

5 Evenwichten

Praktijk Ammoniak en kunstmest

vragen

- 1
 - a de industriële revolutie
 - b De landbouw werd intensiever bedreven waardoor tekorten aan mineralen ontstonden. Er ontstond door de toenemende vraag naar meststoffen een competitie tussen industrie en landbouw.
 - c Beide hadden stikstofhoudende grondstoffen nodig.

- 2
 - a Duitsland kreeg geen aanvoer meer van stikstofhoudende grondstoffen waar explosieven van gemaakt werden. Er moest een proces komen om zelf stikstofverbindingen te maken.
 - b Fritz Haber heeft de synthese van ammoniak uit stikstof en waterstof ontwikkeld en daarbij de juiste katalysator weten toe te passen.
 - c Carl Bosch heeft het proces weten op te schalen tot industrieel niveau.
 - d Hij ontving de Nobelprijs voor scheikunde vanwege zijn academische werk op het gebied van stikstofbinding.
 - e Carl Bosch in 1931 vanwege zijn baanbrekend werk in de hogedruktechnologie.

- 3
 - a De opbrengst neemt dan toe. Het evenwicht verschuift naar de kant van de minste gasdeeltjes.
 - b Bij een hogere temperatuur zie je dat de lijn steeds lager loopt.
 - c Bij hoge druk, bij gebruik van een katalysator en bij een hoge temperatuur. Alle drie verhogen de reactiesnelheid.

- 4
 - a methaan (aardgas) en water (stoom)
 - b $2 \text{CH}_4 + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{CO}_2 + 7 \text{H}_2$
 - c $\text{CO} + \text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
 - d uit de lucht
 - e water door afkoelen: condenseert tot water; koolstofdioxide leiden door kalkwater

- 5
 - a Waterstof produceren uit methaan en stoom kost energie; samenpersen van stikstof en waterstof kost energie; mengsel verhitten tot 450 °C kost energie.
 - b productie van ammoniak zelf; afkoelen van het ontstane gasmengsel
 - c versnellen van de reactie
 - d Je kunt dan bij een lagere temperatuur werken met eenzelfde opbrengst.
 - e hogere reactiesnelheid
 - f Het evenwicht ligt minder ver rechts.

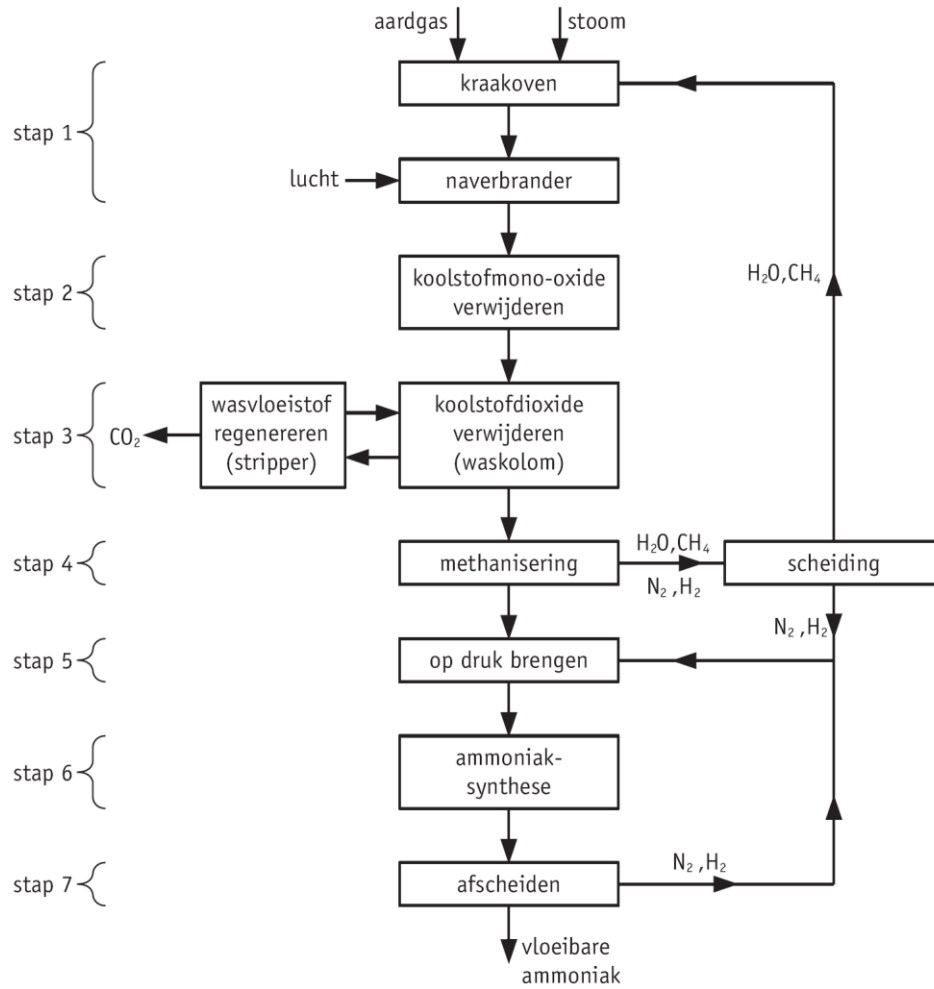
- 6
 - a $100 \text{ miljoen ton NH}_3 = 100 \cdot 10^{12} \text{ g} = 100 \cdot 10^{12} / 17,03 = 5,87 \cdot 10^{12} \text{ mol}$. Gevormd uit $2,94 \cdot 10^{12} \text{ mol}$ stikstof en $8,81 \cdot 10^{12} \text{ mol}$ waterstof. Dat is dan $2,94 \cdot 28,02 = 82 \text{ miljoen ton}$ stikstof en $8,81 \cdot 2,016 = 18 \text{ miljoen ton}$ waterstof
 - b nodig voor 82 miljard kg stikstof, dan $82 \text{ miljard} \cdot 35 \text{ MJ} = 2,9 \cdot 10^{12} \text{ MJ}$.

