ mol HZ} \hat{=} 1 \text{ mol Z}^- \hat{=} 1 \text{ mol H}_3\text{O}^+$

$c_{\text{HZ}} = 0,50 \text{ mol/L}$  en bij evenwicht is  $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{Z}^-] = 2,5 \cdot 10^{-4}$  en  $[\text{HZ}] = c_{\text{HZ}} - [\text{Z}^-] = 0,50 - 2,5 \cdot 10^{-4} = 0,50 \text{ mol/L}$ . Invullen in  $K_Z$  geeft:

$$K_Z = \frac{[\text{HZ}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HZ}]} = \frac{(2,5 \cdot 10^{-4})^2}{0,50 - 2,5 \cdot 10^{-4}} = 1,3 \cdot 10^{-7} \quad pK_Z = 6,9$$

- 10 Men lost 0,20 mol ammoniak op in 1,0 L water.

Bereken de pH.

$\text{NH}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq}) \rightarrow 1 \text{ mol NH}_3 \hat{=} 1 \text{ mol NH}_4^+ \hat{=} 1 \text{ mol OH}^-$

$c(\text{NH}_3) = 0,20 \text{ M}$

Concentratie in M	NH <sub>3</sub>	OH <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
begin	0,20	0,0	0,0
geïoniseerd/ gevormd	-x	x	x
evenwicht	0,20 - x	x	x

Noteer  $K_B$ , vul deze in en bereken  $x$ :

$$K_B = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]} = 1,8 \cdot 10^{-5} = \frac{x^2}{0,20 \times 10^{-1} - x} \quad x = [\text{OH}^-] = 4,5 \times 10^{-3}$$

$p\text{OH} = 2,7 \rightarrow p\text{H} = 14,0 - 2,7 = 11,3$

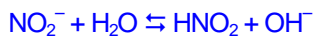
- 11 Bereken met de waarden van  $pK_Z$  of  $pK_B$ , of beredeneer, of in oplossing met elkaar reageren:

a.  $\text{H}_3\text{O}^+$  en  $\text{NO}_2^-$

K

$\text{H}_3\text{O}^+ + \text{NO}_2^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{HNO}_2$  kan opgebouwd worden gedacht uit:

zuur 1    base 2    base 1    zuur 2



Voor K geldt:

$$K = \frac{[\text{HNO}_2]}{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{NO}_2^-]} \quad \text{Vermenigvuldig } K \text{ met } \frac{[\text{OH}^-]}{[\text{OH}^-]} \quad K \text{ kan nu worden geschreven als:}$$

$$K = \frac{[\text{HNO}_2][\text{OH}^-]}{[\text{NO}_2^-]} \times \frac{1}{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]} = K_{\text{B}(\text{NO}_2^-)} \times \frac{1}{K_w} = \frac{1,8 \cdot 10^{-11}}{1,0 \cdot 10^{-14}} = 1,8 \cdot 10^3$$

$K > 1$ , dus ligt het evenwicht sterk naar rechts.

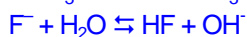
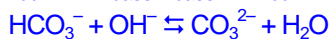
Men komt als volgt tot dezelfde conclusie.

$\text{NO}_2^-$  (base 1) staat boven  $\text{OH}^-$  (base 2).  $\text{OH}^-$  is dus een sterkere base dan  $\text{NO}_2^-$ . De reactie zal zodoende naar rechts verlopen. Bovendien staat  $\text{H}_3\text{O}^+$  (zuur 1) boven  $\text{HNO}_2$  (zuur 2) waaruit blijkt dat  $\text{H}_3\text{O}^+$  het sterkste zuur. Ook om deze reden zal de reactie dus naar rechts verlopen, immers de reactieproducten zijn een zwakker zuur en base dan de beginstoffen.

