

## 6.4 Rekenen met evenwichtsreacties

Aan de hand van een reeks voorbeelden zullen we het rekenwerk behandelen aan evenwichtsreacties.

### Voorbeeld 6.2

We bestuderen het gasevenwicht:  $A(g) + B(g) \leftrightarrow C(g) + D(g)$

In een ruimte van 1 liter brengt men 4 mol A en 6 mol B. Na instellen van het evenwicht blijkt er 2 mol D te zijn gevormd.

Bereken de evenwichtsconstante K en de reactiegraad  $\alpha$  voor stof B.

#### uitwerking

Bij  $t = 0$  is er geen evenwicht. De concentraties zijn dan:

$$[A]_0 = 4 \text{ mol.L}^{-1}, [B]_0 = 6 \text{ mol.L}^{-1}, [C]_0 = [D]_0 = 0 \text{ mol.L}^{-1}$$

Bij  $t = 1$  is er (net) wel evenwicht. De concentraties van de stoffen zijn dan:

$$[A]_1 = ?, [B]_1 = ?, [C]_1 = ?, [D]_1 = 2 \text{ mol.L}^{-1}$$

We zullen de veranderingen van de concentraties weer in een tabel uitwerken:

	concentraties [mol.L <sup>-1</sup> ]			
	A	B	C	D
voor instellen	4	6	0	0
tijdens instellen (+/-)	-2	-2	+2	+2
bij evenwicht ( $t=t_i$ )	2	4	2	2

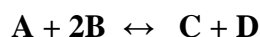
We kunnen nu de betrekkingen voor K en  $\alpha$  opschrijven en de juiste waarden invullen:

$$K = \frac{[C] \cdot [D]}{[A] \cdot [B]} = \frac{2 \cdot 2}{2 \cdot 4} = 0,50 \text{ (geen eenheid)}$$

$$\alpha = \frac{\text{aantal mol B dat reageert}}{\text{aantal mol B eerst aanwezig}} = \frac{2}{6} = 0,33$$

### Voorbeeld 6.3

Men mengt de gassen A en B in een vat van 2 liter. De volgende reactie verloopt dan:



Bij een bepaalde temperatuur is de waarde van de evenwichtsconstante K gelijk aan 8 (l.mol<sup>-1</sup>), terwijl de **evenwichts**concentraties van A en B beide 2 mol.L<sup>-1</sup> zijn.

Hoe groot is de concentratie van D bij deze temperatuur en hoeveel mol A was oorspronkelijk aanwezig?

### uitwerking

Op tijdstip  $t = 0$  is er geen evenwicht en de concentraties zijn:

$$[A]_0 \text{ en } [B]_0 = ?, \quad [C]_0 = [D]_0 = 0 \text{ mol.L}^{-1}$$

Op tijdstip  $t = 1$  is er evenwicht en de concentraties zijn:

$$[A]_1 = [B]_1 = 2 \text{ mol.L}^{-1}, \quad [C]_1 \text{ en } [D]_1 = ?$$

We gaan de diverse concentraties weer in tabel uitwerken waarbij we de concentratieverandering van stof A gelijk stellen aan  $x$ :

	concentraties [mol.L <sup>-1</sup> ]			
	A	B	C	D
voor instellen	2+x	2+2x	0	0
tijdens instellen (+/-)	-x	-2x	+x	+x
bij evenwicht (t=t <sub>i</sub> )	2	2	x	x

Wanneer we deze concentraties invullen in de evenwichtsvoorwaarde, kunnen we  $x$  berekenen:

$$K = \frac{[C] \cdot [D]}{[A] \cdot [B]^2} = \frac{x \cdot x}{2 \cdot 2^2} = 8 \text{ [L.mol}^{-1}] \quad \text{hieruit volgt: } x = 8 \text{ mol.L}^{-1}$$

Voor de gevraagde concentraties volgt dan:

$$[D]_1 = 8 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[A]_0 = 10 \text{ mol.L}^{-1} \text{ en de totale hoeveelheid is } 20 \text{ mol}$$

### **Voorbeeld 6.4**

In een vat van 1 liter bevindt zich 1 mol  $\text{NH}_4\text{Cl}$  in dampvorm. Men voert de temperatuur zo hoog op dat drie vierde van het  $\text{NH}_4\text{Cl}$  dissocieert volgens de vergelijking:



Bereken de evenwichtsconstante bij deze temperatuur.