- 7 a De meeste ammoniak wordt omgezet in andere stoffen.
 b stap 1: $4 \text{NH}_3 + 5 \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{NO} + 6 \text{H}_2\text{O}$; stap 2: $2 \text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_2$;
 stap 3: $3 \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{HNO}_3 + \text{NO}$
 c Een katalysator kan steeds opnieuw gebruikt worden.
 d 8 miljoen ton = $8 \cdot 10^{12} \text{ g} = 8 \cdot 10^{12} / 63,01 = 1,3 \cdot 10^{11} \text{ mol}$. Dit is gevormd uit $1,5 \cdot 1,3 \cdot 10^{11} \text{ mol NO}_2$ die weer gevormd is uit eenzelfde hoeveelheid NO. En die hoeveelheid is weer gevormd uit eenzelfde hoeveelheid NH_3 , dus $1,9 \cdot 10^{11} \text{ mol NH}_3 = 1,9 \cdot 10^{11} \cdot 17,03 = 3,2 \cdot 10^{12} \text{ g} = 3 \text{ miljoen ton ammoniak}$.
- 8 a massa-% N = $\frac{28,02}{80,04} \cdot 100\% = 35,01\%$
 b Het is een goed oplosbaar zout.
 c Planten gebruiken heel veel stikstof bij de plantengroei: zie stikstofkringloop.
 d Nitraationen kunnen rechtstreeks door de planten gebruikt worden, ammoniumionen moeten eerst in nitraationen worden omgezet.
- 9 a $2 \text{NH}_3 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{NCONH}_2 + \text{H}_2\text{O}$
 b 130 miljoen ton ureum = $1,3 \cdot 10^{14} \text{ g ureum} = 1,3 \cdot 10^{14} / 60,06 = 2,2 \cdot 10^{12} \text{ mol}$. Dit is gevormd uit $4,3 \cdot 10^{12} \text{ mol NH}_3 = 7,4 \cdot 10^{13} \text{ g} = 74 \text{ miljoen ton ammoniak}$
 c Ammoniumnitraat: massa-% N = $\frac{28,02}{80,04} \cdot 100\% = 35,01\%$; ureum: massa-% N = $\frac{28,02}{60,06} \cdot 100\% = 46,65\%$.
 Klopt dus.
- 10 a Ureum bevat NH-groepen die met water H-bruggen kunnen vormen.
 b $4 \text{H}_2\text{NCONH}_2 + 6 \text{NO}_2 \rightarrow 7 \text{N}_2 + 4 \text{CO}_2 + 8 \text{H}_2\text{O}$
 c SCR staat voor Selective Catalytic Reduction. Het is een katalysator die selectief stikstofoxiden omzet in stikstof (= reductie)
 d Er wordt in de uitlaatgassen gemeten en bij hoge concentraties stikstofoxiden wordt ureumoplossing ingespoten.

onderzoeksopdracht

- 11 a $\text{N}_2(\text{g}) + 3 \text{H}_2(\text{g}) \xrightleftharpoons{\text{Fe-kat}} 2 \text{NH}_3(\text{g})$
 b $K = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2] \cdot [\text{H}_2]^3}$
 c Bij een hoge druk verschuift het evenwicht naar de kant van de minste gasdeeltjes dus naar rechts, de ammoniakkant.
 d De vorming van ammoniak is een exotherm proces.
 e Dan heb je toch per tijdseenheid de hoogste opbrengst aan ammoniak.
 f Reactie 1: $\Delta H^0 = -1,105 \cdot 10^5 + 0,76 \cdot 10^5 + 2,42 \cdot 10^5 = +2,08 \cdot 10^5 \text{ J}$.
 Reactie 2: $\Delta H^0 = -3,935 \cdot 10^5 + 1,105 \cdot 10^5 + 2,42 \cdot 10^5 = -0,41 \cdot 10^5 \text{ J}$.
 g Er is per mol water in reactie 1 meer warmte nodig dan dat er vrijkomt in reactie 2. Bovendien kan in reactie 2 nooit meer CO worden omgezet dan wordt gevormd in reactie 1, dus er zal verwarmd moeten worden.

h



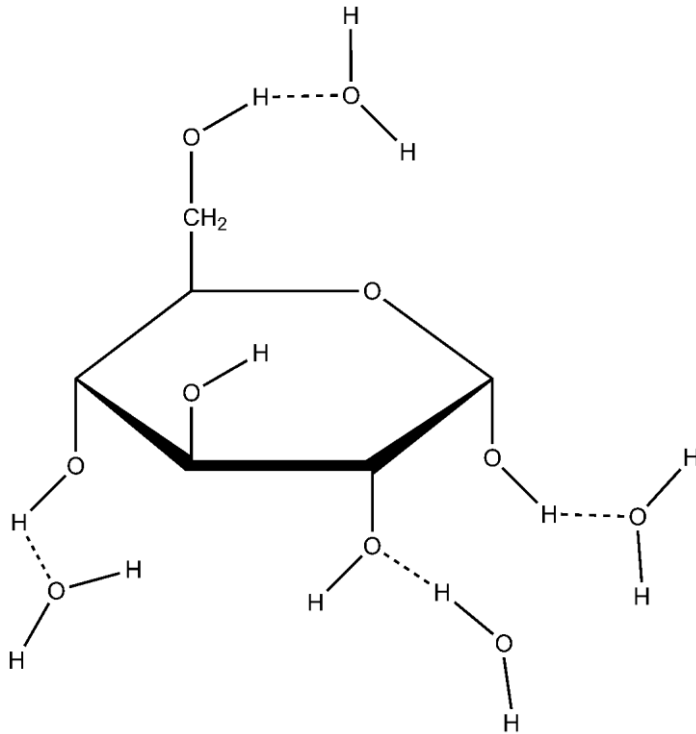
i Ammoniak heeft NH-groepen die onderling sterke H-bruggen kunnen vormen. Hierdoor is het kookpunt van ammoniak veel hoger dan van stikstof en waterstof.

j Er ontstaat 1 mol N_2 dus a mol lucht = $1/0,79 = 1,3$ mol lucht. Dan tevens 0,27 mol O_2 , dus dan 0,54 mol O. In b mol H_2O zit b mol O, in c mol CO_2 zit $2c$ mol O. De O-balans: $0,54 + b = 2c$. Dan b mol H_2O bevat $2b$ mol H en c mol CH_4 bevat $4c$ mol H en er wordt 6 mol H gevormd. De H-balans: $2b + 4c = 6$. Beide vergelijkingen leveren dan: $b = 1,23$ en $c = 0,89$

Praktijk Het koolzuurevenwicht

vragen

- 1 a $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O$
 b Het vormt H-bruggen met water omdat het veel OH-groepen bevat.