b     $\text{HCO}_3^-$  en  $\text{F}^-$

$\text{HCO}_3^- + \text{F}^- \rightleftharpoons \text{CO}_3^{2-} + \text{HF}$  kan opgebouwd worden gedacht uit:

zuur 1    base 2 base 1    zuur 1



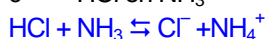
$$K = \frac{[\text{CO}_3^{2-}][\text{HF}]}{[\text{HCO}_3^-][\text{F}^-]} \quad \text{Vermenigvuldig } K \text{ met } \frac{[\text{OH}^-]}{[\text{OH}^-]} \quad K \text{ kan nu worden geschreven als:}$$

$$K = \frac{[\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-][\text{OH}^-]} \times \frac{[\text{HF}][\text{OH}^-]}{[\text{F}^-]} = \frac{1}{K_{\text{B}(\text{HCO}_3^-)}} \times K_{\text{B}(\text{F}^-)} = \frac{1,6 \cdot 10^{-11}}{2,2 \cdot 10^{-8}} = 7,3 \cdot 10^{-4}$$

$K$  is klein. Het evenwicht ligt sterk naar links. De reactie verloopt niet.

Redenering:  $\text{HCO}_3^-$  (zuur 1) staat onder  $\text{HF}$  (zuur 2) en  $\text{F}^-$  (base 2) staat boven  $\text{CO}_3^{2-}$  (base 1).  $\text{HCO}_3^-$  en  $\text{F}^-$  zijn beide zwakker dan  $\text{CO}_3^{2-}$  en  $\text{HF}$ . De reactie verloopt dus niet.

c     $\text{HCl}$  en  $\text{NH}_3$



zuur 1    base 1    base 2    zuur 2

$\text{HCl}$  is sterker dan  $\text{NH}_4^+$  en bovendien is  $\text{Cl}^-$  een zwakkere base dan  $\text{NH}_3$ .

## Opgave 2

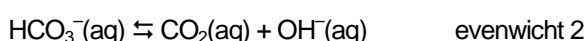
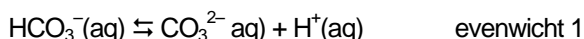
In water splitst  $\text{NaHCO}_3$  in  $\text{Na}^+$  - en  $\text{HCO}_3^-$  -ionen.

1    Geef de naam van het  $\text{HCO}_3^-$  -ion.

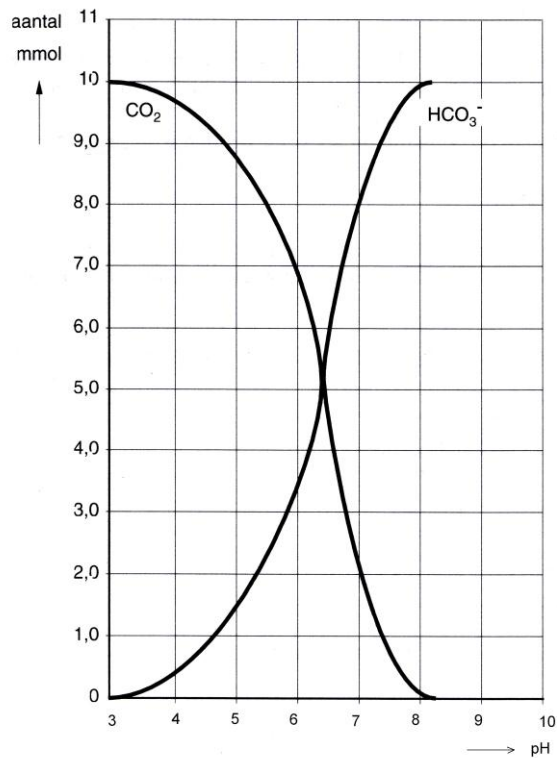
Waterstofcarbonaat.

$\text{HCO}_3^-$  is een deeltje dat zowel  $\text{H}^+$  kan opnemen als  $\text{H}^+$  kan afstaan.

In een oplossing met  $\text{HCO}_3^-$  hebben zich onderstaande venwichten ingesteld:



Men heft 1,0 L vaneen oplossing die 10 mmol  $\text{HCO}_3^-$  bevat. In deze oplossing leidt men telkens kleine hoeveelheden  $\text{HCl}$  gas. Na elke toevoeging bepaalt men het aantal mmol  $\text{HCO}_3^-$  en het aantal mmol  $\text{CO}_2$ . Tevens wordt dan de pH van de oplossingen bepaald. In onderstaand diagram zijn deze gegevens verwerkt.