### uitwerking

Om de waarde van  $K$  te berekenen moeten we de evenwichtsconcentraties van de componenten berekenen. Dit doen we weer in tabelvorm:

	concentraties [mol.L <sup>-1</sup> ]		
	$\text{NH}_4\text{Cl}$	$\text{NH}_3$	HCl
voor instellen	1	0	0
tijdens instellen (+/-)	-0,75	+0,75	+0,75
bij evenwicht (t=t <sub>i</sub> )	0,25	0,75	0,75

Invullen in de evenwichtsvoorwaarde levert de gevraagde waarde van  $K$  op:

$$K = \frac{0,75 \cdot 0,75}{0,25} = 2,25 \text{ [mol.L}^{-1}]$$

### Voorbeeld 6.5

Aan het evenwicht van voorbeeld 6.4 wordt bij dezelfde temperatuur 1 mol NH<sub>3</sub>-gas toegevoegd. Bereken de dissociatiegraad  $\alpha$  van het NH<sub>4</sub>Cl bij de nieuwe evenwichtsinstelling.

#### uitwerking

Als we NH<sub>3</sub> toevoegen aan het reactiemengsel in evenwicht zal de ligging ervan naar links verschuiven:



Om de dissociatiegraad te berekenen, moeten we de concentraties bij het nieuwe evenwicht berekenen. We stellen hiertoe dat van de toegevoegde NH<sub>3</sub>  $x$  mol wegreageert tijdens de instelling van het nieuwe evenwicht. Aangezien de waarde van  $K$  bekend is kunnen we daarmee  $x$  berekenen:

	concentraties [mol.L <sup>-1</sup> ]		
	NH <sub>4</sub> Cl	NH <sub>3</sub>	HCl
bij evenwicht 1	0,25	0,75	0,75
toevoeging	0	1	0
vóór evenwicht 2	0,25	1,75	0,75
bij instellen (+/-)	+x	-x	-x
bij evenwicht 2	0,25+x	1,75-x	0,75-x

Invullen in de evenwichtsvoorwaarde geeft:

$$K = \frac{[\text{NH}_3] \cdot [\text{HCl}]}{[\text{NH}_4\text{Cl}]} = \frac{(1,75 - x) \cdot (0,75 - x)}{0,25 + x} = 2,25 \text{ [mol.L}^{-1}\text{]}$$

Wanneer je dit uitrekenet en vereenvoudigt, volgt:

$$x^2 - 4,75 \cdot x + 0,75 = 0 \quad (\text{Controleer deze berekening!!!})$$

Deze vergelijking is wiskundig oplosbaar. Hij is van het type:

$$ax^2 + bx + c = 0 \quad \text{waarbij} \quad x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Toepassen levert het volgende op:

$$x_{1,2} = \frac{+4,75 \pm \sqrt{\{(-4,75)^2 - 4 \cdot 1 \cdot 0,75\}}}{2 \cdot 1}$$

Uitrekenen geeft twee wiskundige oplossingen:

$$x_1 = 4,585 \text{ mol.L}^{-1} \quad \text{en} \quad x_2 = 0,164 \text{ mol.L}^{-1}$$

In de chemie kan er uiteraard maar één oplossing juist zijn. Meestal is één van de wiskundige oplossingen duidelijk onzinnig, in dit geval de uitkomst  $x_1 = 4,585$ . Dit is gemakkelijk te zien als je de uitkomst in de tabel invult.

De enige goede uitkomst is:  $x = 0,164 \text{ mol.L}^{-1}$

We kunnen nu de gevraagde dissociatiegraad berekenen:

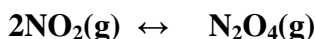
$$\alpha = \frac{\text{NH}_4\text{Cl dat gedissocieerd is}}{\text{NH}_4\text{Cl oorspronkelijk aanwezig}} = \frac{[\text{NH}_4\text{Cl}]_d}{[\text{NH}_4\text{Cl}]_0}$$

$$\alpha = \frac{1 - [\text{NH}_4\text{Cl}]}{1} = \frac{1 - (0,25 + 0,164)}{1} = 0,59 \text{ (59 \%)}$$

»»» **Wat opvalt is dat  $\alpha$  niet constant is. Dit is een nadeel bij het werken met de reactiegraad.**

### Voorbeeld 6.6

In een ruimte van 1 liter heerst evenwicht volgens de vergelijking:



De evenwichtsconcentraties zijn:

$$[\text{NO}_2] = 2 \text{ mol.L}^{-1} \text{ en } [\text{N}_2\text{O}_4] = 4 \text{ mol.L}^{-1}$$

Het volume van het vat wordt verdubbeld, waarna zich een nieuw evenwicht instelt.

Bereken de nieuwe evenwichtsconcentraties en geef in één grafiek het concentratieverloop van de stoffen als functie van de tijd.

