

100,0 mL 0,080 mol/L HNO₃-oplossing en 100,0 mL 0,080 mol/L NH₄Cl-oplossing worden gevoegd bij 50,0 mL 0,20 mol/L HOAc-oplossing (geen contractie, noch dilatatie). Van deze oplossing wordt 25,0 mL genomen en die wordt getitreerd met een 0,100 mol/L NaOH oplossing.

Bereken de pH na toevoegen van:

- 5,00 mL
- 15,00 mL
- 20,00 mL

$$pK_a(\text{HOAc}) = 4,75$$

$$pK_b(\text{NH}_3) = 4,75$$

Oplossing

100,0 mL 0,080 mol/L HNO ₃	$8,0 \cdot 10^{-3}$ mol HNO ₃	HNO ₃ is een sterk zuur
100,0 mL 0,080 mol/L NH ₄ Cl	$8,0 \cdot 10^{-3}$ mol NH ₄ Cl	NH ₄ ⁺ Cl ⁻ is een zout. Het negatieve ion Cl ⁻ is zwakker basisch dan water en is te verwaarlozen. Het positieve ion NH ₄ ⁺ is een zwak zuur met $pK_a = 9,25$ en dus $K_a = 5,6 \cdot 10^{-10}$.
50,0 mL 0,20 mol/L HOAc	$1,0 \cdot 10^{-2}$ mol HOAc	HOAc is een zwak zuur met $pK_a = 4,75$ en dus $K_a = 1,8 \cdot 10^{-5}$. Het is dus sterker dan het vorige zwakke zuur.
Σ = 250,00 mL		

25,0 mL van dit mengsel (= 1/10) bevat dus:

- $8,0 \cdot 10^{-4}$ mol HNO₃
- $8,0 \cdot 10^{-4}$ mol NH₄⁺
- $1,0 \cdot 10^{-3}$ mol HOAc

Bij toevoegen van NaOH (sterke base) zal het NaOH achtereenvolgens met volgende zuren reageren:

- met HNO₃ (sterk zuur)
- met HOAc (sterkste van de twee zwakke zuren)
- met NH₄⁺ (zwakste van de twee zwakke zuren)

a.

Na toevoegen van 5,00 mL NaOH 0,100 mol/L

5,00 mL NaOH 0,100 mol/L bevat $5,0 \cdot 10^{-4}$ mol NaOH

Reactie: NaOH + HNO₃ → NaNO₃ + H₂O

mol	NaOH	HNO ₃	Na ⁺ NO ₃ ⁻ (Dit zout heeft geen invloed op de pH: het positieve ion is zwakker zuur dan water en het negatieve ion is zwakker basisch dan water)
Begin	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-4}$	0
Δ	$-5,0 \cdot 10^{-4}$	$-5,0 \cdot 10^{-4}$	$+ 5,0 \cdot 10^{-4}$
Eind	0	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$

Na deze reactie blijft er nog $3,0 \cdot 10^{-4}$ mol HNO₃ over. Dit sterke zuur bepaalt de pH: de andere twee zwakke zuren hebben zo goed als geen invloed op die pH.

$$\text{pH} = -\log \frac{3,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol}}{0,030 \text{ L}} = \mathbf{2,00}$$

b.

Na toevoegen van 15,00 mL NaOH 0,100 mol/L

15,00 mL NaOH 0,100 mol/L bevat $1,5 \cdot 10^{-3}$ mol NaOH

Reactie 1: $\text{NaOH} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

mol	NaOH	HNO ₃	Na ⁺ NO ₃ ⁻ (Dit zout heeft geen invloed op de pH: het positieve ion is zwakker zuur dan water en het negatieve ion is zwakker basisch dan water)
Begin	$1,5 \cdot 10^{-3} = 15,0 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-4}$	0
Δ	$-8,0 \cdot 10^{-4}$	$-8,0 \cdot 10^{-4}$	$+ 8,0 \cdot 10^{-4}$
Eind	$7,0 \cdot 10^{-4}$	0	$8,0 \cdot 10^{-4}$

Na deze reactie blijft er nog $7,0 \cdot 10^{-4}$ mol NaOH over. Dit overblijvende NaOH zal reageren met het sterkste van de twee zwakke zuren: HOAc.