- 2 Is de oplossing waar men bij deze proef mee begint zuur, neutraal of basisch. Geef met behulp van het diagram een verklaring voor je antwoord.  
 Voordat er zoutzuur wordt toegevoegd, is er 10 mmol HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> aanwezig. Uit de grafiek volgt dat de pH dan groter is dan 7 (ongeveer 8,2). De oplossing is dus basisch.

De evenwichtsvoorwaarde van evenwicht 2 luidt:

$$K = \frac{[\text{CO}_2][\text{OH}^-]}{[\text{HCO}_3^-]}$$

Met behulp van de gegevens uit het diagram is de waarde van  $K$  te berekenen.

- 3 Laat met een berekening zien dat  $\frac{[\text{CO}_2]}{[\text{HCO}_3^-]}$  bij pH = 6,7 gelijk is aan 0,4.

Bij pH = 6,7 wordt in de grafiek afgelezen dat  $[\text{CO}_2] = 3,0 \text{ mmol/L}$  en  $[\text{HCO}_3^-] = 7,0 \text{ mmol/L}$

Voor  $\frac{[\text{CO}_2]}{[\text{HCO}_3^-]}$  volgt dan  $3/7 = 0,4$

- 4 Bereken met behulp van de gegevens uit vraag 3 de waarde van  $K$ .

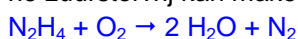
$$\text{pOH} = 14,0 - 6,7 = 7,3 \rightarrow [\text{OH}^-] = 10^{-7,3} = 5 \cdot 10^{-8}$$

$$K = \frac{[\text{CO}_2]}{[\text{HCO}_3^-]} \times [\text{OH}^-] = 0,4 \times 5 \cdot 10^{-8} = 2 \cdot 10^{-8}$$

### Opgave 3

Water dat in fabrieken gebruikt wordt voor het maken van stoom, zogenoemd ketelwater, mag geen corrosie veroorzaken. Daarom moet de opgeloste zuurstof verwijderd worden. Daartoe wordt aan het ketelwater een stof toegevoegd die snel en volledig met zuurstof kan reageren. Hydrazine (N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) is zo'n stof. Bij de reactie van hydrazine met opgeloste zuurstof ontstaan uitsluitend water en stikstof.

- 1 Bereken hoeveel liter water dat 0,75 mg opgeloste zuurstof per liter bevat, men met 1,0 kg hydrazine zuurstofvrij kan maken.



$$\text{Aanwezig } 0,75 \text{ mg O}_2/\text{L} = 0,75 \text{ mg} : 32,00 \text{ mg/mmol} = 2,34 \cdot 10^{-2} \text{ mmol O}_2$$

$$1 \text{ kg N}_2\text{H}_4 = 1,0 \cdot 10^6 \text{ mg} : 32,06 \text{ mg/mmol} = 3,12 \cdot 10^4 \text{ mmol N}_2\text{H}_4$$

Men kan dus  $3,12 \cdot 10^4 \text{ mmol N}_2\text{H}_4 : 2,34 \cdot 10^{-2} \text{ mmol O}_2/\text{L} = 1,3 \cdot 10^6 \text{ L O}_2$  vrijmaken met  $1,0 \text{ kg N}_2\text{H}_4$

De stof die aan ketelwater wordt toegevoegd om opgeloste zuurstof te verwijderen, wordt in overmaat toegevoegd. Het ketelwater mag echter niet zuur worden: in een zure oplossing wordt ijzer ook aangetast. Ook om deze reden kan hydrazine gebruikt worden: hydrazine is een zwakke base. Het geconjugeerde zuur van  $\text{N}_2\text{H}_4$  is  $\text{N}_2\text{H}_5^+$ .

De  $K_B$  van hydrazine bij 298 K is  $8,5 \cdot 10^{-7}$ .

- 2 Berekend de pH van een  $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ M}$  hydrazine-oplossing bij 298 K.