### uitwerking

Wanneer het volume verdubbeld wordt (op tijdstip  $t_1$ ), zal het evenwicht naar links verschuiven. Op tijdstip  $t_2$  is er weer evenwicht, waarbij  $x$  mol  $\text{N}_2\text{O}_4$  is gesplitst.

uitwerking in tabel geeft:

	concentraties [mol.L <sup>-1</sup> ]	
	NO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
bij evenwicht 1	2	4
bij volumevergroting	1	2
instellen (+/-)	+2x	-x
bij evenwicht 2	1+2x	2-x

$$K = \frac{2 - x}{(1 + 2x)^2} = 1 \text{ [l.mol}^{-1}\text{]}$$

$$\text{Hieruit volgt: } 4x^2 + 5x - 1 = 0$$

Doorrekenen geeft:  $x = 0,175 \text{ mol.L}^{-1}$   
Hieruit volgt dat:

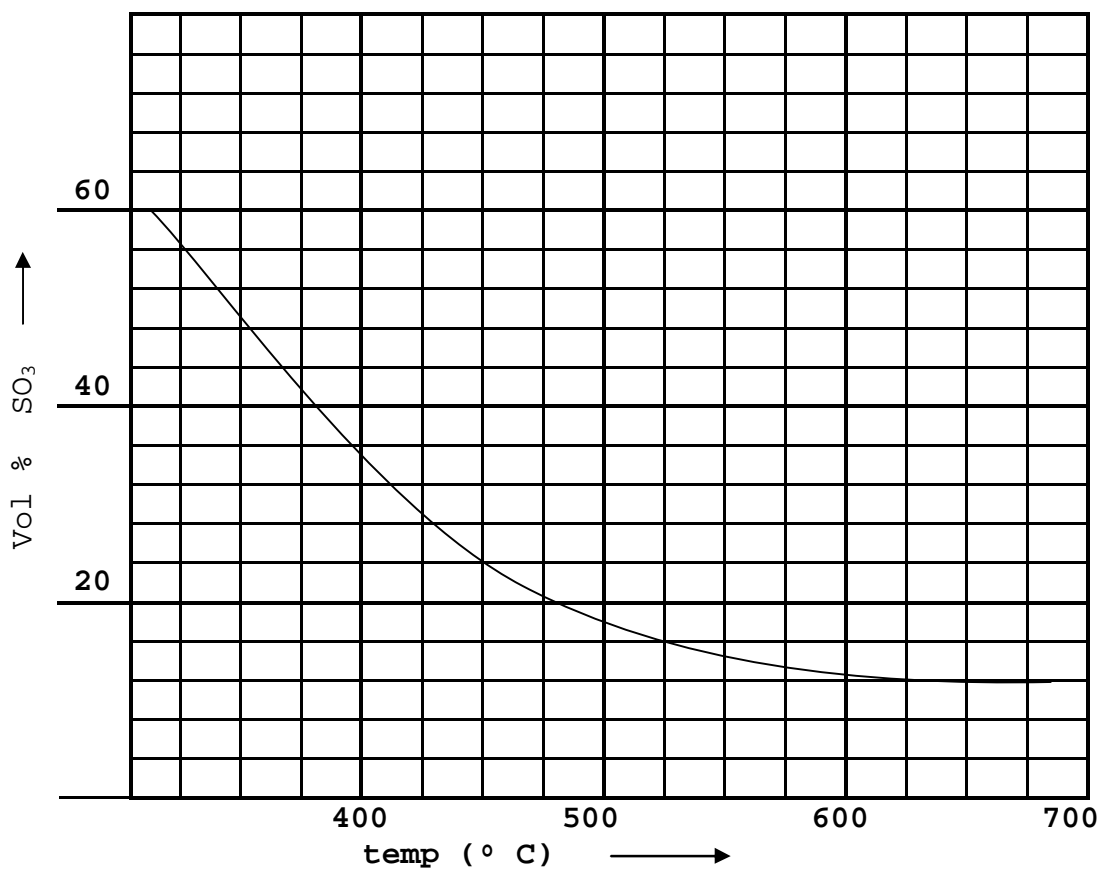
(Reken dit zelf na!!)

$$[\text{NO}_2] = 1 + 2x = 1,35 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[\text{N}_2\text{O}_4] = 2 - x = 1,83 \text{ mol.L}^{-1}$$