Reactie 2: $\text{NaOH} + \text{HOAc} \rightarrow \text{NaOAc} + \text{H}_2\text{O}$

mol	NaOH	HOAc	Na ⁺ OAc ⁻ (Dit zout is zwak basisch: het positieve ion is zwakker zuur dan water en dus te verwaarlozen, het negatieve ion is een zwakke base. Bovendien is dit negatieve ion de geconjugeerde base van het zwakke zuur HOAc.)
Begin	$7,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3} = 10,0 \cdot 10^{-4}$	0
Δ	$-7,0 \cdot 10^{-4}$	$-7,0 \cdot 10^{-4}$	$+ 7,0 \cdot 10^{-4}$
Eind	0	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-4}$

Na deze twee opeenvolgende reacties zijn volgende stoffen in volgende hoeveelheden aanwezig:

- $3,0 \cdot 10^{-4}$ mol **HOAc**
- $7,0 \cdot 10^{-4}$ mol Na⁺**OAc**⁻
- $8,0 \cdot 10^{-4}$ mol NH₄⁺

De eerste twee componenten vormen een buffer. Het zeer zwakke zuur NH₄⁺ heeft zo goed als geen invloed op de pH van die buffer:

$$\text{pH} = 4,75 + \log \frac{\frac{7,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol}}{0,040 \text{ L}}}{\frac{3,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol}}{0,040 \text{ L}}} = \mathbf{5,12}$$

c.

Na toevoegen van 20,00 mL NaOH 0,100 mol/L

20,00 mL NaOH 0,100 mol/L bevat $2,0 \cdot 10^{-3}$ mol NaOH

Reactie 1: $\text{NaOH} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

mol	NaOH	HNO ₃	Na ⁺ NO ₃ ⁻ (Dit zout heeft geen invloed op de pH: het positieve ion is zwakker zuur dan water en het negatieve ion is zwakker basisch dan water)
Begin	$2,0 \cdot 10^{-3} =$ $20,0 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-4}$	0
Δ	$-8,0 \cdot 10^{-4}$	$-8,0 \cdot 10^{-4}$	$+ 8,0 \cdot 10^{-4}$
Eind	$12,0 \cdot 10^{-4}$	0	$8,0 \cdot 10^{-4}$

Na deze reactie blijft er nog $12,0 \cdot 10^{-4}$ mol NaOH over. Dit overblijvende NaOH zal reageren met het sterkste van de twee zwakke zuren: HOAc.

Reactie 2: $\text{NaOH} + \text{HOAc} \rightarrow \text{NaOAc} + \text{H}_2\text{O}$

mol	NaOH	HOAc	Na ⁺ OAc ⁻ (Dit zout is zwak basisch: het positieve ion is zwakker zuur dan water en dus te verwaarlozen, het negatieve ion is een zwakke base. Bovendien is dit negatieve ion de geconjugeerde base van het zwakke zuur HOAc.)
Begin	$12,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3} =$ $10,0 \cdot 10^{-4}$	0
Δ	$-10,0 \cdot 10^{-4}$	$-10,0 \cdot 10^{-4}$	$+ 10,0 \cdot 10^{-4}$
Eind	$2,0 \cdot 10^{-4}$	0	$10,0 \cdot 10^{-4}$

Na deze reactie blijft er nog $2,0 \cdot 10^{-4}$ mol NaOH over. Dit overblijvende NaOH zal nu ook reageren met het zwakste van de twee zwakke zuren: NH_4^+ .

Reactie 3: $\text{NaOH} + \text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{Na}^+$

mol	NaOH	NH ₄ ⁺	NH ₃ (Dit zout is zwak basisch: het positieve ion is zwakker zuur dan water en dus te verwaarlozen, het negatieve ion is een zwakke base. Bovendien is dit negatieve ion de geconjugeerde base van het zwakke zuur HOAc.)
Begin	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-4}$	0
Δ	$-2,0 \cdot 10^{-4}$	$-2,0 \cdot 10^{-4}$	$+ 2,0 \cdot 10^{-4}$
Eind	0	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$

Deze twee componenten vormen een buffer:

$$pK_b(\text{NH}_3) = 4,75 \rightarrow pK_a(\text{NH}_4^+) = 9,25$$

$$pH = 9,25 + \log \frac{2,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol}}{0,045 \text{ L}} \frac{0,045 \text{ L}}{6,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol}} = \mathbf{8,77}$$