$\text{N}_2\text{H}_4$  en  $\text{N}_2\text{H}_5^+$  worden weergegeven als B en  $\text{HB}^+$  en stel  $[\text{OH}^-] = [\text{HB}^+] = x$  dan volgt

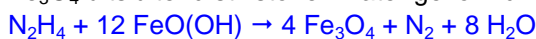
$[\text{B}] = c_{\text{HB}} - x$  en voor  $K_B$

$$K_B = \frac{[\text{HB}^+][\text{OH}^-]}{[\text{B}]} = \frac{x^2}{c_B - x} = 8,5 \cdot 10^{-3}$$

en daaruit:  $x = 2,87 \cdot 10^{-5} \rightarrow \text{pOH} = 4,54 \rightarrow \text{pH} = 9,46$

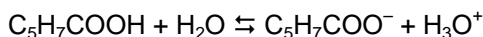
Een bijkomend voordeel van hydrazine is dat eventueel aanwezig roest door hydrazine wordt omgezet in een afsluitend laagje  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Roest kan worden weergegeven met de formule  $\text{FeO}(\text{OH})$ .

- 3 Geef de vergelijking van de reactie van hydrazine met  $\text{FeO}(\text{OH})$ . Neem hierbij aan dat behalve  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  uitsluitend stikstof en water gevormd worden.



#### Opgave 4

Sorbinezuur (of trans,trans-2,4-hexadiëenzuur) wordt als conserveermiddel in bijvoorbeeld vruchtensappen toegevoegd. Sorbinezuur is een zwak éénwaardig zuur. In waterig milieu stelt zich het volgende evenwicht in:



De conserverende werking van sorbinezuur wordt toegeschreven aan uitsluitend de ongeïoniseerde sorbinezuurmoleculen. Hoe groter de concentratie aan ongeïoniseerd sorbinezuur is, des te sterker is de conserverende werking.

Iemand voegt de maximaal toelaatbare hoeveelheid sorbinezuur toe aan 1 liter perziksap van  $\text{pH} = 3,5$ . Hij voegt ook een even grote hoeveelheid sorbinezuur toe aan 1 liter perziksap van  $\text{pH} = 4,0$ .

- 1 Leg uitgaande van het evenwicht van sorbinezuur in waterig milieu uit, in welk van de twee soorten perziksap de conserverende werking als gevolg van het toegevoegde sorbinezuur het sterkst zal zijn.

In de oplossing met  $\text{pH} = 3,5$  is  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  groter dan in de oplossing met  $\text{pH} = 4,0$ . Hierdoor verschuift het evenwicht in de eerste oplossing meer naar links dan in de tweede oplossing. (Uit substitutie van deze gegevens in  $K_Z$  volgt dat  $\text{HZ}_{\text{opl.1}} : \text{HZ}_{\text{opl.2}} = 3,2 Z_{\text{opl.1}}^- : Z_{\text{opl.2}}^-$ )

$$K = \frac{3,2 \cdot 10^{-4} [Z_{\text{opl.1}}^-]}{[\text{HZ}_{\text{opl.1}}]} \text{ en } K = \frac{1,0 \cdot 10^{-4} [Z_{\text{opl.2}}^-]}{[\text{HZ}_{\text{opl.2}}]}, \text{ zodat:}$$

$$\frac{3,2 \cdot 10^{-4} [Z_{\text{opl.1}}^-]}{[\text{HZ}_{\text{opl.1}}]} = \frac{1,0 \cdot 10^{-4} [Z_{\text{opl.2}}^-]}{[\text{HZ}_{\text{opl.2}}]}. \text{ Hieruit volgt dat: } \frac{[\text{HZ}_{\text{opl.1}}]}{[Z_{\text{opl.1}}^-]} = 3,2 \frac{[\text{HZ}_{\text{opl.2}}]}{[Z_{\text{opl.2}}^-]}$$

De  $K_Z$  van sorbinezuur bedraagt  $1,5 \cdot 10^{-5}$  (298 K).

Bij toevoeging van de maximaal toelaatbare hoeveelheid sorbinezuur aan vruchtensap is de werking als conserveermiddel nog juist voldoende als nog 10% van het toegevoegde sorbinezuur in ongeïoniseerde vorm aanwezig is. De pH waarbij dat het geval is, noemt men de pH-grenswaarde.

- 2 Bereken de pH-grenswaarde van sorbinezuur (298 K).