## 6.5 Opgaven

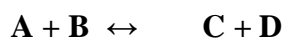
- 1 Schrijf de evenwichtsvoorwaarden op voor de volgende evenwichtsreacties en bepaal de eenheid van K.
  - a  $2\text{NO}_2(\text{g}) \leftrightarrow \text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$
  - b  $2\text{CO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \leftrightarrow 2\text{CO}_2(\text{g})$
  - c  $3\text{H}_2(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g}) \leftrightarrow 2\text{NH}_3(\text{g})$
  
- 2 Gegeven de evenwichtsreactie:  $2\text{CO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \leftrightarrow 2\text{CO}_2(\text{g}) + \text{energie}$   
Geef de invloed aan die de volgende veranderingen op de ligging van het evenwicht of op de insteltijd hebben:
  - a [CO]-verhoging
  - b [CO<sub>2</sub>]-verhoging
  - c [O<sub>2</sub>]-verlaging
  - d temperatuurverlaging
  - e drukverhoging door samenpersen bij constante T
  - f toevoegen van N<sub>2</sub> (inert)
  - g toevoegen van een katalysator
  
- 3 In een oplossing heerst het evenwicht:  $\text{A} + 2\text{B} \leftrightarrow 2\text{C} + 2\text{D}$   
Bij 293 K is de evenwichtsconstante K gelijk aan  $2 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , en bij 393 K gelijk aan  $5 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .
  - a Is de vorming van component C exotherm of endotherm?
  - b Hoe verandert de ligging van het evenwicht bij afkoelen?De oplossing wordt verdund met water, dat niet aan de reactie deelneemt.
  - c Verschuift hierdoor het evenwicht? Zo ja in welke richting?
  
- 4 In een waterige oplossing van 25 °C heeft men het volgende evenwicht:  
 $\text{A} + 2\text{B} \leftrightarrow 2\text{C} + 2\text{D} + \text{energie}$   
Beredeneer hoe de samenstelling van het evenwichtsmengsel verandert als men:
  - a water toevoegt, terwijl dit niet aan de reactie deelneemt.
  - b de oplossing verwarmt tot het kookpunt.
  - c Welke producten houdt men over na indampen van het mengsel?
  
- 5 In de industrie wordt SO<sub>3</sub>(g) geproduceerd door SO<sub>2</sub>(g) en O<sub>2</sub>(g) met behulp van een katalysator te laten reageren in het zogenaamde 'contactproces'.  
De reactie is exotherm, maar het evenwicht stelt zich zeer langzaam in.
  - a Hoe verandert de ligging van het evenwicht als er zonder katalysator gewerkt wordt?
  - b Beredeneer of het zinvol is om de reactie te laten verlopen bij hogere druk.



Bovenstaand plaatje geeft het verband tussen  $[SO_3]$  (in evenwichtstoestand) en de temperatuur bij één bepaalde druk.

- c Leg aan de hand van deze grafiek uit of  $K$  kleiner of groter wordt bij verwarmen.  
 d Hoe zal de ligging van de kromme veranderen (hoger, lager of hetzelfde) als:
- een katalysator aanwezig is.
  - de druk verhoogd wordt.

- 6 Men maakt een oplossing van 5,0 mol A en 2,0 mol B. Het volume is 1 liter. Het evenwicht stelt zich in volgens de vergelijking:



Na instellen van het evenwicht is er nog 0,50 mol B over.

- a Bereken de evenwichtsconstante. (1,29)

Vervolgens wordt er 3 mol A aan het reactiemengsel onttrokken.

- b Bereken de concentraties na hernieuwde evenwichtsinstelling.

$$([A]=[B]=0,94 \text{ mol.L}^{-1} \text{ en } [C]=[D]=1,06 \text{ mol.L}^{-1})$$

- 7 In een vat van 2 liter brengt men 4 mmol HI en 2 mmol I<sub>2</sub> bij een voldoende hoge temperatuur:

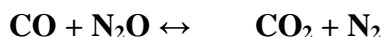


Nadat het evenwicht zich heeft ingesteld is er 0,5 mmol H<sub>2</sub> gevormd.

Bereken de evenwichtsconstante en de dissociatiegraad van HI.

$$(K=0,139 \text{ en } \alpha=0,25)$$

- 8 In een vat van 2,0 liter perst men 8,0 mmol CO en 12 mmol N<sub>2</sub>O. Er stelt zich het volgende evenwicht in:



Nadat het evenwicht zich heeft ingesteld, blijkt er 6,0 mmol N<sub>2</sub> gevormd te zijn.

- a Bereken de evenwichtsconstante. (3,0)

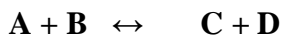
Men voegt nu zoveel CO toe dat er, na bereiken van een nieuw evenwicht, 8,0 mmol N<sub>2</sub> aanwezig is.