- 2 Voor een effectieve gasuitwisseling moet er een zo groot mogelijke oppervlakte zijn. Dit bereik je niet met een bolvormige, maar wel met een platte bloedcel.
- 3 Reactie 3 laat zien dat de zuurgraad hoger wordt wanneer de concentratie CO_2 hoger is. Het evenwicht verschuift dan naar rechts. In de spieren is de concentratie CO_2 het hoogst, dus ook de zuurgraad.
- 4 Wanneer de zuurgraad stijgt verschuift evenwicht 3 naar links; de CO_2 -concentratie neemt hierdoor toe. Hierdoor wordt er sneller een ademrikkel afgegeven. Je ademhalingsfrequentie neemt dus toe.
- 5 a $CO + Hb \rightleftharpoons Hb-CO$
 b Wanneer de concentratie O_2 verhoogd wordt, verschuift evenwicht 1 naar rechts. Hierdoor neemt de concentratie vrij hemoglobine (Hb) af en wordt er minder CO gebonden.
- 6 Trainen op grote hoogte zonder dat men al is aangepast aan de lagere zuurstofconcentratie is erg belastend. Wanneer men tijdens de rustperiodes het grootste gedeelte van de dag op grote hoogte doorbrengt, zal de hoeveelheid rode bloedlichaampjes toch wel toenemen, ook al traint men op lage hoogte.
- 7 Bij epogebruik worden er in korte tijd een grote hoeveelheid rode bloedcellen aangemaakt. Hierdoor zijn er relatief veel jonge rode bloedcellen aanwezig.
- 8 bloeddoping
- 9 eigen antwoord

onderzoeksoopdracht

- 10 $4,5 \cdot 10^{-7} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]}$
- 11 $4,5 \times 10^{-7} = \frac{7,2 \cdot 10^{-9} \cdot [\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]}$; $[\text{HCO}_3^-]:[\text{CO}_2]=62,5:1$
- 12 $[\text{HCO}_3^-] = \frac{0,144}{61,018} = 2,36 \cdot 10^{-3} \text{ M}$; $[\text{CO}_2] = \frac{2,36 \cdot 10^{-3}}{62,5} = 3,8 \cdot 10^{-5} \text{ M}$
- 13
- a $\frac{1,6 \cdot 10^{-8}}{7,2 \cdot 10^{-9}} = 2,2$
- b $1,6 \cdot 10^{-8} - 7,2 \cdot 10^{-9} = 8,8 \cdot 10^{-9} \text{ mol}$
- c $\frac{2,36 \cdot 10^{-3} + 8,8 \cdot 10^{-9}}{2,36 \cdot 10^{-3}} = 1$
- 14 Door verhoging van de CO_2 -concentratie neemt de H_3O^+ -concentratie toe en de HCO_3^- -concentratie niet (merkbaar). Daardoor verschuift evenwicht 2 naar links en neemt de concentratie CO_3^{2-} af.
- 15
- a $4,7 \cdot 10^{-11} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]}$
- b pH 8,14: $[\text{CO}_3^{2-}] = \frac{2,36 \cdot 10^{-3} \cdot 4,7 \cdot 10^{-11}}{7,2 \cdot 10^{-9}} = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ M}$
- pH 7,80: $[\text{CO}_3^{2-}] = \frac{2,36 \cdot 10^{-3} \cdot 4,7 \cdot 10^{-11}}{1,6 \cdot 10^{-8}} = 6,9 \cdot 10^{-6} \text{ M}$
- $\frac{1,5 \cdot 10^{-5}}{6,9 \cdot 10^{-6}} = 2,2$; de concentratie carbonaat is met een factor 2,2 afgenomen.
- 16 Bij een hogere zuurgraad neemt de carbonaatconcentratie af.
- 17 Bij hoge temperaturen is de oplosbaarheid van CO_2 in water veel kleiner. In de warme zone rond de evenaar neemt het zeewater dus veel minder CO_2 op dan in de koudere gebieden ten noorden en zuiden van de evenaar.

Theorie

1 Omkeerbare reacties

- 1
- $\text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{HCO}_3^-(\text{aq})$
 - $\text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{HCO}_3^-(\text{aq}) \rightarrow \text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$
 - De concentratie koolstofdioxide in het water bepaalt de richting. Dit is de enige factor die zichtbaar verandert: de concentratie Ca^{2+} en HCO_3^- blijven aanvankelijk immers gelijk.
- 2
- Een oplossing waarbij de maximale hoeveelheid van het zout is opgelost.
 - $\text{NaCl}(\text{s}) \xrightarrow{\text{oplossen}} \text{Na}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$
 - $\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) \xrightarrow{\text{afkoelen}} \text{NaCl}(\text{s})$
 - Het zout NaCl lost eerst op en slaat daarna weer neer.
 - De temperatuur, want bij verwarmen lost er meer op en bij afkoelen weer minder.
- 3
- $2 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$
 - Endotherm, want je hebt energie nodig.
 - knalgas
 - $2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$
 - Kringloop van het element zuurstof maar ook van het element waterstof want waterstof wordt water wordt waterstof, maar ook zuurstof wordt water wordt zuurstof.
 - Je hebt altijd dat elementen behouden blijven en dus een kringloop doorlopen.
- 4
- kobaltchloride zonder kristalwater is blauw, met kristalwater roze gekleurd
 - water dat ingebouwd is in het kristalrooster
 - Er staat dan altijd achteraan in de naam 'hydraat' vermeld.
 - wit kopersulfaat
 - $\text{CuSO}_4(\text{s}) + 5 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}(\text{s})$
 - Het wordt verhit, zodat het kristalwater weer verdwijnt.
 - $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}(\text{s}) \rightarrow \text{CuSO}_4(\text{s}) + 5 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$
- 5
- de vorming en verbranding van glucose
 - de fotosynthese en de verbranding van glucose in onze cellen.
 - $n \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow (\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n + n \text{H}_2\text{O}$
 - brandstof
 - $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n + n \text{H}_2\text{O} \rightarrow n \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$: dit is de omgekeerde reactie van vraag c.
 - amylase is een enzym, een biokatalysator
- 6
- Hemoglobine, dat bindt zuurstof en koolstofdioxide.
 - De concentratie: in de longen is de zuurstofconcentratie hoog, in de cellen de koolstofdioxideconcentratie.
 - Koolstofmono-oxide bindt sterk en gaat niet meer van die bindingsplaats af. Zodoende kan er steeds minder zuurstof gebonden worden.
- 7
- Oneens: er vinden nog steeds reacties plaats maar wel met dezelfde snelheid.
 - Dit geldt alleen als er evenwicht is.
 - Alleen bij evenwicht verandert de concentratiebreuk niet meer (bij constante temperatuur).
 - Oneens: de insteltijd is de tijd tot evenwicht bereikt is.

- 8
- a $Q_c = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{NO}]^2 \cdot [\text{O}_2]}$
- b $Q_c = \frac{[\text{Fe}^{2+}]^2 \cdot [\text{I}_2]}{[\text{Fe}^{3+}]^2 \cdot [\text{I}^-]^2}$
- c $Q_c = \frac{[\text{Mn}^{2+}] \cdot [\text{Fe}^{3+}]^5}{[\text{MnO}_4^-] \cdot [\text{H}^+]^8 \cdot [\text{Fe}^{2+}]^5}$
- d $Q_c = \frac{[\text{PCl}_5]}{[\text{PCl}_3] \cdot [\text{Cl}_2]}$

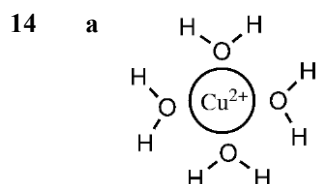
2 Homogene mengsels en homogene evenwichten

- 9
- Oneens, homogeen kan ook allemaal opgeloste deeltjes zijn.
 - Oneens, de waarde van K verandert alleen als de temperatuur verandert.
 - Eens, de waarde van de evenwichtsconstante, K , is alleen afhankelijk van de temperatuur.
 - Eens: de evenwichtsvoorwaarde wordt weergegeven.
 - Eens: dit geldt altijd als er evenwicht is.
- 10
- Bij stijgende concentratie heb je meer deeltjes in dezelfde ruimte, dus meer botsingen en meer effectieve botsingen in dezelfde tijd.
 - Alles is in dezelfde fase aanwezig dus je hebt geen grensvlak.
 - Een gasmengsel kun je samenpersen, een vloeistofmengsel niet. De vorming van ammoniak kun je versnellen door het gasmengsel samen te persen.

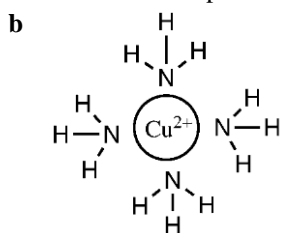
- 11
- $\text{CO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{aq})$
 - $K_c = \frac{[\text{H}_2\text{CO}_3]}{[\text{CO}_2]}$; $K_c = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+] \cdot [\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}$

- 12
- Alle drie de stoffen zijn in dezelfde fase aanwezig.
 - $K_c = \frac{[\text{PCl}_5]}{[\text{PCl}_3] \cdot [\text{Cl}_2]} = \frac{4,2 \cdot 10^{-5}}{1,3 \cdot 10^{-2} \cdot 3,9 \cdot 10^{-2}} = 8,3 \cdot 10^{-2}$
 - Het evenwicht ligt links want $K < 1$.

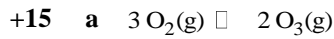
- 13
- $Q_c = \frac{[\text{I}]^2}{[\text{I}_2]} = \frac{(4,0 \cdot 10^{-9})^2}{4,0 \cdot 10^{-3}} = 4 \cdot 10^{-15}$, dus niet gelijk aan de waarde van K .
 - Er zal nog I_2 omgezet gaan worden in I .



Het koper(II)ion wordt omgeven door watermoleculen waarbij de negatieve kant van het watermolecuul zich richt naar het positieve metaalion.



- De lichtblauwe kleur verandert in donkerblauw, want $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})$ verandert in $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$.
- $K_c = \frac{[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}]}{[\text{Cu}^{2+}] \cdot [\text{NH}_3]^4}$
- In Binas staat het evenwicht net andersom, dus hier geldt $K_c = 1/7,1 \cdot 10^{-14} = 1,4 \cdot 10^{13}$.



b $K_c = \frac{[\text{O}_3]^2}{[\text{O}_2]^3}$

c Molair volume is 164 dm^3 dus $1,00 \text{ mol} = 1/164 = 6,10 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$. Ozongehalte is 2,0 volume-ppm, dus $2,0 \cdot 10^{-6} \text{ L per L}$. Dan $2,0 \cdot 10^{-6} \cdot 6,10 \cdot 10^{-3} = 1,22 \cdot 10^{-8} \text{ mol L}^{-1}$.

$[\text{O}_2] = 6,10 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ en $[\text{O}_3] = 1,22 \cdot 10^{-8} \text{ mol L}^{-1}$. $K_c = \frac{[\text{O}_3]^2}{[\text{O}_2]^3} = \frac{(1,22 \cdot 10^{-8})^2}{(6,10 \cdot 10^{-3})^3} = 6,56 \cdot 10^{-10}$.

+16 $K_c = \frac{[\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}]}{[(\text{CH}_2)_2\text{O}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}$

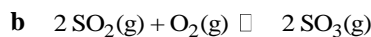
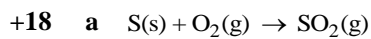
+17 a aan de linkerkant want $K < 1$

b $K_c = \frac{[\text{NO}]^2}{[\text{N}_2] \cdot [\text{O}_2]}$

c Het evenwicht staat net andersom dus $K'_c = 1/1,7 \cdot 10^{-3} = 5,9 \cdot 10^2$.

d $K_c = \frac{[\text{NO}]}{[\text{N}_2]^{1/2} \cdot [\text{O}_2]^{1/2}}$

e Deze K''_c is $\sqrt{K_c} = \sqrt{1,7 \cdot 10^{-3}} = 4,1 \cdot 10^{-2}$.

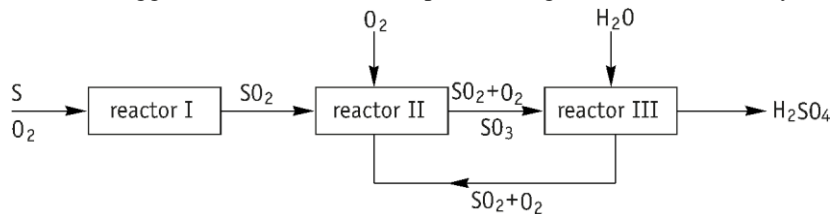


c homogeen evenwicht want alle stoffen in dezelfde fase.

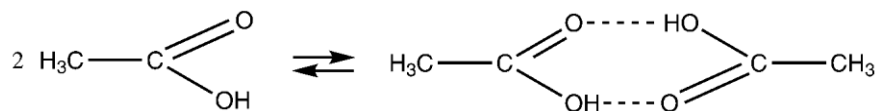
d zwaveltrioxide

e Dat zal teruggeleid worden zodat het opnieuw omgezet kan worden (recycling).

f



+19 a Er worden H-bruggen gevormd tussen de zuurgroepen van twee azijnzuurmoleculen:



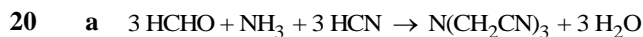
b Stel dat $x\%$ van het azijnzuur is omgezet in dimeren. Dan $(100-x)\%$ niet omgezet. Dan

$[\text{monomeer}] = \frac{100-x}{100} \cdot 5,4 \cdot 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ en $[\text{dimeer}] = \frac{x/2}{100} \cdot 5,4 \cdot 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$. Ingevuld in