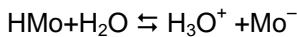
Als er 10% in ongeïoniseerde vorm aanwezig is, is er 90% wel geïoniseerd.

$$\frac{[Z^-]}{[\text{HZ}]} = \frac{0,90}{0,10} = 9,0 \text{ Uit } K \text{ volgt dan: } [\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{1,5 \cdot 10^{-5}}{9,0} = 1,7 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L} \rightarrow \text{pH} = 5,77$$

## Opgave 5

Methyloranje is een zuur-base-indicator. De zure vorm van methyloranje wordt in deze opgave weergegeven als HMo.

Als HMo wordt opgelost in water, stelt zich het volgende evenwicht in:



Van dit evenwicht is de reactie naar rechts endotherm.

Bij een pH hoger dan 4,4 heeft een oplossing van methyloranje bij kamertemperatuur een oranjegele kleur. Bij een pH lager dan 3,1 heeft een oplossing van methyloranje bij kamertemperatuur een rode kleur. De verschillende kleuren die een oplossing van methyloranje kan hebben, worden veroorzaakt door HMo moleculen en/of  $\text{Mo}^-$  ionen. Eén van deze soorten deeltjes veroorzaakt de oranjegele kleur, de andere soort veroorzaakt de rode kleur.

- 1 Leg aan de hand van bovenstaande gegevens uit welke van de kleuren oranjegeel en rood wordt veroorzaakt door  $\text{Mo}^-$  ionen.

Bij  $\text{pH} < 3,1$  is  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  groter dan bij  $\text{pH} > 4,4$ . Om het evenwicht te herstellen zal de reactie naar links in het voordeel zijn. Hierdoor neemt  $[\text{Mo}^-]$  af en gunste van  $[\text{HMo}]$ . De kleur van de oplossing is rood, blijkbaar afkomstig van HMo moleculen. De  $\text{Mo}^-$  deeltjes veroorzaken dan de oranjegele kleur.

Een methyloranje-oplossing van  $\text{pH} = 3,8$  heeft bij kamertemperatuur een mengkleur van oranjegeel en rood. Als een methyloranje-oplossing van  $\text{pH} = 3,8$  wordt verwarmd, verandert de kleur van de oplossing. De oorspronkelijke kleur komt echter bij afkoeling weer terug.

- 2 Leg aan de hand van gegevens in deze opgave uit welke kleur de methyloranje-oplossing van  $\text{pH} = 3,8$  bij verwarmen zal krijgen: oranjegeel of rood.

Door verwarming verschuift het evenwicht naar de endotherme kan, dus naar rechts. Er komen meer  $\text{Mo}^-$  deeltjes ten koste van HMo moleculen. De oplossing zal oranjegeel worden.

## Opgave 6

Je krijgt twee oplossingen: 2,0 L oplossing van 0,315 g salpeterzuur en 2,0 L van een oplossing van azijnzuur met dezelfde pH.

- 1 Geef de juiste notatie van beide oplossingen.

$\text{HNO}_3$ :  $\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{NO}_3^-(\text{aq})$  en  $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq})$

- 2 Bereken de pH van de salpeterzuur oplossing.

$c(\text{HNO}_3) = 0,315 \text{ g} / 2,0 \text{ L} = 0,1575 \text{ g/L} = 0,1575 \text{ g} : 63,01 \text{ g/mol} = 2,499 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L} \rightarrow$   
 $[\text{H}_3\text{O}^+] = 2,499 \cdot 10^{-3} \rightarrow \text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] = -\log 2,499 \cdot 10^{-3} = 2,6$

- 3 Leg uit of er meer, evenveel of minder mol azijnzuur moet worden opgelost om een oplossing met dezelfde pH als de salpeterzuur oplossing te maken.

Om dezelfde pH te bereiken als van het salpeterzuur, moet er meer mol azijnzuur zijn opgelost dan salpeterzuur. Azijnzuur is een zwak zuur en dus niet volledig geïoniseerd. Een groot deel van het opgeloste aantal mol blijft in niet-geïoniseerde vorm in oplossing.

Beide oplossingen worden verdund tot 10,0 L.

- 4 Beredeneer (dus niet berekenen!) welke van de twee oplossingen de laagste pH zal hebben na het verdunnen of leg uit waarom beide oplossingen dezelfde pH zullen hebben na het verdunnen. Het aantal mol salpeterzuur is volledig geïoniseerd. De azijnzuuroplossing, die voor verdunning een zelfde concentratie  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  als de salpeterzuuroplossing bevatte, bevat daarentegen nog een

hoeveelheid niet-geïoniseerde mol azijnzuur. Door het verdunnen wordt  $\frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{Z}^-]}{[\text{HZ}]} < K$

Om het evenwicht te herstellen zal  $[\text{HZ}]$  kleiner worden en  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  en  $[\text{Z}^-]$  zullen groter worden. Door de toegenomen ionisatie van het azijnzuur wordt  $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{azijnzuuroplossing}} > [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{salpeterzuur}}$ . Hieruit volgt dat

$\text{pH}_{\text{azijn}} < \text{pH}_{\text{salpeterzuur}}$

- 5 Geef de vergelijking van de reactie van een oplossing van azijnzuur met vast calciumcarbonaat.



- 6 Leg uit of een oplossing van azijnzuur zal reageren met een oplossing van natriumjodaat ( $\text{NaIO}_3$ ).  
 $\text{CH}_3\text{COOH}$  staat in tabel 49 onder  $\text{HIO}_3$ . De reactie:  
 $\text{IO}_3^-(\text{aq}) + \text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq}) \rightarrow \text{HIO}_3(\text{aq}) + \text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq})$   
 verloopt dus niet, want  $\text{HIO}_3$  is een sterker zuur dan  $\text{CH}_3\text{COOH}$ .

### Opgave 7

Men lost bij kamertemperatuur 0,250 mol propaanzuur ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ ) op in water en vult dit met water aan tot 0,400 L oplossing.

- 1 Bereken hoeveel procent van de propaanzuurmoleculen zijn geïoniseerd.  
 $c_{\text{HZ}} = 0,250 \text{ mol} / 0,400 \text{ L} = 0,625 \text{ mol/L}$

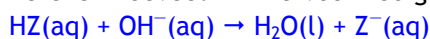
$$K_z = \frac{[\text{HZ}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_2\text{Z}]} = \frac{x^2}{0,625 - x} = 1,4 \cdot 10^{-5} \quad x = [\text{H}_3\text{O}^+] = 2,95 \cdot 10^{-3}$$

$$\alpha = 2,95 \cdot 10^{-3} \text{ mol/L} : 0,625 \text{ mol/L} \times 100\% = 0,472\%$$

- 2 Bereken de pH van de oplossing die is ontstaan.

$$\text{pH} = -\log 2,95 \cdot 10^{-3} = 2,53$$

- 3 Men wil precies genoeg natronloog toevoegen (2,0 M) om al het propaanzuur te laten reageren. Bereken hoeveel mL hiervoor nodig is.



$$0,250 \text{ mol HZ} \triangleq 0,250 \text{ mol NaOH. Aantal mL NaOH-oplossing} = 250 \text{ mmol} : 2,0 \text{ mmol/mL} = 125 \text{ mL}$$

- 4 Leg uit of de oplossing na afloop van deze reactie zuur, basisch of neutraal is.

De oplossing is na de reactie basisch. Omdat het gevormde  $\text{Z}^-$  een zwakke base is, zal zich het volgende evenwicht instellen:  $\text{Z}^-(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{HZ}(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$

0,25 mol van de zwakke base  $\text{B}^-$  wordt opgelost en aangevuld tot 1,00 L. Er ontstaat een oplossing met  $\text{pH} = 11,60$ .

- 5 Bereken de  $K_b$  en de  $\text{p}K_b$  van de base B.



$$\text{pOH} = 14,00 - 11,60 = 2,40 \rightarrow [\text{OH}^-] = 10^{-2,4} = 3,98 \cdot 10^{-3} \rightarrow [\text{HB}] = 3,98 \cdot 10^{-3}$$

$$K_b = \frac{[\text{HB}][\text{OH}^-]}{[\text{B}^-]} = \frac{(3,98 \cdot 10^{-3})^2}{0,25 - 3,98 \cdot 10^{-3}} = 6,4 \cdot 10^{-5} \quad \text{p}K_b = 4,2$$