- b Hoeveel mmol CO heeft men extra moeten toevoegen? (5,3 mmol)

- 9 In een vat van 2 liter bevindt zich 32 gram SO<sub>3</sub> in gasvorm. Door verhitting dissocieert dit gedeeltelijk in SO<sub>2</sub> en O<sub>2</sub>. In de evenwichtstoestand is de dissociatiegraad  $\alpha$  gelijk aan 0,50.

Bereken de waarde van de evenwichtsconstante. (0,05 mol.L<sup>-1</sup>)

- 10 Men mengt 2,0 mmol A, 3,0 mmol B en 5,0 mmol C in water en vult aan tot 1,0 liter. Het volgende evenwicht stelt zich in:



De evenwichtsconstante K bedraagt 1,0.

Bereken de evenwichtsconcentraties.

$$([\text{A}]=1,4 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}, [\text{B}]=2,4 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}, [\text{C}]=5,6 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1} \text{ en } [\text{D}]=6 \cdot 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1})$$

- 11 Men mengt 5,0 mmol A en 2,0 mmol B in water en vult aan tot 1,0 liter. Het volgende evenwicht stelt zich in:



De evenwichtsconstante K bedraagt 2,0.

Bereken de evenwichtsconcentraties.

$$([\text{A}]=1,72 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}, [\text{B}]=3,64 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}, [\text{C}]=1,64 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1})$$

- 12 Men mengt 4,0 mol A en 10 mol B in water en vult aan tot 2,0 liter. Het volgende evenwicht stelt zich in:



De evenwichtsconstante bedraagt 2,0.

Bereken de evenwichtsconcentraties.

$$([\text{A}]=1 \cdot 10 \text{ mol.L}^{-1}, [\text{B}]=5,45 \text{ mol.L}^{-1}, [\text{C}]=0,45 \text{ mol.L}^{-1})$$

### opgave 1

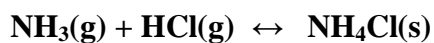
Geef aan hoe de hierna genoemde handelingen van invloed zijn op de **ligging** van onderstaand gegeven evenwicht. In de evenwichtssituatie bevindt zich van elke genoemde stoffen 3 mol in het reactievat.



- a Je koelt het reactievat af.
- b Je verwijdert 2 mol koolmonoxide uit het vat.
- c Je verkleint het volume van het reactievat.
- d Je voegt 2 mol He aan de inhoud van het reactievat toe.
- e Je voegt 1 mol CO en 1 mol CO<sub>2</sub> aan de inhoud van het reactievat toe.
- f Je voegt een katalysator toe.

### opgave 2

I In een vat van 2,0 liter worden 24 mol NH<sub>3</sub>(g) en 16 mol HCl(g) bij elkaar gebracht. Er treedt dan de volgende reactie op:



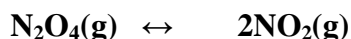
De reactiesnelheid aan het begin ( $S_0$ ) bedraagt 6 mol.L<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>.

- a Bereken de reactieconstante  $k$
  - b Bereken  $[\text{NH}_3]$  en  $[\text{HCl}]$  op het moment dat  $S = 0,75 \text{ mol.L}^{-1}.\text{min}^{-1}$ .
- II Hetzelfde als in opgave 5 I maar nu speelt alles zich af in een vat van 1,0 liter.
- c Maak de juiste keuze uit de volgende beweringen en  **motiveer je antwoord.**  
**EEN KEUZE ZONDER UITLEG WORDT NIET GEHONOREERD.**
    - I  $k$  wordt 4 maal zo groot en  $S_0$  blijft 6 mol.L<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>.
    - II  $k$  wordt 4 maal zo klein en  $S_0$  wordt 4 maal zo groot.
    - III  $k$  blijft hetzelfde en  $S_0$  wordt 4 maal zo groot.
    - IV  $k$  blijft hetzelfde en  $S_0$  wordt 4 maal zo klein.
    - V zowel  $k$  als  $S_0$  veranderen niet.



### opgave 3

In een vat van 250 liter waarin een temperatuur heerst van  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  bevindt zich  $75,0\text{ mol N}_2\text{O}_4(\text{s})$ . Het vat wordt opgewarmd tot een zodanige temperatuur, dat alle  $\text{N}_2\text{O}_4$  verdampt en zich een evenwicht instelt:



Er blijkt nu  $50,0\text{ mol NO}_2(\text{g})$  in het vat aanwezig te zijn.

a Bereken de dissociatie graad  $\alpha(\text{N}_2\text{O}_4)$ .

b Bereken de evenwichtsconstante  $K$  in bovengenoemd evenwicht.