$K_c = \frac{[\text{dimeer}]}{[\text{monomeer}]^2} = \frac{\frac{x/2}{100} \cdot 5,4 \cdot 10^{-4}}{\left(\frac{100-x}{100} \cdot 5,4 \cdot 10^{-4}\right)^2} = 3,2 \cdot 10^4$ levert dit op $x = 97\%$.

c de H-bruggenbinding tussen de azijnzuurmoleculen

d De $[\text{dimeer}]$ neemt af (en dus neemt de $[\text{monomeer}]$ toe) waardoor de waarde van K_c daalt.



b $K_1 = \frac{[\text{CaNTA}^-]}{[\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{NTA}^{3-}]} ; K_2 = \frac{[\text{CaCit}^-]}{[\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{Cit}^{3-}]}$

c Evenwicht 1 ligt meer naar rechts dan evenwicht 2. Je hebt dus minder mol Na_3NTA nodig dan Na_3Cit om dezelfde hoeveelheid Ca^{2+} te binden (verlaging van $[\text{Ca}^{2+}]$) te bewerkstelligen.

of

(Wanneer K_1 groter is dan K_2 ligt evenwicht 1 meer rechts dan evenwicht 2). Door NTA^{3-} wordt (dus) meer Ca^{2+} gebonden dan door dezelfde hoeveelheid Cit^{3-} . Om dezelfde hoeveelheid Ca^{2+} te binden, kan hij dus het beste Na_3NTA gebruiken.

d $[\text{CaCit}^-] = 2,0 \cdot 10^{-3} - 1,0 \cdot 10^{-5} = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$;

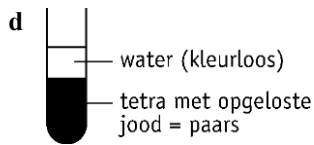
$$K_2 = \frac{[\text{CaCit}^-]}{[\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{Cit}^{3-}]} = \frac{2,0 \cdot 10^{-3}}{1,0 \cdot 10^{-5} \cdot [\text{Cit}^{3-}]} \text{ dus } [\text{Cit}^{3-}] = 3,2 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}.$$

e aantal mol Na_3Cit nodig per liter = $3,2 \cdot 10^{-2} + 2,0 \cdot 10^{-3} = 3,2 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$

massa van $3,2 \cdot 10^{-2} \text{ mol Na}_3\text{Cit} = 3,2 \cdot 10^{-2} \cdot (3 \cdot 22,99 + 6 \cdot 12,01 + 5 \cdot 1,008 + 7 \cdot 16,00) = 8,8$
gram

3 Heterogeen evenwicht

- 21
- a $K_c = [\text{Ba}^{2+}(\text{aq})] \cdot [\text{SO}_4^{2-}(\text{aq})]$
- b $K_c = \frac{[\text{I}_2(\text{aq})]}{[\text{Cu}^{2+}(\text{aq})] \cdot [\text{I}^-(\text{aq})]^3}$
- c $K_c = \frac{[\text{Fe}^{2+}(\text{aq})]^3}{[\text{Fe}^{3+}(\text{aq})]^2}$
- d $K_c = [\text{Ag}^+(\text{aq})]^3 \cdot [\text{PO}_4^{3-}(\text{aq})]$
- e $K_c = \frac{1}{[\text{O}_2(\text{aq})]}$
- 22
- a $\text{C}_{10}\text{H}_8(\text{s}) \rightleftharpoons \text{C}_{10}\text{H}_8(\text{g})$
- b $K_c = [\text{C}_{10}\text{H}_8(\text{g})]$
- 23
- a suspensie
- b $\text{PbCl}_2(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{Cl}^-(\text{aq})$; $\text{PbF}_2(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{F}^-(\text{aq})$
- c $K_s = [\text{Pb}^{2+}(\text{aq})] \cdot [\text{Cl}^-(\text{aq})]^2 = 1,7 \cdot 10^{-5}$. Met $[\text{Pb}^{2+}(\text{aq})] = x \text{ mol L}^{-1}$ en $[\text{Cl}^-(\text{aq})] = 2x \text{ mol L}^{-1}$:
 $x \cdot (2x)^2 = 1,7 \cdot 10^{-5}$ levert dit $[\text{Pb}^{2+}(\text{aq})] = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$.
- d $K_s = 1,9 \cdot 10^{-4} \cdot (3,8 \cdot 10^{-4})^2 = 2,7 \cdot 10^{-11}$.
- e Nee, want de oplosbaarheid in de reeks PbCl_2 , PbBr_2 , PbI_2 neemt alleen maar af, dus als het in de reeks had gepast zou de waarde groter moeten zijn dan de waarde van PbCl_2 .
- 24
- a $\text{SO}_2(\text{g}) + \text{V}_2\text{O}_5(\text{s}) \rightleftharpoons \text{SO}_3(\text{g}) + \text{V}_2\text{O}_4(\text{s})$; $2 \text{V}_2\text{O}_4(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{V}_2\text{O}_5(\text{s})$
- b V_2O_5 wordt wel gebruikt maar niet verbruikt, na afloop heb je weer dezelfde stof terug.
- c Het zijn verbindingen van metaal- en niet-metaal-atomen.
- d V_2O_5 : vanadium(V)oxide; V_2O_4 : vanadium(IV)oxide.
- e Beide stoffen zijn niet in dezelfde fase aanwezig.
- f $K_c = \frac{[\text{SO}_3(\text{g})]}{[\text{SO}_2(\text{g})]}$
- +25
- a $\text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{PbSO}_4(\text{s})$; $\text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) \rightleftharpoons \text{BaSO}_4(\text{s})$
- b Lood(II)sulfaat: $\text{PbSO}_4(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ $K_s = 2,5 \cdot 10^{-8} = 0,010 \cdot [\text{SO}_4^{2-}]$, dus $[\text{SO}_4^{2-}] = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$. $\text{BaSO}_4(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ Ingevuld in $K_s = 1,1 \cdot 10^{-10} = [\text{Ba}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}]$ levert dit $[\text{Ba}^{2+}] = 4,4 \cdot 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$.
- c 1 m^3 afvalwater bevat 10 mol Ba^{2+} . Dan ook nodig 10 mol sulfaationen. Dus nodig 10 L $1,0 \text{ M}$ natriumsulfaatoplossing.
- d Voeg zo veel natriumsulfaatoplossing toe dat alleen bariumsulfaat neerslaat. Filtreer de oplossing en voeg dan aan het filtraat overmaat natriumsulfaatoplossing toe. Alle lood(II)ionen zullen dan als lood(II)sulfaat neerslaan.
- +26
- a Oplosbaarheid is $\sqrt{1,8 \cdot 10^{-10}} = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$.
- b In Binas staat het evenwicht net andersom weergegeven.
- c $K_3 = K_1 \cdot K_2 = 1,8 \cdot 10^{-10} \cdot 1,7 \cdot 10^7 = 3,1 \cdot 10^{-3}$
- d $K_3 = \frac{[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+(\text{aq})] \cdot [\text{Cl}^-(\text{aq})]}{[\text{NH}_3(\text{aq})]^2} = 3,1 \cdot 10^{-3}$. Dus: $\frac{x^2}{1,0^2} = 3,1 \cdot 10^{-3}$ levert $x = 5,6 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$.
- +27
- a Water is polair, tetra is apolair (hydrofoob)
- b lichtgeel tot lichtbruin
- c Tetra vormt de onderste laag, want tetra heeft een grotere dichtheid dan water.



