

TF1 6 VWO (H1+4+5+7+8+9+10+11+15) Oefenopgaven H1+4+8+9+10+11

antwoordmodel

zie voor H11 ook http://willdewolf.nl/5-VWO/H11_5VWO.pdf

H1 + 4: Zouten en Reacties met zoutoplossingen

Germanium

Germanium (symbool Ge) wordt toegepast in de chipsindustrie. Bij een dergelijke toepassing speelt het aantal elektronen een belangrijke rol.

- 1 Hoe groot is het aantal elektronen in een atoom germanium?

Het aantal elektronen is 32 (gelijk aan het aantal protonen in een Ge atoom, zie atoomnummer in Binas tabel 40A)

Naast germanium wordt in de chipsindustrie ook zeer veel silicium toegepast. Silicium en germanium hebben overeenkomstige chemische eigenschappen.

- 2 Geef aan hoe uit het periodiek systeem blijkt dat germanium en silicium overeenkomstige chemische eigenschappen hebben.

Germanium(atoomnummer 32) staat onder silicium(atoomnummer 14) in de 14^e groep van het periodiek systeem. Dit verklaart de chemische verwantschap.

Thallium

Van het element thallium, symbool Tl, atoomnummer 81, komen zowel thallium(I)ionen als thallium(III)ionen voor.

- 3 Leg uit welke van beide ionsoorten je zou verwachten op grond van de plaats van thallium in het periodiek systeem.

Thallium (atoomnummer 81) staat onder aluminium (atoomnummer 13) in het periodiek systeem. Je kunt dus thallium(III)ionen verwachten (net als Al³⁺).

Ionen zijn opgebouwd uit protonen, neutronen en elektronen. Van één van deze drie soorten deeltjes heeft een thallium(I)ion een ander aantal dan een thallium(III)ion.

- 4 Neem de volgende zin over, vul op de plaats van de puntjes een woord in en kies bij "meer/minder" het juiste woord:

Een thallium(I)ion heeft twee meer/minder dan een thallium(III)ion.

Een thallium(I)ion (met formule Tl⁺) heeft twee elektronen meer dan een thallium(III)ion (met formule Tl³⁺).

Ammoniumchloride

Men heeft een hoeveelheid ammoniumchloride. NH₄Cl.

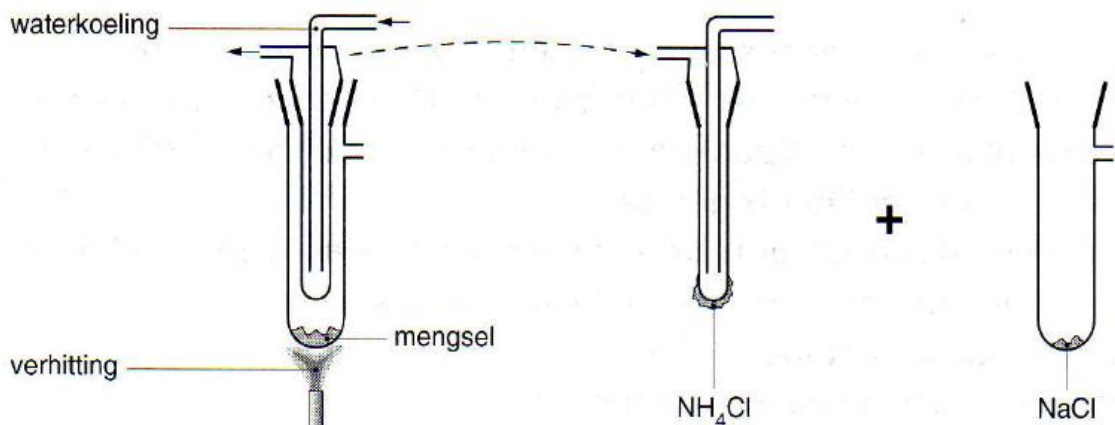
- 5 Beredeneer hoeveel elektronen in het ion NH₄⁺ voorkomen.

De positieve lading van NH₄⁺ duidt erop, dat het aantal protonen in dit deeltje één hoger is dan het aantal elektronen. Het totaal aantal protonen volgt uit de atoomnummers van N en H (resp. 7 en 1): 7 + 4 = 11 protonen. Het totaal aantal elektronen in NH₄⁺ bedraagt 11 - 1 = 10.

Men verhit een deel van het ammoniumchloride in een reageerbuis. Na enige tijd heeft zich in het koude gedeelte van de buis een witte vaste stof afgezet. Bij nader onderzoek blijkt deze stof ammoniumchloride te zijn.

- 6 Beschrijf, op basis van deze proef, een methode om een mengsel van ammoniumchloride en natriumchloride te scheiden.

De methode moet gebaseerd zijn op het verschil in vluchtigheid van de zouten. Vervang de reageerbuis in de beschreven proef door het onderstaande toestel of een vergelijkbaar opstelling. Na verhitting van het mengsel zit het vaste NH₄Cl aan de (gekoelde) middenbuis terwijl NaCl op de bodem achterblijft.



Zwavel

Het element zwavel komt voor als een vaste stof met formule $S_8(s)$.

- 7 Welke twee bindingstypen komen in deze stof voor?

De formule S_8 betekent dat zwavel als vaste stof is opgebouwd uit S_8 moleculen. Deze moleculen zijn onderling verbonden door zwakke bindingen: vanderwaalsbinding of molecuulbinding. De acht zwavelatomen in het (ringvormige) molecuul zijn door gemeenschappelijke elektronenparen gebonden: atoombinding of covalente binding.

In sommige verbindingen komt zwavel voor als S^{2-} -ion.

- 8 Beredeneer hoeveel elektronen een S^{2-} -ion bezit.

Het element zwavel heeft atoomnummer 16, waaruit volgt dat het S atoom 16 elektronen bevat. Het S^{2-} ion heeft 2 elektronen meer, dus 18 elektronen.

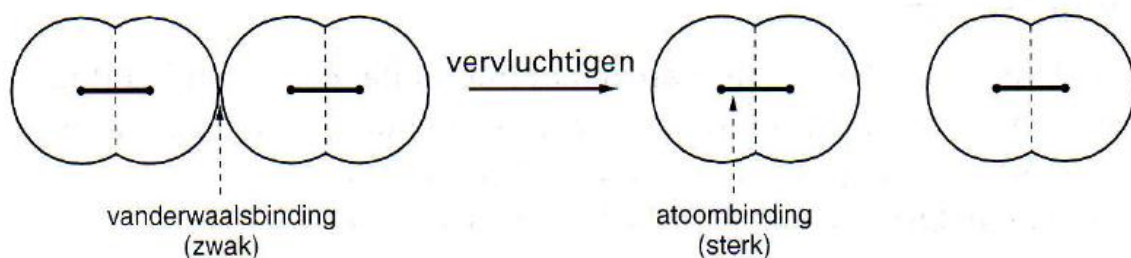
Jood en jodide

Een mengsel van jood $I_2(s)$, en kaliumjodide, $KI(s)$, wordt verwarmd.

Het jood verdampt, het kaliumjodide niet.

- 9 Verklaar aan de hand van de bindingstypen in beide stoffen dat jood gemakkelijker verdampt dan kaliumjodide.

In het zout KI zijn K^+ en I^- ionen in een ionrooster gerangschikt, waarbij ze sterke aantrekkingskrachten ondervinden van omringende tegengesteld geladen ionen. Bindingstype: ion binding. KI heeft dus een hoog kookpunt en verdampt niet. Jood bestaat, ook in de gasfase, uit I_2 moleculen. Bij het vervluchtigen van het vaste jood wordt dus niet de (sterke) atoombinding verbroken, maar slechts de zwakke vanderwaalsbinding tussen de I_2 moleculen onderling (zie tekening).



- 10 Verklaar dat jood beter in wasbenzine oplost dan kaliumjodide dat doet. Vermeld in je uitleg ook de aard van de drie stoffen.

Door de atoombinding in het joodmolecuul is jood een apolaire stof net als wasbenzine. Volgens de

vuistregel "soort zoekt soort" zal jood dus goed in wasbenzine kunnen oplossen. Kaliumjodide is een zout (met ionbinding). Als een zout oplost, kan dat alleen maar in water.

Een mengsel van jood en kaliumjodide kan worden gescheiden door gebruik te maken van dit verschil in oplosbaarheid.

- 11 Beschrijf dit experiment kort maar volledig en noem de drie scheidingsmethoden die daarbij nodig zijn.

Breng het mengsel in een reageerbuis of een erlenmeyer en voeg voldoende wasbenzine toe. Dan zal alleen het jood oplossen. Giet de vloeistof door een filter. De kaliumjodide blijft achter. Spoel na met nieuwe wasbenzine totdat alle (opgeloste) jood door het filter is gelopen. Kaliumjodide en jood zijn zuiver te verkrijgen door de wasbenzine te laten verdampen. Jood kan via een destillatie worden verkregen. De gebruikte scheidingsmethoden zijn: extractie, filtratie en destillatie (of indampen).

Zwavel dioxide

Zwavel dioxide, $\text{SO}_2(\text{g})$, wordt vaak gemaakt door het verbranden van pyriet, $\text{FeS}_2(\text{s})$.

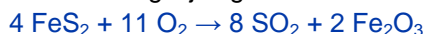
Pyriet is opgebouwd uit ionen Fe^{2+} en ionen S_2^{2-} .

- 12 Welke twee bindingstypen komen voor in pyriet?

Tussen de ionen Fe^{2+} en S_2^{2-} treedt ionbinding op. In het S_2^{2-} ion zijn twee S atomen gebonden door middel van een atombinding.

Bij het verbranden van pyriet ontstaat naast zwavel dioxide ook ijzer(III)oxide.

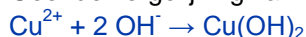
- 13 Geef de vergelijking van de verbranding van pyriet.



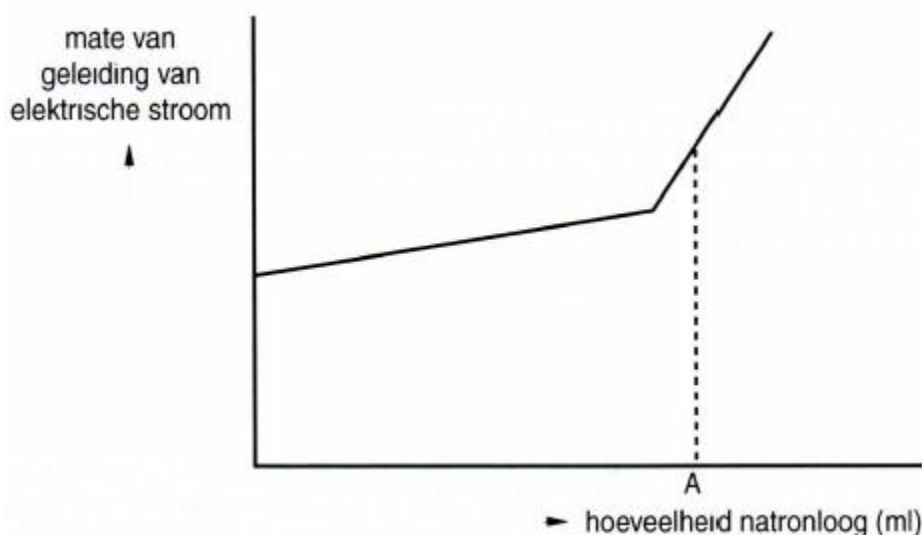
Geleiding door ionen

Yvonne heeft een oplossing van kopersulfaat. Terwijl zij deze oplossing roert voegt zij druppelsgewijs natronloog eraan toe. Er treedt een reactie op, waarbij een neerslag ontstaat.

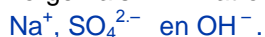
- 14 Geef de vergelijking van deze reactie.



Tijdens het toevoegen van het natronloog verandert de mate waarin de oplossing elektrische stroom geleidt. In onderstaand diagram geeft de ononderbroken lijn het verband weer tussen de mate waarin de oplossing elektrische stroom geleidt en de hoeveelheid toegevoegd natronloog.



- 15 Geef de formule van de ionen die voor de geleiding van de elektrische stroom door de oplossing zorgen als A ml natronloog is toegevoegd.



Neerslagreacties

Een leerling schenkt in een reageerbuis lood(II)nitraatoplossing. Hij voegt vervolgens natriumsulfaatoplossing toe. Er ontstaat een neerslag. Neem aan dat deze neergeslagen stof volledig onoplosbaar is.

- 16 Geef de vergelijking voor deze neerslagvorming.

In $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ oplossing aanwezig Pb^{2+} en NO_3^- ionen; in de Na_2SO_4 oplossing aanwezig Na^+ en SO_4^{2-} ionen. Bijgevoegd geeft dit een neerslagreactie: $\text{Pb}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{PbSO}_4$

De leerling filtreert het neerslag af. Vervolgens onderzoekt hij het filtraat. Hiertoe verdeelt hij dit filtraat over twee reageerbuizen I en II. Aan de inhoud van reageerbuis I voegt hij bariumnitraatoplossing toe. Er ontstaat geen neerslag. Aan de inhoud van reageerbuis II voegt hij natriumcarbonaatoplossing toe. Er ontstaat nu een witte neerslag.

- 17 Beredeneer welke ionen in het filtraat voorkwamen.

Ba^{2+} - toevoeging veroorzaakt geen neerslag \rightarrow geen SO_4^{2-} ionen meer in de oplossing.
 CO_3^{2-} ionen veroorzaken wel een neerslag; dus nog wel Pb^{2+} ionen aanwezig die als volgt reageren:
 $\text{Pb}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{PbCO}_3$

Als de proef op deze wijze wordt uitgevoerd kan het ook gebeuren dat bij het onderzoek van het filtraat in geen van beide reageerbuizen een neerslag ontstaat.

- 18 Leg uit in welk geval dit zich voordoet.

Als er bij de proef evenveel SO_4^{2-} zou zijn toegevoegd als er Pb^{2+} was, dan verdwijnen beide soorten ionen uit de oplossing. Omdat het filtraat dan alleen nog Na^+ en NO_3^- ionen bevat, kan er bij het onderzoek van het filtraat geen neerslag meer ontstaan.

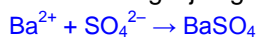
- 19 Had de leerling, om een neerslag te verkrijgen, bij het onderzoek van het filtraat in reageerbuis II ook natriumsulfaatoplossing kunnen gebruiken in plaats van natriumcarbonaatoplossing? Licht je antwoord toe.

Ja, Pb^{2+} ionen geven niet alleen met CO_3^{2-} ionen, maar ook met de SO_4^{2-} ionen een neerslag.

Onderzoek van een neerslag

Een leerling schenkt in een reageerbuis natriumsulfaatoplossing. Hij voegt vervolgens bariumnitraatoplossing toe. Er ontstaat een neerslag. Neem aan dat de neergeslagen stof volledig onoplosbaar is.

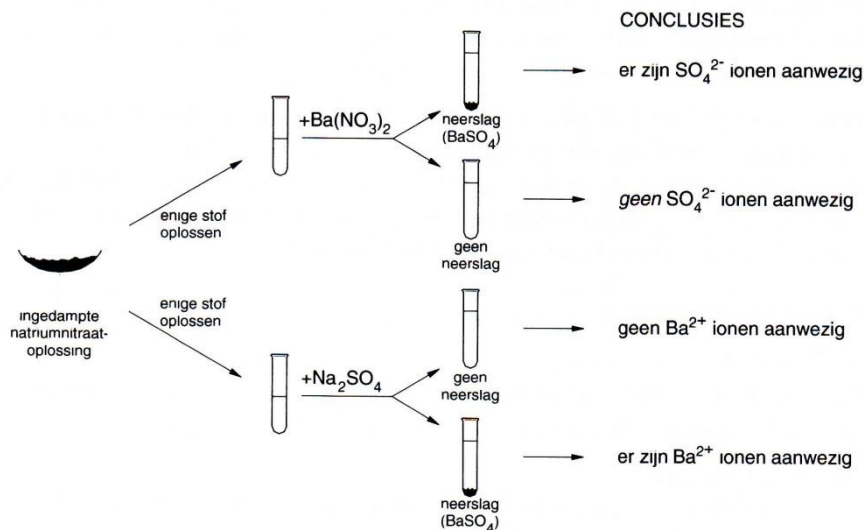
- 20 Geef de vergelijking van de neerslagvorming.



De leerling filtreert het neerslag af. Vervolgens dampt hij het filtraat in. Hij meent nu zuiver natriumnitraat verkregen te hebben. Maar zijn leraar merkt op dat er naast natriumnitraat ook natriumsulfaat of bariumnitraat aanwezig kan zijn. De leerling moet daarom onderzoeken of er naast natriumnitraat een van deze twee andere vaste stoffen aanwezig is en zo ja, welke.

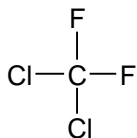
- 21 Beschrijf hoe de leerling dit onderzoek moet uitvoeren. Geef hierbij aan hoe hij kan vaststellen of er naast natriumnitraat ook natriumsulfaat of bariumnitraat aanwezig is.

De leerling moet een kleine hoeveelheid van het ingedampte filtraat weer oplossen. De oplossing over twee reageerbuizen verdelen (zie tekening). Aan de eerste buis bijvoorbeeld een oplossing van $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ toevoegen. Het ontstaan van een neerslag wijst op de aanwezigheid van SO_4^{2-} -ionen. Aan de tweede buis bijvoorbeeld een oplossing van Na_2SO_4 toevoegen. Het ontstaan van een neerslag wijst op de aanwezigheid van Ba^{2+} ionen.



Chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's)

Koelkasten bevatten een koelmiddel. Eén van de voorwaarden waaraan zo'n koelmiddel moet voldoen, is dat het gemakkelijk verdampt. Een voorbeeld van een stof die geschikt is als koelmiddel is:

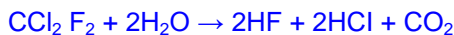


22 Welk type bindingen wordt verbroken als deze stof verdampt?

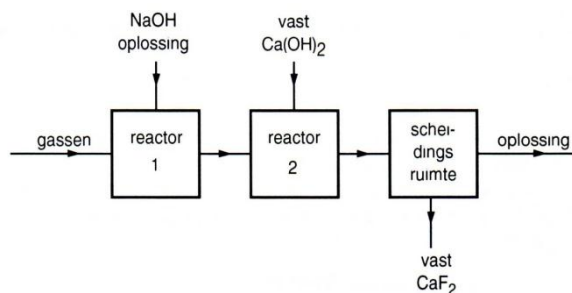
Vanderwaalsbindingen of molecuulbindingen.

De genoemde stof hoort tot de chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's) en heeft als codeaanduiding CFK-12. CFK-12 is veel in koelkasten toegepast. Omdat men aanneemt dat CFK's de ozonlaag aantasten wil men stoppen met de productie en toepassing van CFK's. Tevens ontwikkelt men methoden om CFK-12 uit oude, afgedankte koelkasten om te zetten in onschadelijke stoffen. Bij één van de onderzochte methoden laat men CFK-12 bij een zeer hoge temperatuur met waterdamp reageren. Daarbij ontstaan de gassen HF HCl en CO_2 .

23 Geef de reactievergelijking van de omzetting van CFK-12 en waterdamp in de genoemde gassen. Vermeld alle stoffen in molecuulformules.

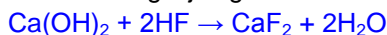


De ontstane gassen worden afgekoeld en daarna volgens onderstaand schema volledig omgezet.



De hoeveelheden NaOH-oplossing en vast $\text{Ca}(\text{OH})_2$ worden zo gekozen dat na de neutralisatiereacties, die in reactor 1 en 2 optreden, geen opgelost NaOH en geen vast $\text{Ca}(\text{OH})_2$ meer over is. Eén van de optredende reacties in reactor 2 is de reactie tussen vast $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en het opgeloste, zwakke zuur HF. Bij deze reactie ontstaat onder andere vast CaF_2 .

- 24 Geef de vergelijking van deze reactie.



Het mengsel dat reactor 2 verlaat, bevat geen zure stoffen meer. De oplossing die men overhoudt na het verwijderen van het ontstane CaF_2 , bevat geen calciumionen en geen fluoride-ionen meer. De oplossing bevat twee opgeloste stoffen.

- 25 Geef de naam van een scheidingsmethode die in de scheidingsruimte kan worden toegepast.

Filteren.

- 26 Geef de namen van de twee opgeloste stoffen in de oplossing die de scheidingsruimte verlaat.

Door de eerste neutralisatiereactie (reactor 1) ontstaan de opgeloste zouten NaF , NaCl en Na_2CO_3 . In reactor 2 is de reactie tussen Ca^{2+} en F^- volledig, want de oplossing bevat daarna geen van deze ionen meer. Alleen de zouten NaCl en Na_2CO_3 komen dus in de uiteindelijke oplossing voor.

H8 + 10: Hoe snel en hoever? en Energie en evenwicht

Warmtekussen

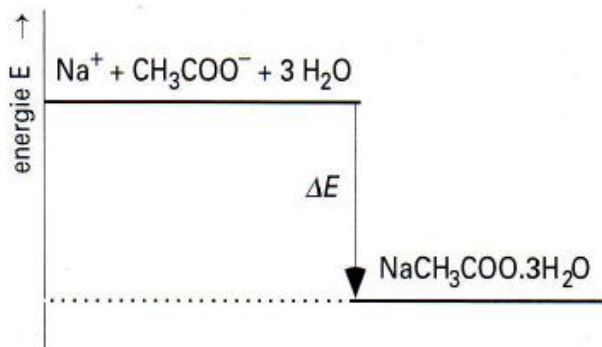
Gekristalliseerd natriumacetaat heeft de verhoudingsformule $\text{NaCH}_3\text{COO} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

Het kristalliseren van natriumacetaat is een exotherm proces. Van deze eigenschap wordt gebruik gemaakt in een zogenoemd warmtekussen. Een warmtekussen is een plastic zakje dat gevuld is met een zeer geconcentreerde oplossing van natriumacetaat in water. Op het moment dat aan de oplossing heftig wordt geschud, ontstaat gekristalliseerd natriumacetaat. Hierbij komt een hoeveelheid warmte vrij.

- 27 Geef het ontstaan van gekristalliseerd natriumacetaat uit een natriumacetaatoplossing in een vergelijking weer.



- 28 Geef het kristallisatieproces in een energiediagram weer. Geef hierin de energieverandering (ΔE) aan met een pijl.



Het warmtekussen bevat 80 gram natriumacetaatoplossing. De oplossing bestaat uit 40 gram natriumacetaat en 40 gram water. Na kristallisatie is 0,30 mol gekristalliseerd natriumacetaat ontstaan. Daarnaast is een kleine hoeveelheid verzadigde natriumacetaatoplossing overgebleven.

- 29 Ga door berekening na hoeveel gram vloeibaar water er na kristallisatie is overgebleven

$$0,30 \text{ mol NaCH}_3\text{COO} \cdot 3\text{H}_2\text{O}(\text{s}) \equiv 3 \times 0,30 = 0,90 \text{ mol H}_2\text{O kristalwater}$$

$$0,90 \text{ mol H}_2\text{O} \equiv 0,90 \times 18,01 \text{ g/mol} = 16 \text{ g H}_2\text{O kristalwater. Ongebonden H}_2\text{O} = 40 - 16 = 24 \text{ g}$$

Bij het kristallisatieproces komt per mol gekristalliseerd natriumacetaat $1,97 \cdot 10^4$ J vrij. Om een gram van het mengsel een graad in temperatuur te laten stijgen is 3,1 J nodig.

- 30 Bereken de maximale temperatuurstijging in $^\circ\text{C}$ van het warmtekussen.

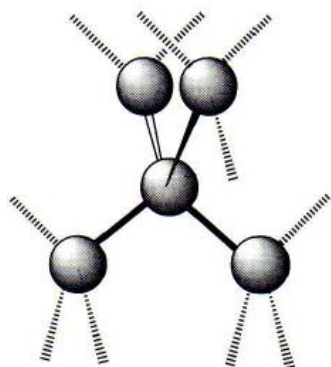
$$\text{Benodigde warmte voor 1 graad temperatuurstijging is } 80 \text{ g} \times 3,1 \text{ J/g} = 248 \text{ J}$$

$$\text{Ontstane warmte } 0,30 \text{ mol} \times 1,97 \cdot 10^4 \text{ J/mol} = 5,9 \cdot 10^3 \text{ J. De maximale temp. stijging die hiermee kan worden bereikt} = 5,9 \cdot 10^3 \text{ J} : 248 \text{ J/}^\circ\text{C} = 24 \text{ }^\circ\text{C.}$$

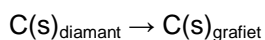
Diamant

Koolstof komt in verschillende vormen voor. Eén van die vormen is diamant. Diamant is de hardste stof die bekend is. Die hardheid hangt samen met het kristalrooster van diamant.

- 31 Geef de naam van het bindingstype dat er in diamant de oorzaak van is dat de deeltjes in het kristalrooster sterk aan elkaar gebonden zijn.
[Atoom- of covalente binding](#)
- 32 Beschrijf de ruimtelijke ordening van de deeltjes in het kristalrooster van diamant.
[In diamant is elk C-atoom door vier andere C-atomen omringd.](#)

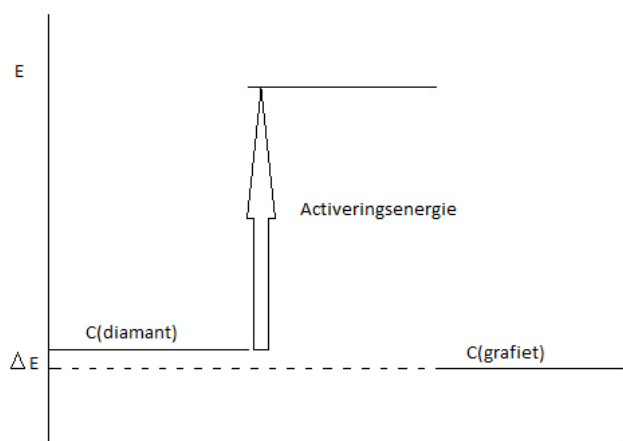


Diamant is een niet stabiele vorm van koolstof. Diamant kan door middel van een exotherme reactie overgaan in grafiet:



Bij verhitting van diamant in een stikstofatmosfeer tot een temperatuur boven 2000 K wordt diamant binnen korte tijd omgezet in grafiet. Bij kamertemperatuur blijkt diamant, ook na jaren, niet over te gaan, in grafiet.

- 33 Schets van de omzetting van diamant in grafiet een energiediagram en geef aan de hand daarvan aan hoe het komt dat diamant bij kamertemperatuur niet wordt omgezet in grafiet.



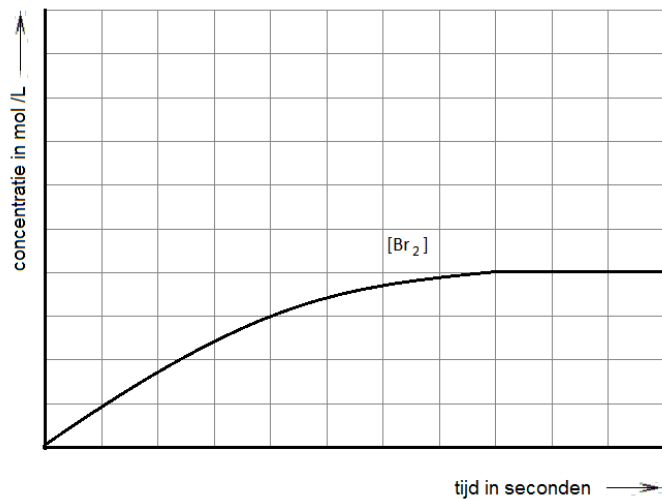
[Angenomen mag worden dat de activeringsenergie voor deze reactie erg groot is. Alleen bij zeer hoge temperaturen wordt er genoeg energie aan het kristalrooster toegevoegd om het diamantrooster om te zetten in dat van grafiet.](#)

Broomvorming

Men lost een bepaalde hoeveelheid kaliumbromide op in water. Aan de oplossing voegt men onder goed roeren een overmaat verdund zwavelzuur toe. daarna een overmaat waterstofperoxide-oplossing. De volgende redoxreactie treedt op: $2 H^+ + H_2O_2 + 2 Br^- \rightarrow Br_2 + 2 H_2O$

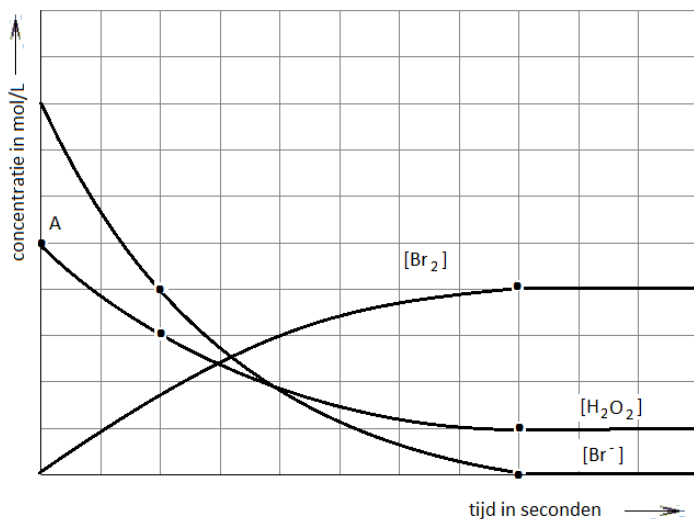
- 34 Welk deeltje is in de bovenstaande reactie de oxidator en welk de reductor?
[Br⁻ staat een elektron af en is dus de reductor. H⁺ en H₂O₂ zijn beide oxidatoren, maar H₂O₂ is veel sterker, dus H₂O₂ is de oxidator die hier elektronen opneemt. \(Waterstofperoxide reageert hier in zuur milieu. Als H⁺ als oxidator zou optreden, zou er H₂ ontstaan:](#)
- 35 Leg uit hoe je aan je antwoord bent gekomen.
[Zie antwoord op de vorige vraag.](#)

Van het moment af dat men de overmaat waterstofperoxide-oplossing heeft toegevoegd meet men de concentratie van Br_2 in de oplossing. Men krijgt onderstaand diagram.



Bij de beantwoording van de volgende vragen mag worden aangenomen dat waterstofperoxide niet ontleedt en dat broom niet verdampt.

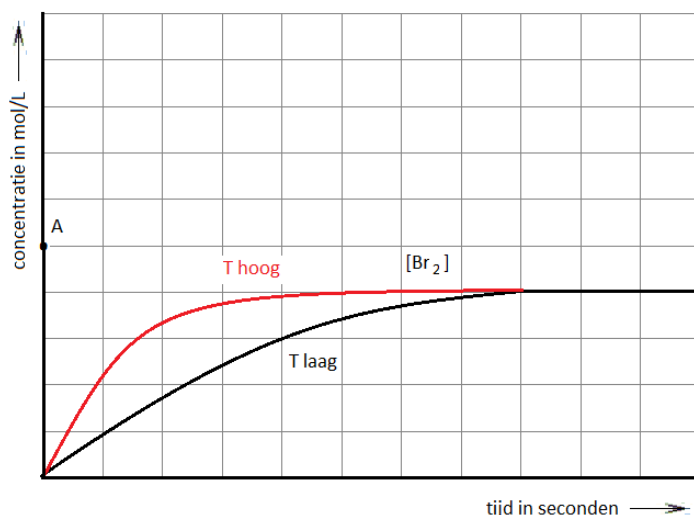
- 36 Teken in het diagram hoe de concentratie van H_2O_2 verandert. De beginconcentratie van H_2O_2 is aangegeven door het punt A.



Er is $4/5A$ mol Br_2 ontstaan, dus is er $4/5A$ mol H_2O_2 omgezet, omdat 1 mol $\text{H}_2\text{O}_2 \equiv 1$ mol Br_2 . $[\text{H}_2\text{O}_2]$ neemt dus net zo snel af als $[\text{Br}_2]$ toeneemt en er blijft $1/5A$ H_2O_2 over.

Alle Br^- wordt omgezet in Br_2 . Omdat 1 mol $\text{Br}_2 \equiv 2$ mol Br^- is $[\text{Br}^-]$ $2 \times 4/5A = 8/5A$ en neemt 2 x zo snel af als er Br_2 wordt gevormd.

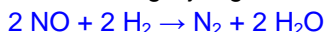
- 37 Teken in het diagram ook hoe de concentratie van Br^- verandert.
 38 Teken in het diagram hoe de concentratie van Br_2 zou veranderen als met dezelfde beginconcentratie de temperatuur hoger zou zijn.



Reactie van waterstof

Men verhit een mengsel van 0,40 mol stikstofmono-oxide en 0,20 mol waterstof tot 800 °C. Bij deze temperatuur kunnen stikstofmono-oxide en waterstof reageren tot stikstof en waterdamp.

- 39 Geef de vergelijking voor deze reactie.

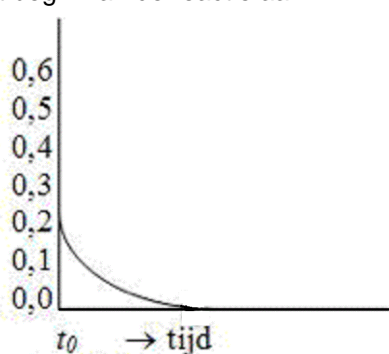


Op tijdstip t_1 is nog de helft van de oorspronkelijke hoeveelheid waterstof over.

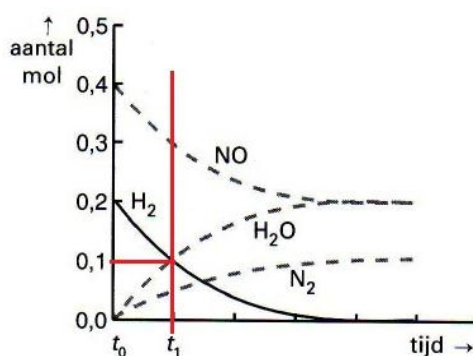
- 40 Bereken de hoeveelheden van de andere stoffen die op dat moment aanwezig zijn.

molverhouding	1 mol H ₂	1 mol NO	½ mol N ₂	1 mol H ₂ O
begin	0,20	0,40	0	0
omgezet/gevormd	-0,10	-0,10	0,050	0,10
aanwezig op t_1	0,10	0,30	0,050	0,10

Figuur 1 geeft aan hoe de hoeveelheid waterstof verandert als functie van de tijd. Het tijdstip t_0 geeft het begin van de reactie aan.



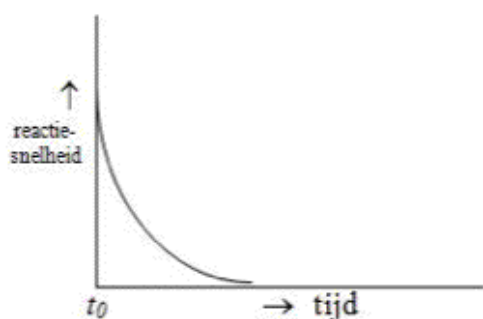
Figuur 1



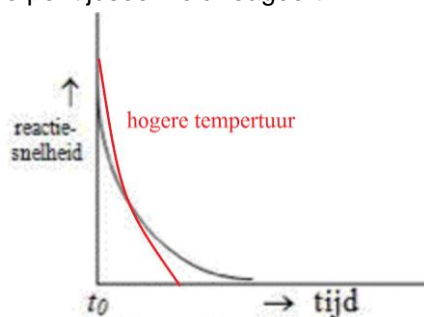
- 41 Geef in figuur 1 het tijdstip t_1 aan.

- 42 Schets in figuur 1 ook hoe de hoeveelheden stikstofmono-oxide, stikstof en waterdamp gedurende de reactie veranderen. Geef bij elke lijn duidelijk aan op welke stof zij betrekking heeft.

In figuur 2 wordt de reactiesnelheid als functie van de tijd weergegeven. Onder de reactiesnelheid wordt hier verstaan de hoeveelheid waterstof die per tijdseenheid reageert.



Figuur 2



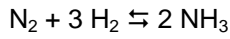
Figuur 2

- 43 Schets in figuur 2 het verloop van de reactiesnelheid als functie van de tijd voor het geval de proef, onder overigens gelijkblijvende omstandigheden wordt uitgevoerd bij een hogere temperatuur. Licht je tekening toe.

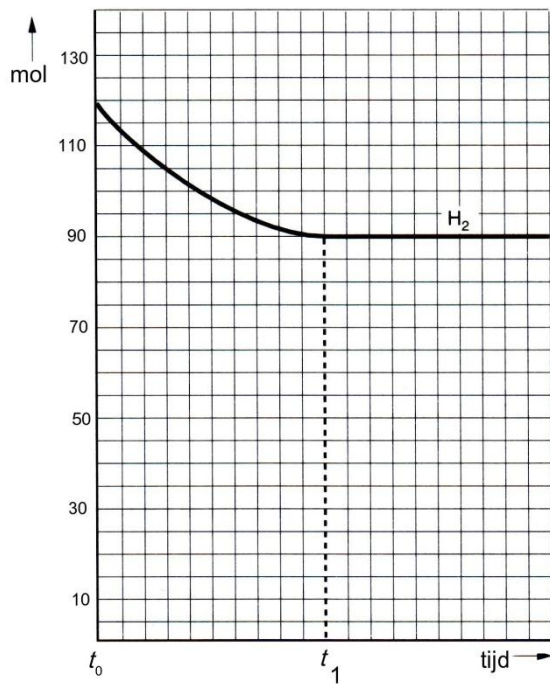
Volgens het botsende deeltjes model zal de reactiesnelheid aanvankelijk groter zijn, maar sterker afnemen omdat er nu sneller minder deeltjes zijn die tot effectieve botsingen kunnen leiden.

Ammoniakevenwicht

Op het tijdstip t_0 brengt men in een vat 40 mol stikstof en een hoeveelheid waterstof.
Op het tijdstip t_1 heeft zich het volgende evenwicht ingesteld:



In onderstaand diagram is de hoeveelheid waterstof uitgezet tegen de tijd.



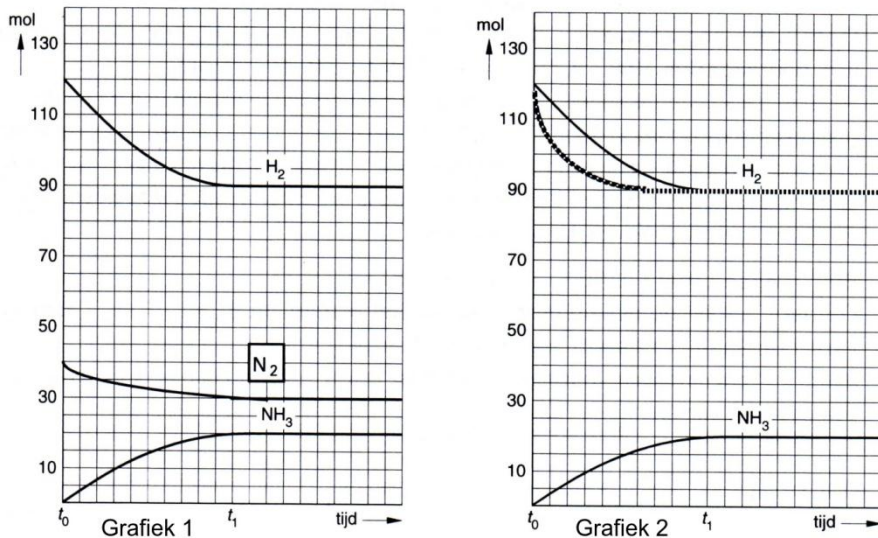
Vanaf t_1 loopt de lijn in het diagram horizontaal.

- 44** Volgt hieruit dat er vanaf t_1 geen reactie meer plaatsvindt? Licht het antwoord toe.
 Er vindt zowel een heen- als teruggaande reactie plaats, maar in de evenwichtstoestand (vanaf t_1) zijn de snelheden hiervan aan elkaar gelijk. Daardoor blijven de hoeveelheden H_2 , N_2 en NH_3 constant.
- 45** Bereken hoeveel mol stikstof op het tijdstip t_1 aanwezig is en schets in het diagram hoe de hoeveelheid stikstof verandert in de loop van de tijd
 Uit de grafiek volgt dat er 90 mol H_2 over is in de evenwichtssituatie van de in het begin aanwezige 120 mol, dus er is 30 mol H_2 omgezet. Uit de molverhouding: $1 \text{ mol N}_2 \hat{=} 3 \text{ mol H}_2 \hat{=} 2 \text{ mol NH}_3$ volgt voor de omgezette en gevormde hoeveelheden: $30 \text{ mol H}_2 \hat{=} 10 \text{ mol N}_2 \hat{=} 20 \text{ mol NH}_3$.
 In tabelvorm:

molverhouding	1 mol N_2	3 mol H_2	2 mol NH_3
begin	40	120	0
omgezet/gevormd	-10	-30	20
evenwicht $\hat{=} t_1$	30	90	20

De hoeveelheid stikstof in het evenwicht bedraagt dus 30 mol (zie grafiek 1).

- 46 Schets in het diagram ook hoe de hoeveelheid ammoniak verandert in de loop van de tijd.
De hoeveelheid NH_3 stijgt van 0 tot 20 mol (zie grafiek 1).



Bij kamertemperatuur ligt het evenwicht vrijwel geheel aan de kant van ammoniak. Bij hogere temperatuur is in het evenwichtsmengsel minder ammoniak aanwezig. Toch werkt men bij de ammoniakfabricage met temperaturen tussen $400\text{ }^\circ\text{C}$ en $500\text{ }^\circ\text{C}$.

- 47 Verklaar dit werken bij hoge temperatuur.
De hogere temperatuur is nodig om een grotere reactiesnelheid te krijgen. (Denk aan het botsende-deeltjesmodel: een hogere temperatuur leidt tot meer effectieve botsingen, dus tot een grotere reactiesnelheid en dus tot een snellere instelling van het evenwicht. Per keer kan maar weinig ammoniak worden afgescheiden, maar dat kan wel vaak, dus toch een grotere opbrengst.)
- Het ammoniakevenwicht stelt zich pas in als er een geschikte katalysator aanwezig is.
- 48 Geef in het diagram aan hoe de afname van de hoeveelheid waterstof zou verlopen als er meer van de katalysator zou worden toegevoegd.
Zie grafiek 2. (De stippellijn is de afname van waterstof met meer katalysator).

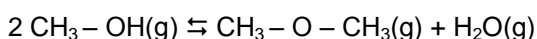
Methanol als brandstof

Methanol kan gebruikt worden als brandstof voor verbrandingsmotoren. Een nadeel van methanol in vergelijking met benzine is de lagere energiedichtheid. Onder de energiedichtheid van een vloeibare brandstof verstaan we in deze opgave de energie die vrijkomt bij de volledige verbranding van 1 liter van die brandstof bij 298 K en $p = p_0$.

De energiedichtheid van methanol kan berekend worden met behulp van de dichtheid van methanol ($0,79 \cdot 10^3\text{ kg m}^{-3}$ bij 298 K) en de verbrandingsenergie van methanol ($-7,3 \cdot 10^5\text{ J mol}^{-1}$). Onder de verbrandingsenergie van een stof verstaan we de energieverandering die optreedt bij volledige verbranding van 1 mol van die stof bij 298 K en $p = p_0$.

- 49 Bereken de energiedichtheid van methanol.
 1 m^3 methanol heeft een massa van $0,79 \cdot 10^3\text{ kg}$. De massa van 1 dm^3 methanol is zodoende $0,79 \cdot 10^3\text{ g}$. Bij verbranding van 1 mol (= 32 g) methanol komt $7,3 \cdot 10^5\text{ J}$ vrij. Volledige verbranding van 1 L methanol zal daarom opleveren: $0,79 \cdot 10^3\text{ g} : 32\text{ g} \times 7,3 \cdot 10^5\text{ J} = 1,8 \cdot 10^7\text{ J} =$ de energiedichtheid van methanol is $1,8 \cdot 10^7\text{ J/L}$

Uit methanol kan benzine gemaakt worden. Daartoe wordt methanol eerst omgezet in (gasvormig) methoxymethaan en waterdamp. Hierbij wordt methanoldamp van hoge druk en hoge temperatuur geleid in een reactor (reactievat) waarin zich een geschikte katalysator bevindt. In de reactor stelt zich het volgende gasevenwicht in :



Bij de uitvoering van deze reactie worden in de praktijk de volgende doelen nagestreefd:

I. Van het ingeleide methanol moet in de reactor een zo hoog mogelijk percentage omgezet worden in methoxymethaan en water.

II. De omzetting moet in een zo kort mogelijke tijd plaatsvinden.

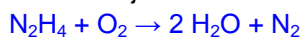
- 50 Leg uit of de keuze van een hoge druk invloed heeft op het gestelde in doel I.
Doel1 wordt door hoge druk niet bereikt omdat hier evenveel gasvormige deeltjes links en rechts in de evenwichtsvergelijking voorkomen, heeft drukverandering geen invloed op de evenwichtsligging, dus ook niet op het percentage omgezette methanol.
- 51 Leg uit of de keuze van een hoge druk invloed heeft op het gestelde in doel II.
Voor de snelheid van de omzetting is alleen de reactiesnelheid naar rechts van belang, omdat methanol de beginstof is. Bij hogere druk wordt de concentratie van methanol verhoogd en daarmee de botsingskansen van de moleculen. De evenwichtinstelling wordt daardoor sneller bereikt. Hogedruk heeft dus wel invloed op het gestelde in II.

H9 + 11: Sterke en zwakke zuren en basen

Hydrazine in ketelwater

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_2H_4) is zo'n stof. Bij de reactie van hydrazine met opgeloste zuurstof ontstaan uitsluitend water en stikstof.

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

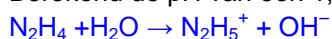


$$1,0 \text{ kg } \text{N}_2\text{H}_4 = 1,0 \cdot 10^3 \text{ g} : 32,0 \text{ g/mol} = 31,3 \text{ mol } \text{N}_2\text{H}_4 \equiv 31,3 \text{ mol } \text{O}_2$$

$31,3 \text{ mol } \text{O}_2 = 31,3 \text{ mol} \times 32,0 \text{ g/mol} = 1,00 \cdot 10^3 \text{ g}$. Men kan dus $1,00 \cdot 10^3 \text{ g} : 0,75 \cdot 10^{-3} \text{ g/L} = 1,3 \cdot 10^6 \text{ L}$ water zuurstofvrij maken.

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 N_2H_4 is N_2H_5^+ . De K_b van hydrazine bij 298 K is $8,5 \cdot 10^{-7}$.

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

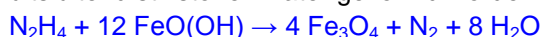


$$K_b = \frac{[\text{N}_2\text{H}_5^+][\text{OH}^-]}{[\text{N}_2\text{H}_4]} = 8,5 \cdot 10^{-7} = \frac{x^2}{1,00 \times 10^{-3} - x}$$

$$x = 2,87 \cdot 10^{-5} = [\text{OH}^-] \rightarrow \text{pOH} = 4,54 \rightarrow \text{pH} = 9,46$$

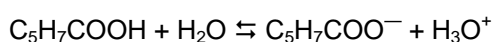
Een bijkomend voordeel van hydrazine is dat eventueel aanwezig roest door hydrazine wordt omgezet in een afsluitend laagje Fe_3O_4 . Roest kan worden weergegeven met de formule $\text{FeO}(\text{OH})$.

- 54 Geef de vergelijking van de reactie van hydrazine met $\text{FeO}(\text{OH})$. Neem hierbij aan dat behalve Fe_3O_4 uitsluitend stikstof en water gevormd worden.



Sorbinezuur

Sorbinezuur (of trans,trans-2,4-hexadieënzuur) wordt als conserveermiddel aan 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 pH = 3,5. Hij voegt ook een even grote hoeveelheid sorbinezuur toe aan 1 liter perziksap van pH = 4,0.

- 55 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 pH = 3,5 is $[H_3O^+]$ groter dan in de oplossing met 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 $HZ_{opl.1} : HZ_{opl.2} = 3,2 Z^-_{opl.1} : Z^-_{opl.2}$)

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

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

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.

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

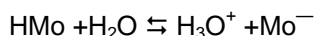
Als er 10% in ongeïoniseerde vorm aanwezig is, is er 90% wel geïoniseerd.

$$\frac{[Z^-]}{[HZ]} = \frac{0,90}{0,10} = 9,0 \text{ Uit } K \text{ volgt dan: } [H_3O^+] = \frac{1,5 \cdot 10^{-5}}{9,0} = 1,7 \cdot 10^{-6} \text{ mol/L} \rightarrow \text{pH} = 5,77$$

Methyloranje

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 Mo^- ionen. Eén van deze soorten deeltjes veroorzaakt de oranjegele kleur, de andere soort veroorzaakt de rode kleur.

- 57 Leg aan de hand van bovenstaande gegevens uit welke van de kleuren oranjegeel en rood wordt veroorzaakt door Mo^- ionen.

Bij pH < 3,1 is $[H_3O^+]$ groter dan bij pH > 4,4. Om het evenwicht te herstellen zal de reactie naar links in het voordeel zijn. Hierdoor neemt $[MO^-]$ af en gunste van $[HMo]$. De kleur van de oplossing is rood, blijkbaar afkomstig van HMo moleculen. De Mo^- deeltjes veroorzaken dan de oranjegele kleur.

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

- 58 Leg aan de hand van gegevens in deze opgave uit welke kleur de methyloranje-oplossing van 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 Mo^- deeltjes ten koste van HMo moleculen. De oplossing zal oranjegeel worden.

Gebufferd?

Een van de eisen die men aan een bufferoplossing stelt is, dat de pH slechts weinig verandert bij toevoeging van een kleine hoeveelheid base. In het volgende zal onder een kleine hoeveelheid base

steeds 0,1 millimol natriumhydroxide worden verstaan die aan 100 mL oplossing wordt toegevoegd. De volumeverandering kan hierbij buiten beschouwing worden gelaten. Een niet al te verdunde oplossing van een sterk zuur voldoet aan de gestelde eis van bufferoplossing.

59 Toon door berekening aan dat 0,1 molair waterstofchloride-oplossing aan deze eis voldoet. HCl is een sterk zuur $\rightarrow [H_3O^+] = 0,1 \text{ mol/L} \rightarrow \text{pH} = 1,0$. Toevoeging van 0,1 mmol NaOH per 100 mL oplossing betekent dat per liter $1 \cdot 10^{-3} \text{ mol } H_3O^+$ ionen met OH^- worden geneutraliseerd, dus 1% van de oorspronkelijke hoeveelheid van 0,1 mol. Het effect hiervan op de pH is zeer gering \rightarrow bufferoplossing.

60 Beredeneer of een waterstofchloride-oplossing met $\text{pH} = 5,0$ aan deze is voor een bufferoplossing voldoet.
 $\text{pH} = 5 \rightarrow [H_3O^+] = 10^{-5} \text{ mol/L}$. Met de toe te voegen hoeveelheid OH^- ionen (10^{-3} mol) gaat de zure oplossing over in een basische, doordat de toegevoegde OH^- ionen een overmaat (t.o.v. H_3O^+) betekenen \rightarrow geen bufferoplossing.

Een oplossing met $\text{pH} = 5,0$ kan men ook verkrijgen door een hoeveelheid van een éénbasisch zuur HZ met $\text{p}K_z = 5,0$ op te lossen in water.

61 Bereken hoeveel mol van dit éénbasische zuur ($\text{p}K_z = 5,0$) men nodig heeft om 100mL oplossing met $\text{pH} = 5,0$ te krijgen.

Stel dat $c \text{ mol HZ/L}$ moet worden opgelost en dat daarvan $x \text{ mol/L}$ protolyseert volgens



$$c - x \qquad \qquad x \qquad \qquad x$$

$\text{pH} = 5$ moet bereikt worden $\rightarrow [H_3O^+] = [Z^-] = x = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$

$$K_z = \frac{[H_3O^+][Z^-]}{[HZ]} = 1,0 \cdot 10^{-5} = \frac{x^2}{c - x} = 1,0 \cdot 10^{-5} \rightarrow c = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$$

Per 100 mL moet dus $2 \cdot 10^{-6} \text{ mol HZ}$ worden opgelost.

62 Beredeneer of de oplossing in het vorige onderdeel genoemd aan de gestelde eis voor een bufferoplossing voldoet.

Ook hier zal toevoeging van $10^{-4} \text{ mol } OH^-$ ionen (per 100 mL) overmaat base betekenen, zodat niet alleen H_3O^+ ionen maar ook HZ moleculen hun proton aan OH^- zullen afgeven \rightarrow zure oplossing wordt basisch \rightarrow geen bufferoplossing.

Een oplossing met $\text{pH} = 5,0$ kan men eveneens verkrijgen door 0,1 mol van hetzelfde zuur HZ en een berekende hoeveelheid natriumhydroxide op te lossen in water, zo dat het eindvolume 100 mL bedraagt.

63 Bereken hoeveel mol HZ in deze oplossing nog aanwezig is.

Uit K_z volgt $[HZ] \cdot 1,0 \cdot 10^{-5} = [H_3O^+][Z^-]$ Daar $[H_3O^+] = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$ volgt er $[HZ] = [Z^-]$

In de 100 mL is de helft van de oorspronkelijke aanwezige hoeveelheid HZ dus omgezet in Z^- . Dit is 0,05 mol in 100 mL

64 Beredeneer of de oplossing bij het vorige onderdeel aan de gestelde eis voor een bufferoplossing voldoet.

Toevoeging van $10^{-4} \text{ mol } OH^-/100 \text{ mL}$ verlaagt $[HZ]$ met 10^{-3} mol/L en verhoogt tegelijkertijd $[Z^-]$ met 10^{-3} mol/L , zodat in de evenwichtssituatie $[HZ] = 0,5 - 0,001$ en $[Z^-] = 0,5 + 0,001$. Ingevuld in K_z levert dit:

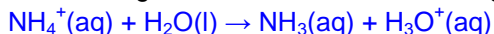
$$[H_3O^+] = K_z \cdot \frac{[HZ]}{[Z^-]} = 1,0 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{0,5 - 0,001}{0,5 + 0,001} = 9,96 \cdot 10^{-6} \qquad \text{pH} = 5,002 = 5,0 \text{ en valt binnen}$$

de nauwkeurigheid waarmee de pH is gegeven \rightarrow goede bufferoplossing.

Bufferoplossing maken (1)

Men lost 2,0 mol ammoniumchloride in water op tot 1,0 liter.

- 65 Hoeveel liter ammoniakgas $van p = p_o$ en $T = 298$ K moet men in deze oplossing inleiden om pH op 9,2 te brengen? Het molaire volume van gassen vind je in Binas tabel 7.



Invullen van de gegevens: $[\text{NH}_4^+] = 2,0$ mol/L; $\text{pH} = 9,2 \rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 6 \cdot 10^{-10}$ (het aantal decimalen in de pH is het aantal significante cijfers) in K_z geeft $[\text{NH}_3] = 2$ mol/L. Dit komt overeen met

$$2 \text{ mol} \times 24,5 \text{ L/mol} = 49 \text{ L} = 5 \cdot 10 \text{ L NH}_3(\text{g})$$

Het is mogelijk met twee componenten in water verschillende buffermengsels te maken, die dezelfde pH-waarde hebben.

- 66 Waarom zal de bufferende werking groter zijn naarmate men de concentraties van de componenten die de buffer vormen groter neemt?

Naarmate de concentratie van de componenten groter is kan een grotere hoeveelheid zuur of base worden geneutraliseerd zonder dat de pH veel zal veranderen.

Een oplossing met $\text{pH} = 9,2$ is ook te verkrijgen met behulp van natriumcarbonaat en natriumwaterstofcarbonaat.

- 67 Beredeneer of de oplossing bij onderdeel 64, of de hier genoemde, de best bufferende werking heeft, als de concentratie aan natriumwaterstofcarbonaat 2,0 mol per liter bedraagt.

Een mengsel van een zwak zuur en een zwakke base hebben de beste bufferende werking, als het aantal mol van zuur en geconjugeerde base maximaal een factor 10 verschilt. Dat geldt dus in het pH gebied van $\text{p}K_z - 1$ tot $\text{p}K_z + 1$. Bij een buffermengsel van ammoniak en ammoniumionen ligt dit rond $\text{pH} = 9,25$ ($\text{p}K_z$ van NH_4^+). Het buffermengsel dat bestaat uit carbonaat- en waterstofcarbonaationen heeft de beste werking rond $\text{pH} = 10,33$ ($\text{p}K_z$ van HCO_3^-). Uit

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = K_z \cdot \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_3^{2-}]} = 10^{-10,33} \cdot \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_3^{2-}]} = 10^{-9,25}$$

$$\frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_3^{2-}]} = \frac{10^{-9,25}}{10^{-10,33}} 10^{1,08} = 12$$

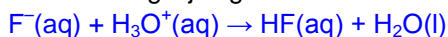
$$[\text{HCO}_3^-] = 12 \cdot [\text{CO}_3^{2-}]$$

volgt dat bij een pH van 9,2 is de verhouding tussen $[\text{HCO}_3^-]$ en $[\text{CO}_3^{2-}]$ groter dan een factor 10, er is dus te weinig van de base CO_3^{2-} aanwezig. De bufferende werking zal dus minder zijn dan van het buffermengsel bij onderdeel 64.

Bufferoplossing maken (2)

Uit tabel 49 kun je afleiden dat F^- een zwakke base is. In een bekeerglas bevindt zich 0,10 mol $\text{NaF}(\text{s})$. We voegen hieraan zoutzuur toe. Er vindt een reactie plaats.

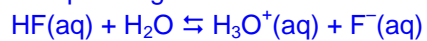
- 68 Geef de vergelijking van deze reactie.



- 69 Leg uit dat een buffer kan ontstaan bij toevoeging van zoutzuur aan de natriumfluoride-oplossing. Na toevoegen van een geringe hoeveelheid H_3O^+ bevat de ontstane oplossing zowel HF al F^- ; het zuur met zijn geconjugeerde base.

- 70 Bereken hoeveel mL 0,10 M zoutzuur toegevoegd moet worden aan het bekeerglas om een bufferoplossing met $\text{pH} = 4,0$ te krijgen.

De oplossing bevat in de evenwichtstoestand HF, H₃O⁺ en F⁻.



	[HF]	H ₃ O ⁺	[F ⁻]
Begin	X	0	0,10
Omgezet / gevormd	+10 ⁻⁴	+10 ⁻⁴	-10 ⁻⁴
Evenwicht	X + 10 ⁻⁴	+10 ⁻⁴	0,10 - 10 ⁻⁴

Uit substitutie van deze gegevens in $K_z = 6,3 \cdot 10^{-4}$ volgt voor X: X = 0,016 mol/L = [HF].

Deze hoeveelheid HF is ontstaan uit even zoveel HCl, dus 0,016 mol. Het aantal toegevoegde mL HCl-oplossing is dus: $0,016 \cdot 10^3 \text{ mmol} : 0,10 \text{ mmol/mL} = 16 \text{ mL}$