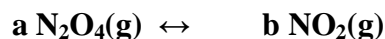
Het vat wordt nu via een kraan in verbinding gebracht met een ander vat van 250 liter waarin zich  $10,0\text{ mol He}(\text{g})$ , helium bevindt.

c Beredeneer of, en zo ja, hoe het evenwicht zal verschuiven.

d Bereken  $[\text{N}_2\text{O}_4]$  en  $[\text{NO}_2]$  in de nieuwe evenwichtssituatie, waarbij de temperatuur constant is gehouden.

### opgave 4

In een ruimte van  $2,0\text{ l}$  brengt men  $8,0 \cdot 10^{-3}\text{ mol}$  van de stof  $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ . Er stelt zich een evenwicht in:



In de evenwichtssituatie geldt:  $[\text{NO}_2] = 4,0 \cdot 10^{-3}\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ .

a Bereken  $[\text{N}_2\text{O}_4]$  in de evenwichtssituatie.

b Geef de uitdrukking voor de evenwichtsconstante  $K$  en bereken deze. (denk aan de eenheid)

c Bereken de dissociatiegraad  $\alpha_{(\text{N}_2\text{O}_4)}$ .

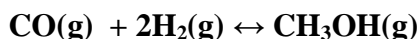
Vervolgens wordt het reactievolume door samenpersen 4 maal zo klein gemaakt, waarbij de temperatuur constant wordt gehouden.

d Bereken  $[\text{N}_2\text{O}_4]$  en  $[\text{NO}_2]$  in de nieuwe evenwichtstoestand.

e Bereken opnieuw  $\alpha_{(\text{N}_2\text{O}_4)}$ .

### opgave 5

In een vat van  $1,0\text{ liter}$  wordt  $10,0\text{ mmol CO}$  en  $7,0\text{ mmol H}_2$  gebracht. Het volgende evenwicht stelt zich in:



Na instelling van het evenwicht blijkt er  $2,0\text{ mmol CH}_3\text{OH}$  aanwezig te zijn.

a Bereken de waarde van de evenwichtsconstante  $K$  (denk aan de dimensie).

b Bereken de omzettingsgraad van  $\text{CO}$  ( $\alpha_{(\text{CO})}$ )

Vervolgens wordt een extra hoeveelheid  $\text{H}_2$  toegevoegd. Na instellen van een nieuwe evenwichts-situatie bij dezelfde temperatuur is er in het mengsel  $5,0\text{ mmol CH}_3\text{OH}$  aanwezig.

c Bereken het aantal  $\text{mmol H}_2$  dat extra werd toegevoegd.

## UITWERKING VAN DE PROEFTOETS

### opgave 1

- a Naar rechts, dan wordt er extra warmte geproduceerd.  
 b Naar links. Er wordt dan weer extra CO gevormd.  
 c Naar rechts. Er bevinden zich dan in het vat minder deeltjes waardoor de drukverhoging gedeeltelijk wordt tenietgedaan.  
 d Er gebeurt niets. He neemt niet deel aan de evenwichtsreacties. De concentraties van de deelnemende stoffen is evenmin veranderd.  
 e In dit geval gebeurt er niets.  $K_1$  was  $3^2/(3^2 \cdot 3) = 0,333$   
 $K_2 = 4^2/(4^2 \cdot 3) = 0,333$ .  $K$  verandert dus niet. Evenwicht verschuift niet.  
 f De ligging verandert niet. De insteltijd wordt slechts verkort.

### opgave 2

I a  $[\text{NH}_3]_0 = 12 \text{ mol.L}^{-1}$ .  $[\text{HCl}] = 8 \text{ mol.L}^{-1}$ .  
 $k = S_0 / ([\text{NH}_3]_0 \cdot [\text{HCl}]_0) = 6 / (12 \cdot 8) = 6,25 \cdot 10^{-2} \text{ l.mol}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ .

- b Stel dat op het gevraagde tijdstip  $x \text{ mol.L}^{-1} \text{ NH}_3$  is omgezet. In schema:

	concentraties [ $\text{mol.L}^{-1}$ ]		
	$\text{NH}_3$	$\text{HCl}$	$\text{NH}_4\text{Cl}$
$(t=t_0)$	12	8	0
$(+/-)$	-x	-x	+x
$(t=t_1)$	$12-x$	$8-x$	x

$S_t = k \cdot [\text{NH}_3]_t \cdot [\text{HCl}]_t$  alle gegevens nu invullen levert een vierkantsvergelijking:

$$0,75 = 6,25 \cdot 10^{-2} \cdot (12-x) \cdot (8-x) \quad \text{ofwel:} \quad x^2 - 20x + 84 = 0$$

$x_1 = 14 \text{ mol.L}^{-1}$ . deze uitkomst is onmogelijk.

$$x_2 = 6 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[\text{NH}_3]_t = 12 - 6 = 6 \text{ mol.L}^{-1} \quad [\text{HCl}]_t = 8 - 6 = 2 \text{ mol.L}^{-1}$$

- II c  $k$  blijft constant. Door volumeverkleining worden de beginconcentraties ieder 2 maal zo groot, dus de reactiesnelheid  $S_0$  wordt daardoor 4 maal zo groot. De juiste keuze is dus keuze III.

### opgave 3

$$[\text{N}_2\text{O}_4]_0 = 75/250 = 0,30 \text{ mol.L}^{-1} \quad [\text{NO}_2]_i = 50/250 = 0,20 \text{ mol.L}^{-1}$$

- a In schema omgezet:

	concentraties [ $\text{mol.L}^{-1}$ ]	
	$\text{N}_2\text{O}_4$	$\text{NO}_2$
$(t=t_0)$	0,30	0
$(+/-)$	-0,10	+0,20
$(t=t_1)$	0,20	0,20

$$\alpha = \text{omgezette deel/oorspronkelijke deel} = 0,10/0,30 = 0,33 \quad (33\%)$$

- b  $K = [\text{NO}_2]_i^2 / [\text{N}_2\text{O}_4]_i = 0,20^2 / 0,20 = 0,20 \text{ mol.L}^{-1}$ .
- c He heeft geen invloed op het systeem. Omdat het volume 2 maal zo groot wordt worden alle evenwichtsconcentraties 2 maal zo klein, met als gevolg dat het evenwicht door deze drukverlaging zodanig gaat verschuiven dat er meer moleculen aanwezig zijn. Het verschuift dus en wel naar rechts.
- d In schema uitgeschreven levert dit het volgende beeld op:

	concentraties [mol.L <sup>-1</sup> ]	
	N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>
(t=t <sub>i</sub> )	0,20	0,20
verstoring	0,10	0,10
(+/-)	-x	+2x
(t=t <sub>i2</sub> )	0,10-x	0,10+2x

K blijft 0,20 mol.L<sup>-1</sup>. (temperatuur verandert niet)

Evenwichtsvoorwaarde ingevuld, levert op:

$0,20 = (0,10 + 2x)^2 / (0,10 - x)$  deze vergelijking is uit te schrijven tot:

$4x^2 + 0,60x - 0,01 = 0$  met als uitkomsten:

$x_1 < 0$  onmogelijk.

$x_2 = 0,015 \text{ mol.L}^{-1}$ , zodat:

$[\text{N}_2\text{O}_4]_{i2} = 0,10 - 0,015 = 0,085 \text{ mol.L}^{-1}$ .

$[\text{NO}_2]_{i2} = 0,10 + 2(0,015) = 0,13 \text{ mol.L}^{-1}$ .

#### opgave 4

$[\text{N}_2\text{O}_4]_o = 4 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$

$[\text{NO}_2]_i = 4 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ .

- a In schema omgezet:

	concentraties [mol.L <sup>-1</sup> ]	
	N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>
(t=t <sub>o</sub> )	$4 \cdot 10^{-3}$	0
(+/-)	$-2 \cdot 10^{-3}$	$+4 \cdot 10^{-3}$
(t=t <sub>i</sub> )	$2 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$

Lees in tabel af:  $[\text{N}_2\text{O}_4]_i = 2 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ .

- b  $K = [\text{NO}_2]_i^2 / [\text{N}_2\text{O}_4]_i = (4 \cdot 10^{-3})^2 / 2 \cdot 10^{-3} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ .
- c  $\alpha = \text{omgezette deel} / \text{oorspronkelijke deel} = 2 \cdot 10^{-3} / 4 \cdot 10^{-3} = 0,50$  (50%)

- d Omdat het volume 4 maal zo klein is geworden zijn alle evenwichtsconcentraties 4 maal zo groot geworden, met als gevolg dat het evenwicht door deze drukverhoging zodanig gaat verschuiven dat er minder moleculen aanwezig zijn. Het verschuift dus naar links. In schema uitgeschreven levert dit het volgende beeld op:

	concentraties [mol.L <sup>-1</sup> ]	
	N <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>
(t=t <sub>i</sub> )	2.10 <sup>-3</sup>	4.10 <sup>-3</sup>
verstoring	8.10 <sup>-3</sup>	16.10 <sup>-3</sup>
(+/-)	+x	-2x
(t=t <sub>i2</sub> )	8.10 <sup>-3</sup> +x	16.10 <sup>-3</sup> -2x