e $1,5 \text{ mg I}_2 = 1,5 \cdot 10^{-3} / 253,8 = 5,9 \cdot 10^{-6} \text{ mol}$. $[\text{I}_2(\text{tetra})] = 85,0 \cdot [\text{I}_2(\text{aq})]$. Stel $x \text{ mol I}_2(\text{aq})$ in $5,0 \text{ mL}$ en dan

$(5,9 \cdot 10^{-6} - x) \text{ mol I}_2(\text{tetra})$ in 10 mL tetra . Invullen levert: $(5,9 \cdot 10^{-6} - x) / 0,010 = 85,0 \cdot x / 0,005$, dus $x = 3,45 \cdot 10^{-8}$. $[\text{I}_2(\text{aq})] = 3,5 \cdot 10^{-8} / 0,005 = 6,9 \cdot 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$ en $[\text{I}_2(\text{tetra})] = 85 \cdot 7,0 \cdot 10^{-6} = 5,9 \cdot 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$.

28 Antwoord B is juist. Het oplosbaarheidsproduct $K_s = 6,8 \cdot 10^{-6}$. $[\text{Mg}^{2+}(\text{aq})] = [\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})] = \sqrt{6,8 \cdot 10^{-6}} = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$. Volumeafname is 380 mL , dus $0,38 \cdot 2,6 \cdot 10^{-3} = 9,9 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$. Dat komt overeen met $9,9 \cdot 10^{-4} \cdot 84,32 = 0,084 \text{ g}$.

29 Antwoord C is juist.

$$K_s = [\text{Ca}^{2+}(\text{aq})] \cdot [\text{F}^{-}(\text{aq})]^2 = 1,5 \cdot 10^{-11}. \text{ Dan } [\text{F}^{-}(\text{aq})] = 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,5 \cdot 10^{-11}}{4}} = 3,1 \cdot 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}.$$

30 In 1 liter zit $0,0050 \text{ mol AgNO}_3$, NaCl en NaBr . Slaan beide zouten AgBr en AgCl wel neer? Stel: het slechtst oplosbare AgBr slaat neer: $[\text{Ag}^{+}] = [\text{Br}^{-}] = \sqrt{5,4 \cdot 10^{-13}} = 7,4 \cdot 10^{-7} \text{ mol L}^{-1}$. $[\text{Cl}^{-}] = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$, dus $[\text{Ag}^{+}] \cdot [\text{Cl}^{-}] = 7,4 \cdot 10^{-7} \cdot 5,0 \cdot 10^{-3} = 3,7 \cdot 10^{-9} > 1,8 \cdot 10^{-10}$; dus ook neerslag AgCl .

In de oplossing geldt $K_s(\text{AgCl}) = [\text{Ag}^{+}] \cdot [\text{Cl}^{-}]$ en $K_s(\text{AgBr}) = [\text{Ag}^{+}] \cdot [\text{Br}^{-}]$.

$[\text{Cl}^{-}] = 1,8 \cdot 10^{-10} / [\text{Ag}^{+}]$ en $[\text{Br}^{-}] = 5,4 \cdot 10^{-13} / [\text{Ag}^{+}]$. Dus $[\text{Cl}^{-}] = 333 \cdot [\text{Br}^{-}]$.

Verder: ionenbalans $[\text{Ag}^{+}] + [\text{Na}^{+}] = [\text{Br}^{-}] + [\text{Cl}^{-}] + [\text{NO}_3^{-}]$. Na invullen: $[\text{Ag}^{+}] + 0,010 = [\text{Br}^{-}] + 333 \cdot [\text{Br}^{-}] + 0,0050$. Hierbij is $[\text{Ag}^{+}] \ll 0,010$, dus verwaarloosbaar ten opzichte van $0,010$.

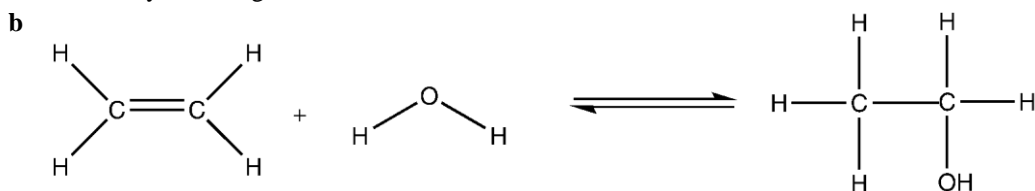
Dit levert dan: $0,0050 = 334 \cdot [\text{Br}^{-}]$, dus $[\text{Br}^{-}] = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$. En met $[\text{Cl}^{-}] = 333 \cdot [\text{Br}^{-}]$ levert dat $[\text{Cl}^{-}] = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$. En dan $[\text{Ag}^{+}] = 3,6 \cdot 10^{-8} \text{ mol L}^{-1}$.

4 Veranderingen aan het evenwicht

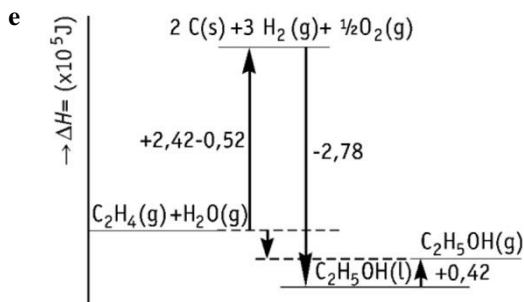
- 31 a Drukverhoging laat het evenwicht verschuiven naar de kant van de minste gasdeeltjes, dus naar rechts.
 b naar de kant van de minste gasdeeltjes dus naar links
 c naar de kant van de minste gasdeeltjes dus naar links

- 32 a Een katalysator heeft geen invloed op de ligging van een evenwicht, maar laat het evenwicht alleen sneller instellen.
 b Bij temperatuurverhoging verschuift het evenwicht naar de endotherme kant, dus naar links.
 c Bij drukverhoging verschuift het evenwicht naar de kant van de minste gasdeeltjes, dus naar rechts.
 d Je verhoogt dan de CO₂-concentratie, dus zal de reactiesnelheid naar links enige tijd groter zijn dan de reactiesnelheid naar rechts dus verschuift het evenwicht naar links.
 e Je verhoogt dan de druk maar de botsingen met neon leveren niets op. De concentraties zullen niet veranderen, dus de ligging van het evenwicht ook niet.

- 33 a Een katalysator zorgt ervoor dat het evenwicht zich sneller instelt.



- c Bij hoge druk verlopen de reacties sneller en verschuift het evenwicht naar de kant van de minste gasdeeltjes, dus naar rechts.
 d Het voordeel is dat bij een hogere temperatuur de reacties sneller verlopen; het nadeel is dat het evenwicht naar de endotherme kant, dus naar links verschuift.



- 34 a Bismuth is een metaal, zuurstof en chloor zijn niet-metalen, dus is het een zout.

b
$$K_c = \frac{[\text{H}^+(\text{aq})]^2 [\text{Cl}^-(\text{aq})]^2}{[\text{Bi}^{3+}(\text{aq})] [\text{Cl}^-(\text{aq})]^3} = \frac{[\text{H}^+(\text{aq})]^2}{[\text{Bi}^{3+}(\text{aq})] [\text{Cl}^-(\text{aq})]}$$

- c Toevoegen van water verlaagt de concentraties van alle opgeloste stoffen. De concentratiebreuk zal daardoor niet veranderen. Werk je met Bi³⁺ en 3 Cl⁻, dan gebeurt er niets.
 d Als geconcentreerd HCl wordt toegevoegd, verhoog je de H⁺-concentratie sterk waardoor het evenwicht sterk verschuift naar links en (vrijwel) alle BiOCl omgezet wordt.

35 a
$$K_c = \frac{[\text{CH}_3\text{OH}(\text{g})]}{[\text{CO}(\text{g})] \cdot [\text{H}_2(\text{g})]^2}$$

- b ΔH^0 is de som van de vormingswarmte van methanol(l), de verdampingswarmte van methanol(l) en de ontledingswarmte van CO. Dus $\Delta H^0 = -239 + 37 + 110,5 \text{ kJ} = -91 \text{ kJ mol}^{-1}$.
 c Bij temperatuursverhoging verschuift het evenwicht naar links, de endotherme kant, dus een lagere opbrengst.
 d Bij samenpersen verschuift het evenwicht naar rechts, de kant van de minste gasdeeltjes, dus een hogere opbrengst.

- e Een katalysator heeft geen invloed op de ligging van het evenwicht, dus een even grote opbrengst.
- 36**
- a Niets, want een vaste stof heeft geen invloed op de ligging van een evenwicht.
 - b Dan verhoog je de OH^- concentratie waardoor het evenwicht naar links verschuift.
 - c Fe^{3+} bindt CN^- ionen tot een complex ion. Dit evenwicht (zie Binas tabel 47) ligt zeer sterk aan de kant van het complexe ion dus de CN^- concentratie wordt zeer laag waardoor het goud-evenwicht naar links aflopend wordt.
- 37** Antwoord A is juist. Volumetoename betekent verlaging van de concentraties. Het evenwicht verschuift dan naar de kant van de meeste deeltjes in de gasfase.
- 38** Antwoord C is juist. Bij constante druk neemt door toevoegen van helium het volume toe dus minder gasdeeltjes per liter. Gevolg is dat het evenwicht verschuift naar kant met de meeste gasdeeltjes dus naar rechts, dus meer PCl_3 .
- 39** Antwoord B is juist. Bij temperatuurverhoging verschuift het evenwicht naar de endotherme kant dus naar links. Bij volumevergroting verschuift het evenwicht naar de kant met de meeste gasdeeltjes, dus naar rechts. Bij samenpersen verschuift het evenwicht naar de kant van de minste gasdeeltjes dus naar links. Een katalysator heeft geen invloed op de ligging van een evenwicht.
- 40** Antwoord B is juist. Verhogen van de druk heeft geen invloed want links en rechts evenveel gasdeeltjes; bij verhoging van de temperatuur verschuift het evenwicht naar de endotherme kant, dus naar rechts.

5 Entropie

- 41
- a Oneens, reactiesnelheid staat los van het feit of een reactie al dan niet spontaan verloopt.
 - b Oneens, bij een spontaan verlopend proces neemt de totale entropie wel toe maar kan de entropie van het systeem toch afnemen.
 - c Eens, niet spontaan betekent dat je die reactie moet dwingen. Dat betekent dat de teruggaande reactie wel spontaan verloopt als die reactie eenmaal gestart is.
- 42
- a Niet spontaan: water befrist bij 273 K, dus zal niet spontaan bij 275 K bevriezen
 - b Spontaan: ijzer roest spontaan als het in contact komt met water en zuurstof al zal de reactiesnelheid laag zijn.
 - c Spontaan, want de entropie neemt dan sterk toe.
 - d Spontaan, want de deeltjes krijgen dan veel meer mogelijkheden van plaats en beweging
 - e Niet spontaan, want de entropie neemt daardoor af.
- 43
- a $\Delta S_{\text{systeem}} < 0$ want bij bevriezen neemt het aantal mogelijkheden van plaats af.
 - b $\Delta S_{\text{systeem}} < 0$ want ijzerroest heeft minder mogelijkheden van plaats dan de afzonderlijke stoffen.
 - c $\Delta S_{\text{systeem}} > 0$ want het aantal mogelijkheden van plaats neemt door het oplossen sterk toe.
 - d $\Delta S_{\text{systeem}} > 0$ want het aantal mogelijkheden van plaats neemt toe.
 - e $\Delta S_{\text{systeem}} < 0$ want de vaste stof heeft minder mogelijkheden van plaats dan de stof in oplossing.
- 44 Niet juist, het gaat om de totale entropieverandering van systeem en omgeving.
- 45
- a $\Delta S_{\text{omgeving}} = \Delta S_{\text{systeem}} - \Delta H/T$
 - b Je kunt berekenen bij welke temperatuur Gibbs vrije energie de waarde 0 oplevert want als $\Delta G^0 < 0$ dan verloopt de reactie spontaan.
- 46
- a $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$
 - b Voor de reactie naar rechts geldt dat $\Delta S_{\text{systeem}} > 0$ maar dat $-\Delta H/T < 0$ is want de reactie naar rechts is endotherm.
 - c $\Delta S^0_{\text{systeem}} = S^0_{\text{CaO}} + S^0_{\text{CO}_2} - S^0_{\text{CaCO}_3} = 38 + 214 - 92 = 160 \text{ J K}^{-1}$
 $\Delta H^0 = -6,35 \cdot 10^5 - 3,935 \cdot 10^5 + 12,08 \cdot 10^5 \text{ J} = +1,795 \cdot 10^5 \text{ J}$
 Nu moet gelden dat: $\Delta G^0 < 0$ dus $\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0 = +1,795 \cdot 10^5 - T \cdot 160 < 0$, dus: $T > 1122 \text{ K}$.
- 47 $\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0$ en $\Delta S^0_{\text{totaal}} = \Delta S^0_{\text{systeem}} - \Delta H/T$. Uit de tweede vergelijking is af te leiden: $T\Delta S^0_{\text{totaal}} = T\Delta S^0_{\text{systeem}} - \Delta H = -\Delta G^0$
- +48
- a Ja, een katalysator verhoogt de reactiesnelheid.
 - b Ja, een katalysator verhoogt beide reacties met eenzelfde factor.
 - c Nee, het spontaan verlopen is afhankelijk van andere factoren: totale entropie.
 - d Nee, is afhankelijk van begin en eind, niet van gevolgde weg.
 - e Nee, is afhankelijk van begin en eind, niet van gevolgde weg.
 - f Nee, is afhankelijk van begin en eind, niet van gevolgde weg.
 - g Nee, waarde is onafhankelijk van katalysator want een katalysator heeft geen invloed op de ligging van het evenwicht.
 - h Ja, want een katalysator laat reacties sneller verlopen dus eerder evenwicht.

- +49 a benzeen: $87,2 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
 toluen: $85,2 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
 tetra: $85,2 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
 chloroform: $87,4 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
 methanol: $105 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$

Conclusie: regel geldt niet voor methanol.

b Het kookpunt is een maat voor de bindingssterkte tussen de moleculen. Verdampingswarmte is ook afhankelijk van de bindingssterkte.

c Methanol: methanol heeft naast de vanderwaalsbinding ook H-bruggenbinding. Hierdoor krijg je afwijkende waarden.

- 50 Antwoord C is juist. Bij A neemt de bewegingsvrijheid af; bij B neemt de hoeveelheid gas af evenals bij D; bij C wordt uit een vloeistof een gas gevormd.

- 51 a ammoniumnitraat: NH_4NO_3 , ofwel $\text{N}_2\text{H}_4\text{O}_3$, en ureum $\text{N}_2\text{H}_4\text{CO}$ bevatten beide evenveel stikstof.
 $M_{\text{ureum}} < M_{\text{ammoniumnitraat}}$, dus bevat ureum een hoger massapercentage N.

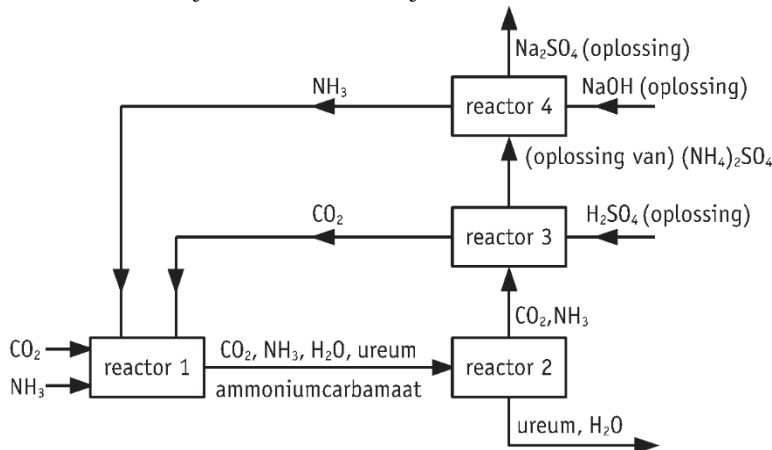
b
$$\frac{\text{CO}_2}{\text{NH}_3} = \frac{1,00 - 0,60}{2,95 - 0,60 \times 2} = \frac{0,40}{1,75}$$

c De temperatuur in reactor 2 moet hoog zijn, want de reactie naar rechts in evenwicht 1 is exotherm / de reactie naar links in evenwicht 1 is endotherm.

De druk in reactor 2 moet laag zijn, want links van het evenwichtsteken staat meer mol gas dan rechts van het evenwichtsteken.

d Voorbeelden van juiste antwoorden zijn NaOH en Na_3PO_4 .

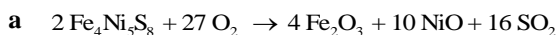
e



- 52 a aantal mol omgezet Cl_2 : $0,100 \cdot 0,85 = 0,085 \text{ mol}$; eindconcentratie $\text{Cl}_2 = (0,100 - 0,085)/1,0 = 0,015 \text{ M}$
 aantal mol omgezet $\text{NO} = 2 \cdot 0,085 = 0,17 \text{ mol}$; eindconcentratie $\text{NO} = (0,200 - 0,17)/1,0 = 0,03 \text{ M}$
 aantal mol gevormd $\text{NOCl} = 2 \cdot 0,085 = 0,17 \text{ mol}$; eindconcentratie $\text{NOCl} = (0,17)/1,0 = 0,17 \text{ M}$.
 $K = 0,17^2 / (0,03^2 \cdot 0,015) = 2,1 \cdot 10^3$.

b –Bij hogere temperatuur ligt het evenwicht meer aan de endotherme kant, dus meer links. Dus er is minder chloor omgezet.

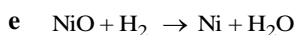
53 **eindopdracht – Pentlandiet**



b Zwaveldioxide veroorzaakt zure regen.

c 4Fe^{3+} is samen $12+$; 5Ni^{2+} is samen $10+$; 8S^{2-} is samen $16-$. $22+$ en $16-$ is niet samen 0.

d
$$\text{massa-\% Ni} = \frac{293,55}{773,43} \cdot 100\% = 37,95\%$$



f Een katalysator laat de reactie sneller verlopen.

g
$$K = \frac{[\text{Ni}(\text{CO})_4]}{[\text{CO}]^4}$$

h Bij 330 K ligt het evenwicht uiterst rechts, bij 500 K uiterst links. Dus K_{330} is groter dan K_{500} .

i Evenwicht verschuift bij temperatuursverhoging naar links dus reactie naar links is endotherm, dus reactie naar rechts exotherm.

j In reactor 3 is de temperatuur 330 K, in reactor 4 500 K. In reactor 3 wordt het complexe deeltje gevormd dat in reactor 4 weer ontleedt.

k Het aantal gasdeeltjes neemt af terwijl de reactie exotherm is. De beide factoren in Gibbs vrije energie werken elkaar dus tegen.

l