K blijft 8.10<sup>-3</sup> mol.L<sup>-1</sup>. (temperatuur verandert niet)

Evenwichtsvoorwaarde ingevuld, levert op:

$8.10^{-3} = (16.10^{-3} - 2x)^2 / (8.10^{-3} + x)$  deze vergelijking is uit te schrijven tot:

$x^2 - 18.10^{-3}x + 48.10^{-6} = 0$  met als uitkomsten:

$x_1 = 14,75.10^{-3}$  mol.L<sup>-1</sup> (onmogelijk, daarvoor is geen NO<sub>2</sub> voldoende aanwezig)

$x_2 = 3,225.10^{-3}$  mol.L<sup>-1</sup>, zodat:

$[N_2O_4]_{i2} = 8.10^{-3} + 3,225.10^{-3} = 11,23.10^{-3}$  mol.L<sup>-1</sup>.

$[NO_2]_{i2} = 16.10^{-3} - 2(3,225.10^{-3}) = 9,49.10^{-3}$  mol.L<sup>-1</sup>.

- e Omgerekend naar het oorspronkelijke volume (dat 4 maal zo groot was) geldt dat in de nieuwe evenwichtssituatie  $[N_2O_4]$  bedraagt  $11,23.10^{-3} / 4 = 2,81.10^{-3}$  mol.L<sup>-1</sup>.

$$\alpha = \text{omgezette deel/oorspronkelijke deel} = (4.10^{-3} - 2,81.10^{-3}) / 4.10^{-3} = 0,30 \quad (30\%)$$

### opgave 5

$[CO]_0 = 10^{-2}$  mol.L<sup>-1</sup>,

$[H_2]_0 = 7.10^{-3}$  mol.L<sup>-1</sup>

$[CH_3OH]_0 = 0$  mol.L<sup>-1</sup>.

$[CH_3OH]_i = 2.10^{-3}$  mol.L<sup>-1</sup>.

- a In schema:

	concentraties [mol.L <sup>-1</sup> ]		
	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>3</sub> OH
(t=t <sub>0</sub> )	10 <sup>-2</sup>	7.10 <sup>-3</sup>	0
(+/-)	-2.10 <sup>-3</sup>	-4.10 <sup>-3</sup>	+2.10 <sup>-3</sup>
(t=t <sub>i</sub> )	8.10 <sup>-3</sup>	3.10 <sup>-3</sup>	2.10 <sup>-3</sup>

$$K = [CH_3OH]_i / \{ [CO]_i \cdot [H_2]_i^2 \} = 2.10^{-3} / \{ 8.10^{-3} \cdot (3.10^{-3})^2 \} = 2,78.10^4 \text{ l}^2.\text{mol}^{-2}.$$

- b  $\alpha = \text{omgezette deel/oorspronkelijke deel} = 2.10^{-3} / 10^{-2} = 0,20 \quad (20\%)$

- c Nieuwe gegevens in schema (**vetgedrukt**): Stel  $x \text{ mol.L}^{-1} \text{ H}_2$  toegevoegd. Hierdoor verschuift het evenwicht naar rechts.

	concentraties [ $\text{mol.L}^{-1}$ ]		
	CO	$\text{H}_2$	$\text{CH}_3\text{OH}$
( $t=t_i$ )	$8 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$
verstoring	$8 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3} + x$	$2 \cdot 10^{-3}$
(+/-)	$-3 \cdot 10^{-3}$	$-6 \cdot 10^{-3}$	$+3 \cdot 10^{-3}$
( $t=t_f$ )	$5 \cdot 10^{-3}$	$x - 3 \cdot 10^{-3}$	<b><math>5 \cdot 10^{-3}</math></b>

K blijft constant, dus de evenwichtsvoorwaarde ingevuld levert:

$$2,78 \cdot 10^4 = 5 \cdot 10^{-3} / \{5 \cdot 10^{-3} \cdot (x - 3 \cdot 10^{-3})^2\} \quad \text{ofwel:} \quad (x - 3 \cdot 10^{-3})^2 = 1 / (2,78 \cdot 10^4)$$

$$x - 3 \cdot 10^{-3} = \sqrt{3,6 \cdot 10^{-5}} \quad \text{hieruit bereken je: } x = 9 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}.$$

Er was dus een extra hoeveelheid  $\text{H}_2$  toegevoegd van  $9 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ .