

Reactie-energie, reactiesnelheid, -mechanismen en evenwicht

Je kunt bij een onderwerp komen door op de gewenste rubriek in de inhoud te klikken.

Wil je vanuit een rubriek terug naar de inhoud, klik dan op de tekst van de rubriek waar je bent.

Gewoon scrollen gaat natuurlijk ook.

Achter sommige opgaven staat tussen haakjes extra informatie over aspecten die ook in betreffende opgave voorkomen.

Antwoorden zijn onder de vragen in blauw weergegeven.

Inhoud

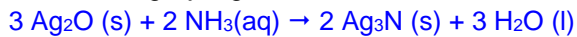
Reactie-energie.....	2
Reactiesnelheid	5
Reactiemechanismen	13
Evenwicht.....	32
Oplosbaarheidsproduct	42

Reactie-energie

Opgave 1 Zilveroxide

Als je zilveroxide met in water opgelost ammoniak laat reageren, kunnen zilvernitrde, Ag_3N (s) en water ontstaan. Hierbij daalt de temperatuur van de oplossing.

- 1 Geef de vergelijking van deze reactie.

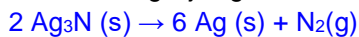


- 2 Leg uit of de reactie van zilveroxide met ammoniak endotherm of exotherm is.

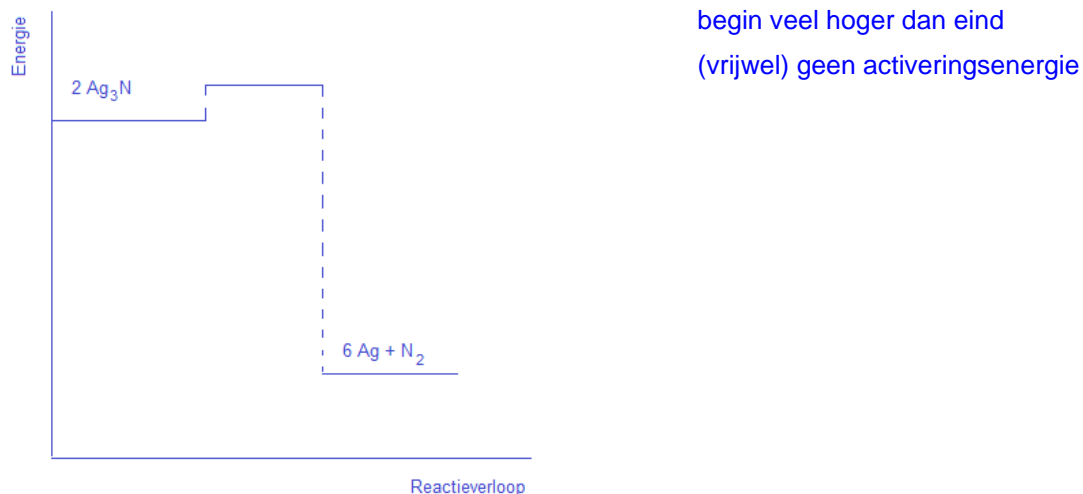
De temperatuur van de oplossing daalt, dus de stoffen nemen energie op. De reactie is dus endotherm.

Zilvernitrde is een uiterst instabiele stof. Het kan al bij de minste aanraking ontleden in zilver en stikstof. Als zilvernitrde ontleedt, kan een explosie, een snelle exotherme reactie plaatsvinden.

- 3 Geef de vergelijking van de ontledingsreactie van zilvernitrde.



- 4 Geef het energiediagram dat in overeenstemming is met de hierboven vermelde gegevens.



- 5 Geef een verklaring voor het energiediagram van 4.

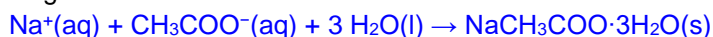
De reactie is exotherme, dus het niveau van de reactieproducten ligt lager dan het niveau van de beginstoffen.

De reactie verloopt heel gemakkelijk, dus de activeringsenergie is heel klein.

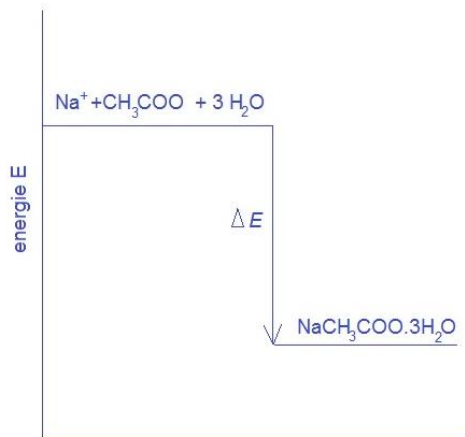
Opgave 2 Warmtekussen

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 zogenaamd 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.

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



- 2 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.

- 3 Ga door berekening na hoeveel gram vloeibaar water er na kristallisatie is overgebleven
 0,30 mol $\text{NaCH}_3\text{COO} \cdot 3\text{H}_2\text{O}(s) \equiv 3 \times 0,30 \text{ mol} = 0,90 \text{ mol H}_2\text{O}$ kristalwater
 0,90 mol $\text{H}_2\text{O} \equiv 0,90 \text{ mol} \times 18,01 \text{ g/mol} = 16 \text{ g H}_2\text{O}$ kristalwater. Ongebonden $\text{H}_2\text{O} = 40 - 16 = 24 \text{ g}$

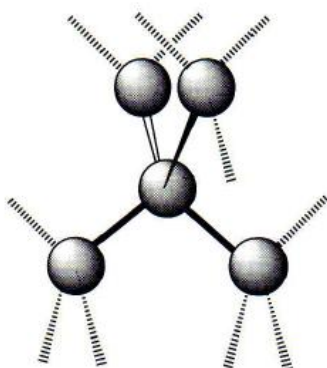
Bij het kristallisatieproces komt per mol gekristalliseerd natriumacetaat $1,97 \cdot 10^4 \text{ J}$ vrij. Om een gram van het mengsel een graad in temperatuur te laten stijgen is 3,1 J nodig.

- 4 Bereken de maximale temperatuurstijging in $^{\circ}\text{C}$ van het warmtekussen.
 Benodigde warmte voor 1 graad temperatuurstijging is $80 \text{ g} \times 3,1 \text{ J/g} = 248 \text{ J}$
 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 = $5,9 \cdot 10^3 \text{ J} : 248 \text{ J/}^{\circ}\text{C} = 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

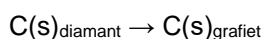
Opgave 3 Koolstof

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.

- 1 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
- 2 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:

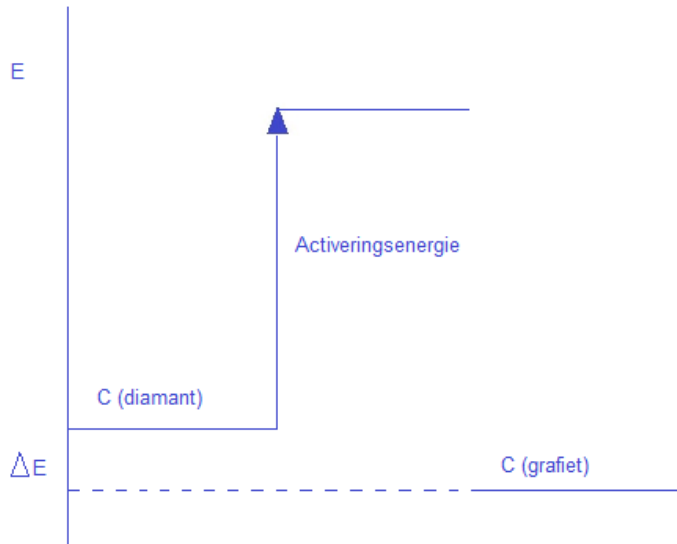


Bij verhitting van diamant in een stikstofatmosfeer tot een temperatuur boven 2000 K wordt diamant

binnen korte tijd omgezet in grafiet. Bij kamertemperatuur blijkt diamant, ook na jaren, niet over te gaan, in grafiet.

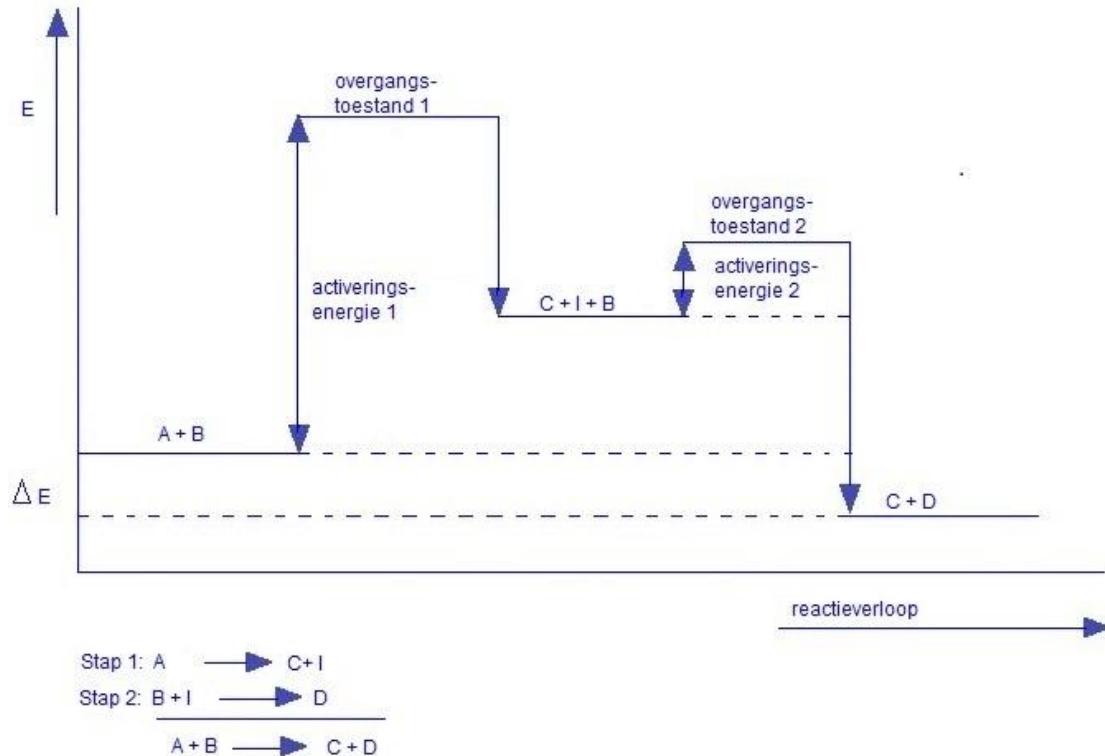
- 3 Schets van de omzetting van diamant in grafiet een energiediagram en geef aan de hand daarvan aan hoe het komt dat diamant bij kamertemperatuur niet wordt omgezet in grafiet.

Aangenomen 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 diamant-rooster om te zetten in dat van grafiet.



Opgave 4 Energiediagrammen

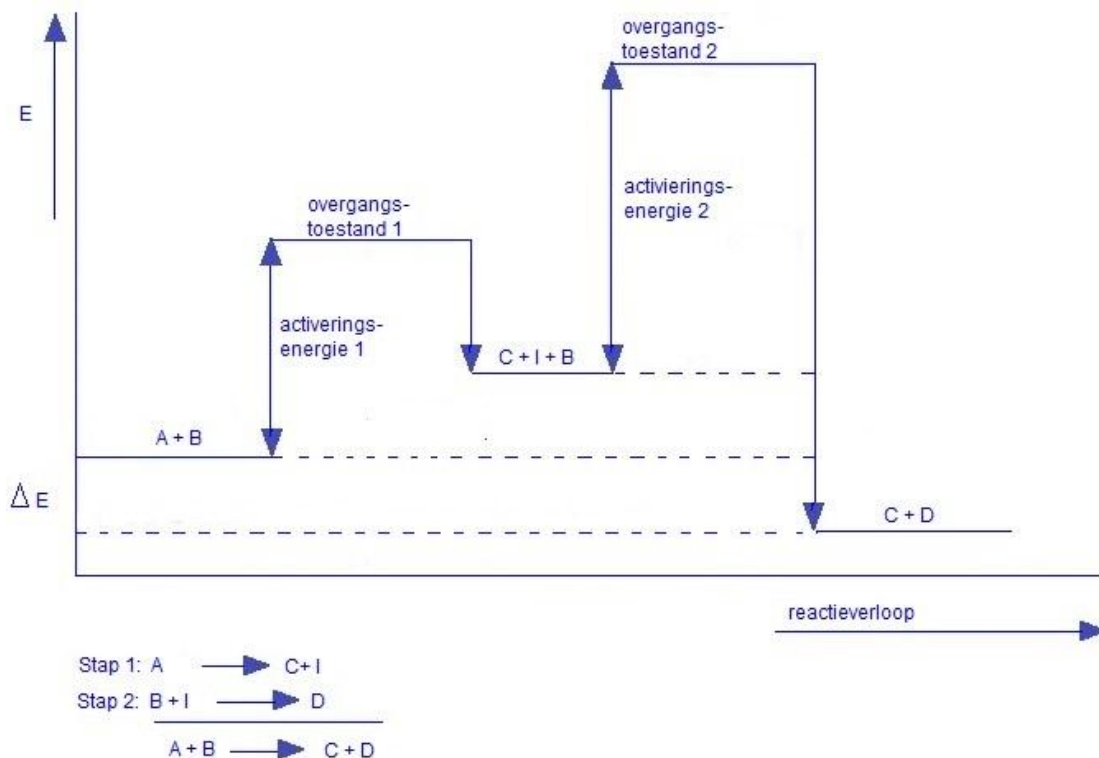
- 1 Teken een energiediagram voor een exotherme tweestapsreactie waarbij de eerste stap langzamer verloopt dan de tweede stap.



A en B zijn de reactanten, I is het tussenproduct en C en D zijn de producten.

Omdat de reactie exotherm is, komt er energie vrij.

- 2 Teken een energiediagram voor een exotherme tweestapsreactie waarbij de eerste stap sneller verloopt dan de tweede stap.



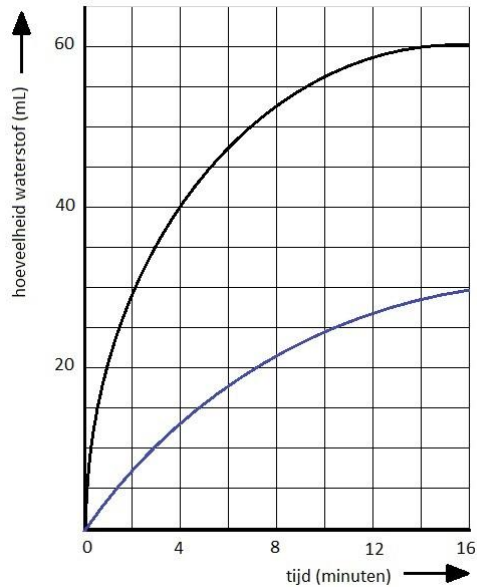
- 3 Leg uit dat bij de vorige opgave de eerste stap niet alleen sneller is, maar ook omkeerbaar (reversibel) is.

De activeringsenergie nodig voor de omzetting van de tussenproducten C + I in de reactant A is minder dan de activeringsenergie die nodig is om de producten C + D te vormen. Daarom worden in de meeste gevallen de tussenproducten weer omgezet in de uitgangsstoffen. Bij een gering aantal van dit type reacties komt voldoende energie vrij om de hogere activeringsenergie van de tweede stap te kunnen opbrengen onder vorming van de eindproducten. De activeringsenergie nodig om de eindproducten om te zetten in de tussenproducten is onoverkomelijk hoog. Daarom is de tweede stap feitelijk onomkeerbaar (irreversibel).

Reactiesnelheid

Opgave 1 Overgieten van zinkpoeder met zoutzuur

Bij de reactie tussen zink en verdund zoutzuur (een oplossing van HCl in water) ontstaat waterstofgas. Men overgiet een *overmaat* zinkpoeder met 50 ml 1,0 M zoutzuur en meet om de minuut de totale hoeveelheid waterstofgas die is ontstaan. De meetwaarden worden in een diagram uitgezet. Het resultaat vind je hieronder.



- Leg uit na hoeveel tijd de reactie is afgelopen.
Na 14 / 15 minuten, omdat er dan geen H₂ meer ontstaat
- Door welke oorzaak is de reactie na die bepaalde tijd afgelopen?
Alle zoutzuur heeft gereageerd, omdat Mg in overmaat aanwezig was.
- Bereken de gemiddelde reactiesnelheid in cm³ waterstofgas per seconde tijdens de tweede en de zesde minuut.
2 min: 28 mL : 120 s = 0,23 mL/s 6 min: 47,5 mL : 360 s = 0,13 mL/s
- Leg met behulp van het botsende-deeltjesmodel uit waarom de reactiesnelheid tijdens het verloop van de reactie afneemt.
Door de reactie wordt het aantal deeltjes minder, dus minder kans op (effectieve) botsingen (waardoor de reactiesnelheid afneemt).
- Schets in de bijlage het verloop als men een zinkstaafje van dezelfde massa overgiet met 50 ml 0,10 M zoutzuur.
- Verklaar het verschil tussen de twee krommen met het botsende-deeltjesmodel.
Bij deze proef is de reactiesnelheid lager, omdat het Zn minder fijn verdeeld is, (waardoor er minder kans op (effectieve) botsingen is).
- Leg uit welke invloed het toevoegen van een katalysator voor deze reactie heeft op
 - de totale reactietijd,
Een katalysator verhoogt de reactiesnelheid, dus is de reactie eerder afgelopen.
 - de totale hoeveelheid waterstof die ontstaat.
Een katalysator heeft hier geen invloed op; deze verandert dus niet.

Opgave 2 Overgieten van ijzer(poeder) met zoutzuur

Men laat de volgende stoffen met elkaar reageren:

I: 1,0 g ijzerpoeder met 50 mL 0,20 M zoutzuur (=HCl (aq)) bij 20°C.

II: 1,0 g ijzerpoeder met 20 mL 0,50 M zoutzuur bij 50°C.

III: Een spijkertje van 1,0 g met 50 mL 0,20 M zoutzuur bij 20°C.

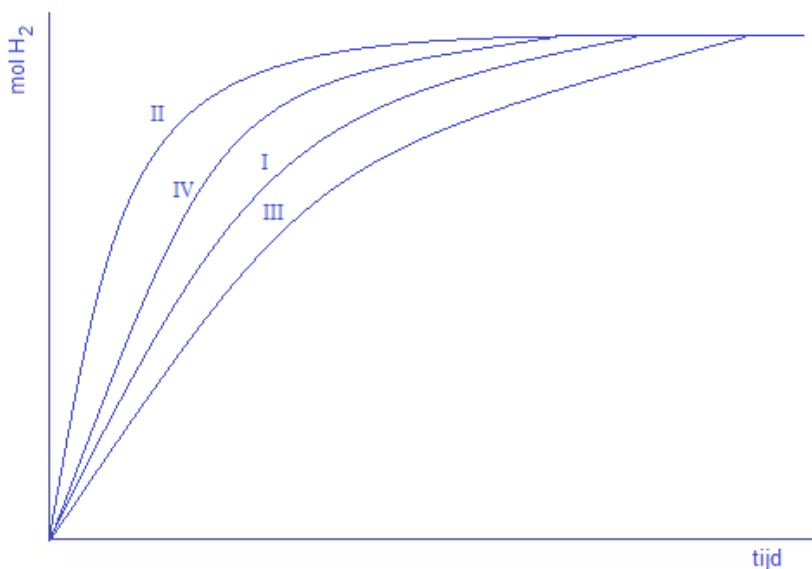
IV: 1,0 g ijzerpoeder met 50 mL 0,20 M zoutzuur bij 50°C.

Bij deze reactie ontstaan waterstof en een oplossing van ijzer(II)chloride.

- Geef de vergelijking van de reactie die bij deze proeven optreedt.
 $2 \text{HCl (aq)} + \text{Fe (s)} \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + \text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{Cl}^{-}(\text{aq})$
- Bereken hoeveel mol H₂(g) bij deze proeven ontstaat.
 $50 \text{ mL} \times 0,20 \text{ mmol/ml} = 10 \text{ mmol HCl} \equiv 5,0 \text{ mmol H}_2(\text{g})$

$1,0 \text{ g} : 55,85 \text{ g/mol} = 0,018 \text{ mol} = 18 \text{ mmol Fe} \equiv 18 \text{ mmol H}_2(\text{g})$
Er ontstaat dus $5,0 \text{ mmol H}_2(\text{g})$

- 3 Schets in één diagram voor ieder proef de hoeveelheid waterstof die ontstaat tegen de tijd. Geef aan welke lijn bij welke proef hoort. Als je het antwoord op 2. niet gevonden hebt, geef dan toch het diagram met de lijnen.

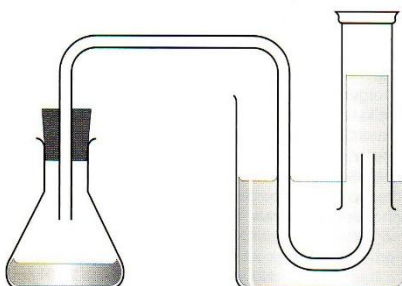


- 4 Verklaar de verschillen met behulp van het botsingsmodel.
De snelheid van proef III is het laagst, want de verdelingsgraad is klein, de temperatuur is laag en de concentratie is klein. Daarna komt proef I, want hier is de verdelingsgraad groter, dus er zijn meer botsingen mogelijk. Dan komt proef IV, want deze verloopt bij een hoger temperatuur, dus de deeltjes bewegen sneller waardoor ze vaker botsen. Bovendien botsen ze krachtiger, zodat er een groter percentage effectieve botsingen plaats zal vinden. Proef II verloopt het snelst, omdat hier de concentratie ook nog groter is, waardoor er meer botsingen plaats zullen vinden.

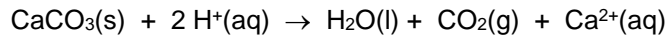
Opgave 3 Gas meten

Een schelp bestaat voornamelijk uit calciumcarbonaat. Bianca moet uitzoeken hoe snel een schelp wordt aangetast door zure oplossingen. In zure oplossingen komen H^+ ionen voor. Bij de reactie van een schelp met een zuur ontstaat een gas. Bianca wil het gas opvangen en meten.

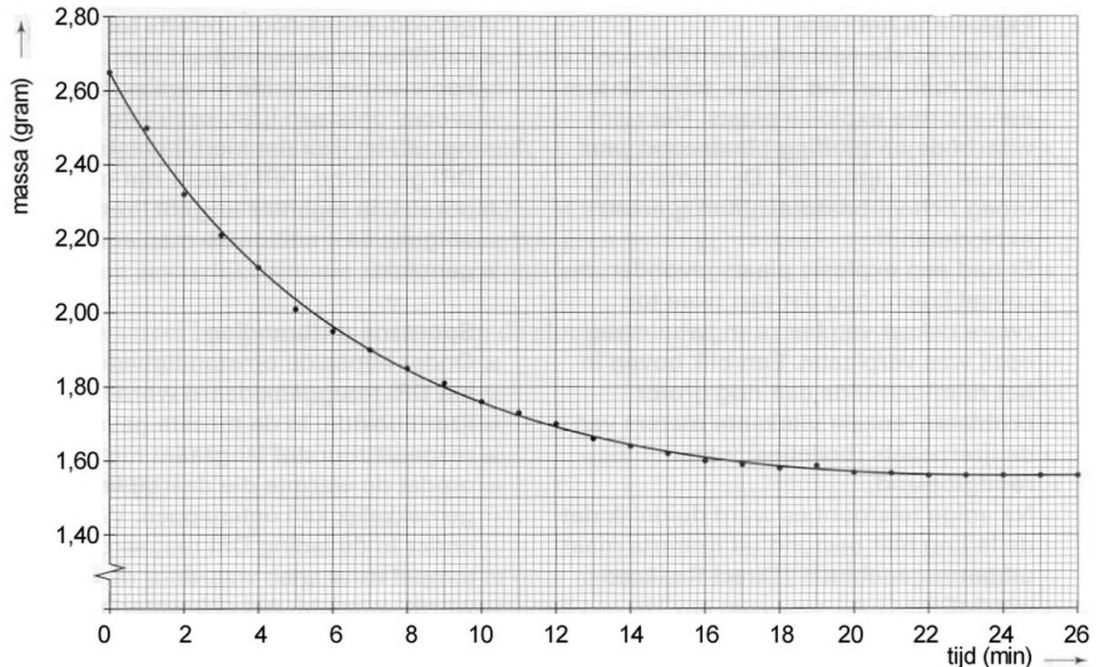
- 1 Teken een opstelling die geschikt is om de hoeveelheid gas die bij deze reactie ontstaat, op te vangen en te meten.



Bianca bedenkt dat ze de proef ook kan uitvoeren door de massa-afname van het reactievat met inhoud te bepalen. Ze plaatst een bekeerglas met $200 \text{ mL } 2 \text{ M}$ zoutzuur (een overmaat) op een balans en zet de balans op nul. Vervolgens brengt ze op tijdstip $t = 0$ minuten haar schelp in het bekeerglas met zoutzuur. Er treedt een reactie op, die als volgt kan worden weergegeven:



Bianca noteert iedere minuut de massa die de balans aangeeft. Van haar resultaten maakt ze een diagram dat er als volgt uitziet:



2 Hoe is aan het diagram te zien dat de reactiesnelheid tijdens de proef afneemt? Geef een korte uitleg.
De daling van de lijn verloopt steeds minder snel, de lijn wordt minder steil.

3 Leg uit waarom tijdens het experiment de reactiesnelheid afneemt.

Tijdens de reactie daalt de concentratie van het H^+ . Daarmee neemt de botsingskans af en daalt de reactiesnelheid.

4 Bereken met behulp van het diagram de gemiddelde reactiesnelheid gedurende de eerste 10 minuten. De reactiesnelheid is hier het aantal mol CaCO_3 dat per seconde reageert.

Tijdens de eerste 10 minuten daalt de massa van 2,65 gram naar 1,76 gram. Er is dus 0,89 gram koolstofdioxide verdwenen. Dat is $0,89 \text{ g} : 44,01 \text{ g/mol} = 2,02 \times 10^{-2} \text{ mol}$

$2,02 \times 10^{-2} \text{ mol CO}_2 \equiv 2,02 \times 10^{-2} \text{ mol CaCO}_3$.

$S = 2,02 \times 10^{-2} \text{ mol CaCO}_3 : 10 \times 60 \text{ s} = 3,4 \times 10^{-5} \text{ mol CaCO}_3 \text{ per seconde}$

Bij haar eerste experiment gebruikte Bianca 200 mL 2M zoutzuur. Ze doet een tweede experiment met een zelfde soort schelp met dezelfde massa. Bij dit tweede experiment gebruikt ze 100 mL 4M zoutzuur. Bianca vergelijkt de reactiesnelheid van het eerste en tweede experiment door te kijken naar de massa-afname bij beide experimenten gedurende de eerste vier minuten. Bij het eerste experiment gaf de balans op tijdstip $t = 4$ minuten een massa van 2,12 gram aan.

5 Leg uit of de balans bij het tweede experiment op $t = 4$ minuten een massa aangeeft die kleiner dan, gelijk aan of groter dan 2,12 gram is.

Bij het tweede experiment is de concentratie van het zoutzuur hoger, dus de reactiesnelheid is ook hoger. Er reageert meer calciumcarbonaat en er is dus een massa die kleiner is dan 2,12 gram

Tenslotte doet Bianca een derde experiment met een zelfde soort schelp met dezelfde massa. Net als bij het eerste experiment gebruikt ze 200 mL 2M zoutzuur. Dit zoutzuur heeft ze echter verwarmd en de temperatuur van het zoutzuur is duidelijk hoger dan die bij het eerste experiment.

- 6 Neem het diagram over en schets hierin hoe de massa-afname van het calciumcarbonaat zal verlopen tijdens experiment drie. Geef hierbij een korte uitleg.

In het diagram moet de lijn voor experiment 3 steiler naar beneden gaan dan die van experiment 1. Het antwoord moet de notie bevatten dat een reactie sneller gaat bij hogere temperatuur. De lijn moet eerder horizontaal gaan lopen op het niveau van 1,58 gram

Opgave 4 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: $2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{Br}^- \rightarrow \text{Br}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

- 1 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 H_2O_2 zijn beide oxidatoren, maar H_2O_2 is veel sterker, dus H_2O_2 is de oxidator die hier elektronen opneemt. (Waterstofperoxide reageert hier in zuur milieu. Als H^+ als oxidator zou optreden, zou er H_2 ontstaan:

- 2 Leg uit hoe je aan je antwoord bent gekomen.

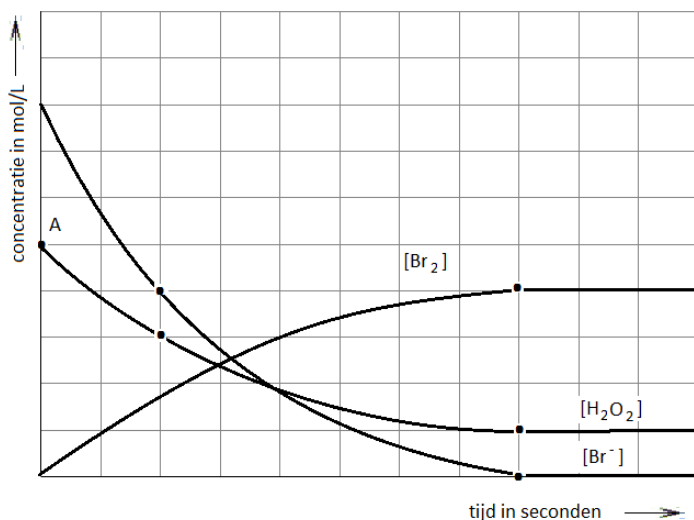
Zie antwoord op de vorige vraag.

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.

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

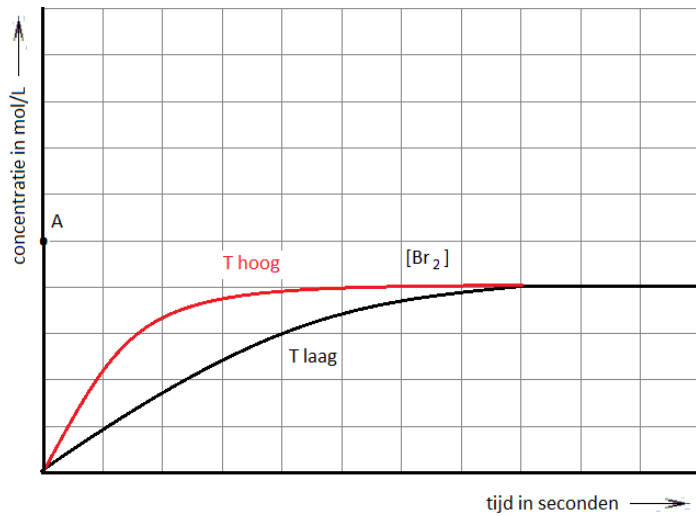


Er is $4/5A$ mol Br_2 ontstaan, dus is er $4/5A$ mol H_2O_2 omgezet, omdat 1 mol $\text{H}_2\text{O}_2 \equiv 1$ mol Br_2 . $[\text{H}_2\text{O}_2]$ neemt dus net zo snel af als $[\text{Br}_2]$ toeneemt en er blijft $1/5A$ H_2O_2 over.

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.

- 4 Teken in het diagram ook hoe de concentratie van Br^- verandert.

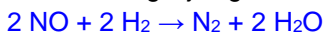
- 5 Teken in het diagram hoe de concentratie van Br₂ zou veranderen als met dezelfde beginconcentratie de temperatuur hoger zou zijn.



Opgave 5 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.

- 1 Geef de vergelijking voor deze reactie.

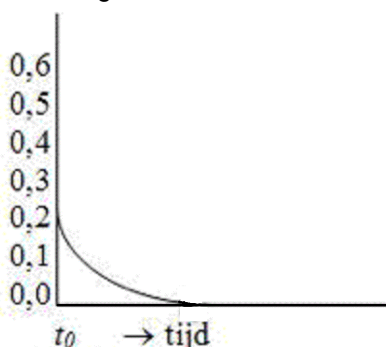


Op tijdstip t_1 is nog de helft van de oorspronkelijke hoeveelheid waterstof over.

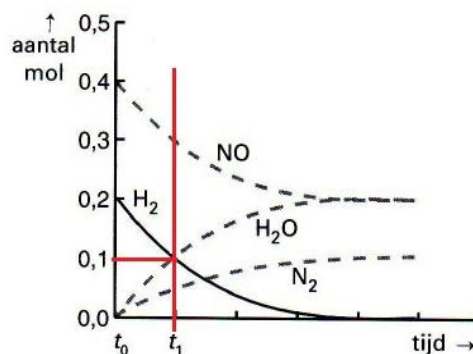
- 2 Bereken de hoeveelheden van de andere stoffen die op dat moment aanwezig zijn.

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.

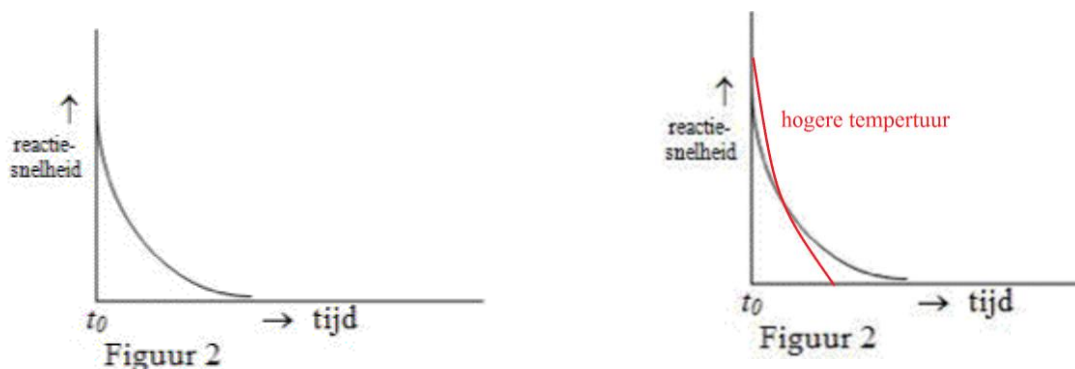


Figuur 1



- 3 Geef in figuur 1 het tijdstip t_1 aan.
- 4 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.

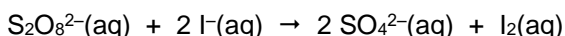


- 5 Schets in figuur 2 het verloop van de reactiesnelheid als functie van de tijd voor het geval de proef, onder overigens gelijkblijvende omstandigheden wordt uitgevoerd bij een hogere temperatuur. Licht je tekening toe.

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.

Opgave 6 Reactie van persulfaat met jodide.

Als je een oplossing van kaliumpersulfaat met een oplossing van kaliumjodide mengt, verloopt een reactie die je als volgt kunt weergeven:



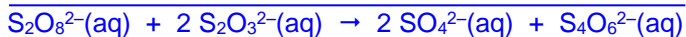
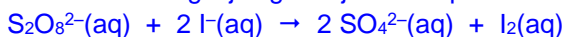
In aanwezigheid van stijfsel zal de oplossing door het ontstane jood direct blauw kleuren. Als je aan de oplossing ook een kleine bekende hoeveelheid natriumthiosulfaatoplossing toevoegt, reageert het ontstane jood daar eerst meteen mee. Pas als al het thiosulfaat heeft gereageerd, blijft er I_2 over en ontstaat een blauwe kleur.

- 1 Geef met behulp van halfreacties de vergelijking van de reactie van jood met thiosulfaat, $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$.



- 2 Leg aan de hand van het antwoord op vraag 1 en de gegeven reactievergelijking uit dat tijdens de proef de jodideconcentratie constant blijft.

Omdat de reacties van jodide met persulfaat en jood met thiosulfaat na elkaar verlopen, kun je deze twee reactievergelijkingen bij elkaar optellen:



Je ziet dat in deze reactievergelijking $\text{I}^-(\text{aq})$ niet meer voorkomt. De concentratie van $\text{I}^-(\text{aq})$ verandert dus niet.

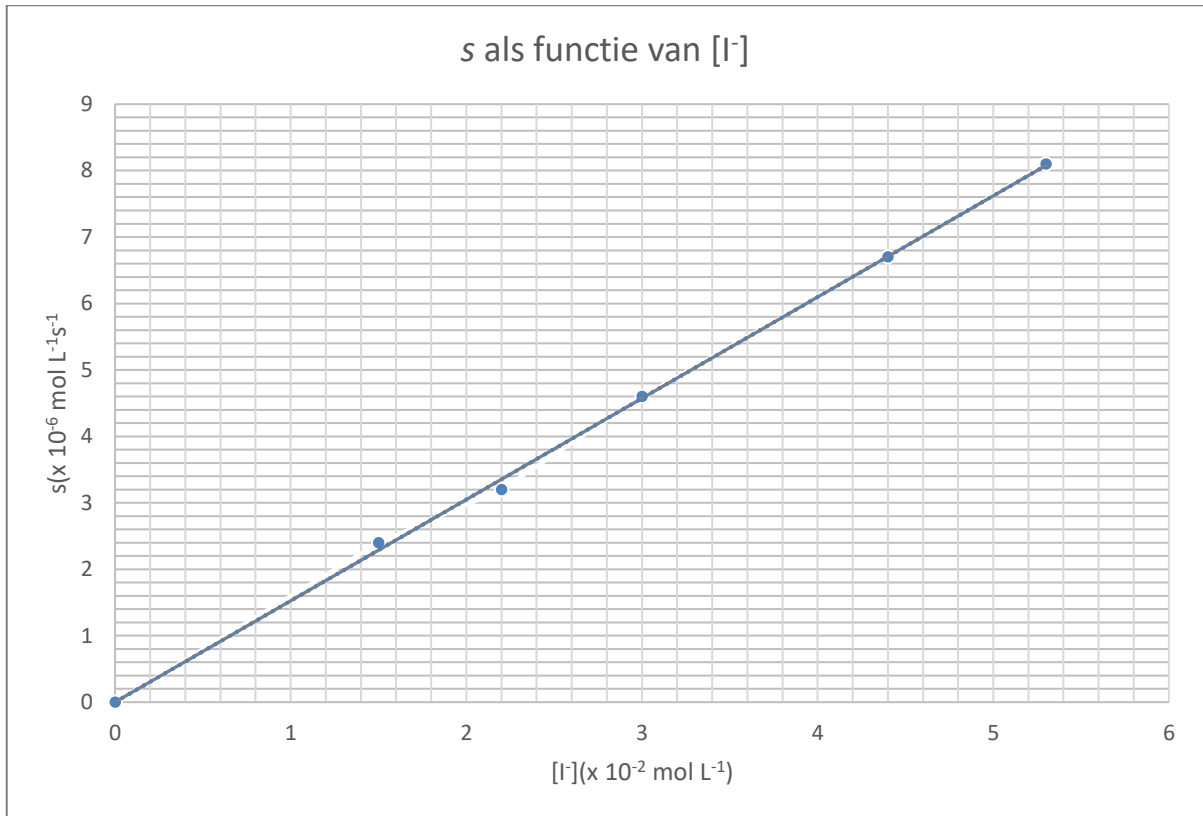
De tijd die nodig is voor het ontstaan van de blauwkleuring is een aanwijzing voor de snelheid van de reactie van persulfaat met jodide.

Eerst wordt nagegaan hoe de reactiesnelheid afhangt van de jodideconcentratie door de reactie uit te voeren met verschillende concentraties jodide waarbij de persulfaatconcentratie constant wordt gehouden. Daarna wordt de proef herhaald met een variabele persulfaatconcentratie en een vaste jodideconcentratie.

Bij alle proeven moet steeds precies dezelfde hoeveelheid thio worden toegevoegd.

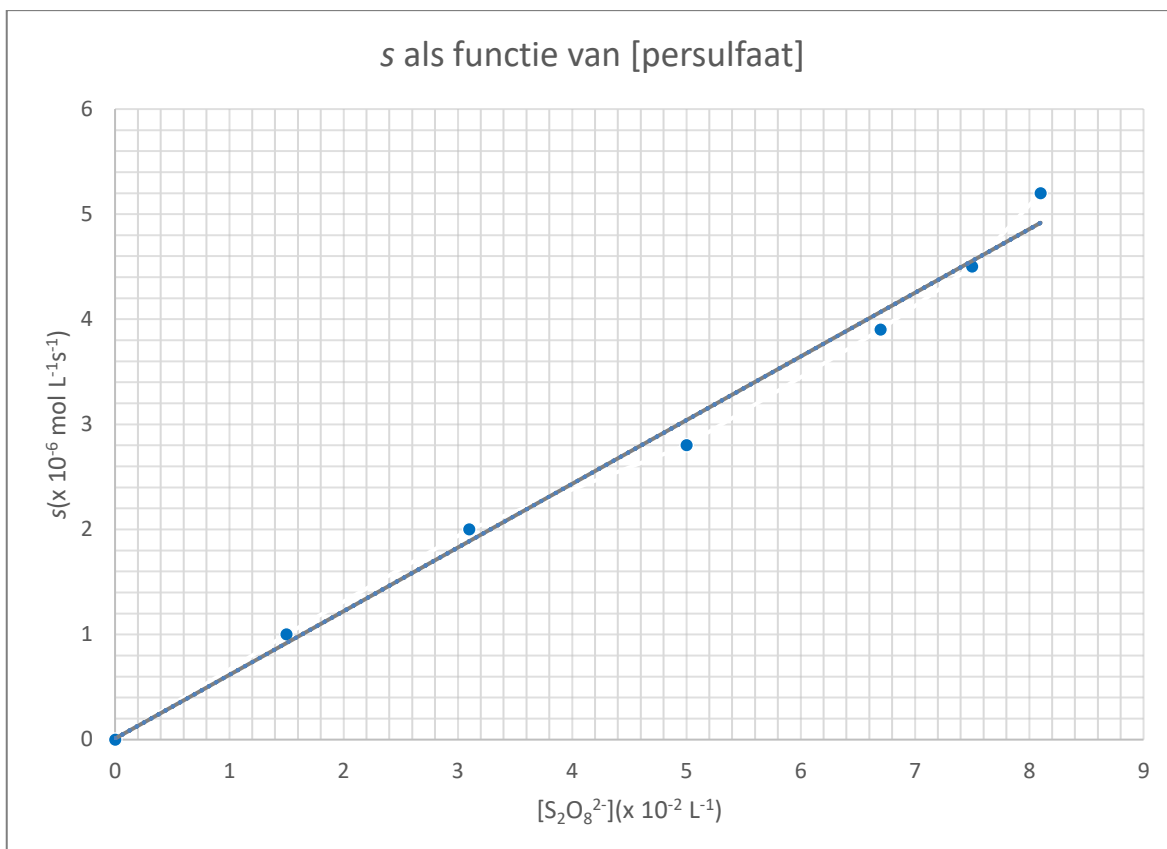
- 3 Leg uit dat de snelheid waarmee de vaste hoeveelheid thio opraakt een maat voor de reactiesnelheid. Omdat de hoeveelheid thio bij elke proef constant is, is de hoeveelheid I_2 die door persulfaat ontstaat constant op het moment dat blauwkleuring optreedt. De enige variabele is de tijd waarop de blauwkleuring ontstaat. Die wordt bepaald door de $[I^-]$ van de betreffende proef.

Uit vijf proeven met een variabele $[I^-]$ wordt onderstaande grafiek verkregen.



- 4 Leg uit dat uit deze grafiek volgt dat voor de reactiesnelheid s geldt: $s = \text{constante} \times [I^-]$
De verkregen lijn is een rechte door de oorsprong, dus de reactiesnelheid is recht evenredig met de jodideconcentratie. Hiervoor geldt: $s = \text{constante} \times [I^-]$. In dit geval is $s = 1,5 \cdot 10^{-4} \times [I^-]$

Bij de proeven met een variabele persulfaatconcentratie en een constante jodideconcentratie werd de onderstaande grafiek verkregen.



- 5 Ga na dat de volgende relatie geldt: $s = \text{constante} \times [\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]$
 Uit de grafiek volgt dat de reactiesnelheid recht evenredig is met de persulfaatconcentratie. Hiervoor geldt dat $s = \text{constante} \times [\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]$. In dit geval is $s = 6,1 \cdot 10^{-5} \times [\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]$.
- 6 Ga na dat uit de proeven volgt dat de volgende vergelijking voor de reactiesnelheid geldt:
 $s = k \times [\text{I}^-] \times [\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]$. Gegeven is dat bij de proeven met de variabele $[\text{I}^-]$ de $[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]$ steeds gelijk was aan $7,1 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$ en dat bij de proeven met de variabele $[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]$ de $[\text{I}^-]$ steeds gelijk was aan $2,9 \cdot 10^{-2} \text{ mol/L}$.
 Als $[\text{I}^-] = 1,0$ volgt uit $s = k([\text{I}^-]) \times [\text{I}^-]$ dat $s = 1,5 \cdot 10^{-4}$
 Als de snelheidsvergelijking, $s = k \times [\text{I}^-] \times [\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]$, juist is, moet gelden: $s = k \times [\text{S}_2\text{O}_8^{2-}] = 1,5 \cdot 10^{-4}$
 $k = 1,5 \cdot 10^{-4} : 7,1 \cdot 10^{-2} = 2,1 \cdot 10^{-3}$.
 Evenzo moet dan gelden bij $[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}] = 1,0$ dat $s = k([\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]) \times [\text{S}_2\text{O}_8^{2-}] = 6,1 \cdot 10^{-5}$
 $k = 6,1 \cdot 10^{-5} : 2,9 \cdot 10^{-2} = 2,1 \cdot 10^{-3}$.
 In beide gevallen levert de berekening van k dezelfde waarde op, dus klopt het dat $s = k \times [\text{I}^-] \times [\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]$.

Reactiemechanismen

Opgave 1 De reactie $\text{A} + \text{B} \rightarrow \text{C} + \text{D}$

De reactiesnelheid van de reactie $\text{A} + \text{B} \rightarrow \text{C} + \text{D}$ kan worden gedefinieerd als $s = k[\text{A}][\text{B}]$ of $s = k[\text{A}]$.

- 1 Beschrijf mogelijke reactiemechanismen die voldoen aan deze snelheidsvergelijkingen.
 Een molecuul C en een molecuul D ontstaan wanneer een molecuul A en een molecuul B tegen elkaar botsen. De kans dat een molecuul A tegen een molecuul B botst is recht evenredig met $[\text{A}]$ en de kans dat een molecuul B tegen een molecuul A botst is recht evenredig met $[\text{B}]$, dan zal de snelheid hiermee ook evenredig moeten zijn, dus $s = k[\text{A}][\text{B}]$.
 In het tweede geval is de reactiesnelheid alleen afhankelijk van botsingen tussen moleculen A.

Moleculen B reageren in een tweede stap. Aangezien s uitsluitend afhankelijk is van $[A]$ moet de tweede stap sneller zijn dan de eerste. Een mogelijk tweestapsmechanisme is:

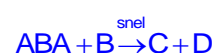
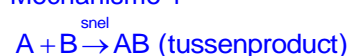


Voor de reactie $2 A + 2 B \rightarrow C + D$ is $s = k[A]^2[B]$.

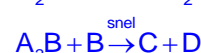
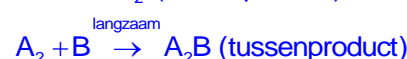
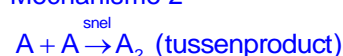
- 2 Geef twee mogelijke mechanismen voor deze reactie waarbij alleen maar gebruik wordt gemaakt van unimoleculaire en bimoleculaire stappen.

Uit $s = [A]^2[B]$ volgt dat één molecuul B en twee moleculen A nodig zijn om het tussenproduct voor de snelheidsbepalende stap te geven. De drie moleculen botsen niet gelijktijdig omdat er moet worden uitgegaan van uni- of bimoleculaire stappen. Er moet dus tenminste één snelle stap vooraf gaan aan de vorming van het tussenproduct voor de snelheidsbepalende stap. In deze eerste snelle stap reageren een molecuul A en B of twee moleculen A met elkaar. Het tweede B-molecuul moet in een snelle stap, na de snelheidsbepalende (langzame) stap, reageren.

Mechanisme 1



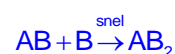
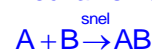
Mechanisme 2



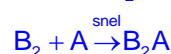
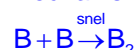
Voor de reactie $A + 2 B \rightarrow C + D$ is $s = k[A][B]^2$.

- 3 Stel voor deze reactie twee mechanismen voor waarbij de snelheidsbepalende stap unimolecuair is. De snelheidsbepalende stap vereist een tussenproduct dat gevormd is uit één molecuul A en twee moleculen B. Omdat in de snelheidsvergelijking moleculen en machten voorkomen die overeenkomen met de soorten en aantallen reagerende moleculen, zijn er geen snelle stappen die op de snelheidsbepalende stap volgen.

Mechanisme 1

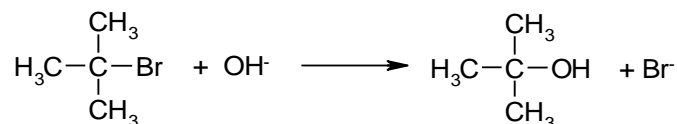


Mechanisme 2



Opgave 2 2-broom-2-methylpropan

Bij de reactie van 2-broom-2-methylpropan met OH^- ontstaat 2-methylpropan-2-ol en Br^- . De reactievergelijking luidt als volgt:



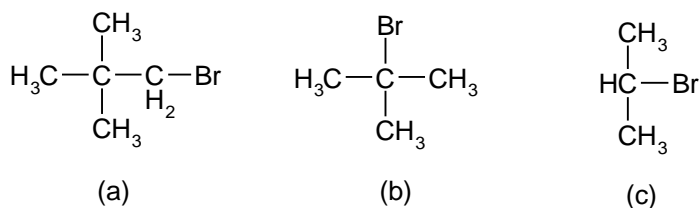
De snelheid van deze reactie is in een serie experimenten onderzocht, waarbij de concentraties van $(\text{CH}_3)_3\text{CBr}$ of OH^- steeds zijn gevarieerd. De reactiesnelheden zijn bepaald door aan het begin van elk experiment de afname van de concentratie van $(\text{CH}_3)_3\text{CBr}$ per seconde te meten. De resultaten zijn in onderstaande tabel weergegeven.

experiment nr	$[(\text{CH}_3)_3\text{CBr}]$ (mol L ⁻¹)	$[\text{OH}^-]$ (mol L ⁻¹)	snelheid s (10 ⁻⁶ mol L ⁻¹ s ⁻¹)
1	0,10	0,10	0,12
2	0,20	0,10	0,24
3	0,30	0,10	0,36
4	0,10	0,20	0,24
5	0,10	0,40	0,48

- Leg aan de hand van deze meetresultaten uit hoe groot de orde van deze reactie is.
Als $[(\text{CH}_3)_3\text{CBr}]$ 2 x zo groot wordt, wordt s ook 2 x zo groot.
Als $[\text{OH}^-]$ 2 x zo groot wordt, wordt s ook 2 x zo groot.
Dus is het een reactie van de tweede orde.
- Schrijf de snelheidsvergelijking voor deze reactie op en bereken met behulp daarvan de grootte van de reactiesnelheidsconstante k .
 $s = k \times [(\text{CH}_3)_3\text{CBr}] \times [\text{OH}^-]$
 $k = 0,12 \cdot 10^{-6} : (0,1 \times 0,1) = 0,12 \cdot 10^{-4}$

Opgave 3 Reactiviteit voorspellen

Voorspel de reactiviteit van de onderstaande verbindingen met ethanol in een S_N1-reactie.



In volgorde van het meest stabiele carboniumion: (b) > (c) > (a)

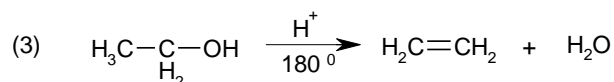
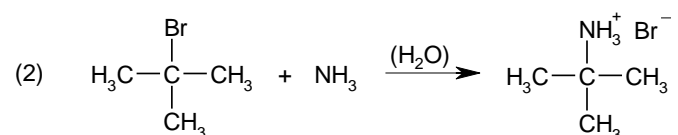
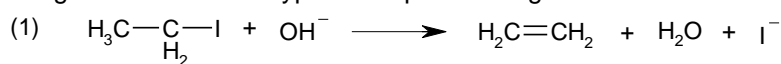
Opgave 4 1-chloorbutaan

De verbinding 1-chloorbutaan wordt met loog verwarmd.

- Volgens welk(e) mechanisme(n) zal (zullen) die reactie(s) verlopen?
Het betreft een primair halogeenalkaan. Dan treden het meest waarschijnlijk 2^o orde reacties op. OH⁻ is een sterke base en dus een sterk nucleofiel. Dat betekent dat er zowel een S_N2- als wel een E2-reactie verlopen. Vermoedelijk is de S_N2-reactie in het voordeel, omdat er bij de E2-reactie drie elektronenparen betrokken zijn waardoor de activeringsenergie hoger waarschijnlijk hoger is.
- Welke verbindingen zullen er ontstaan?
Butaan-1-ol en but-1-een.

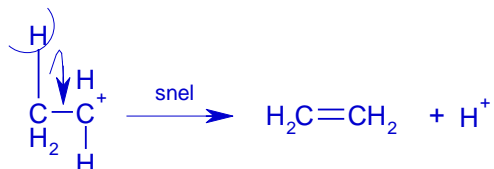
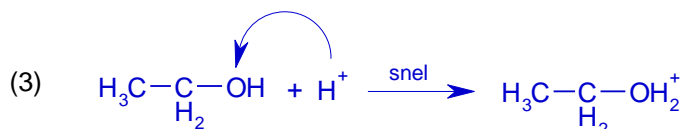
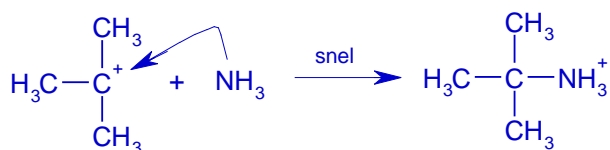
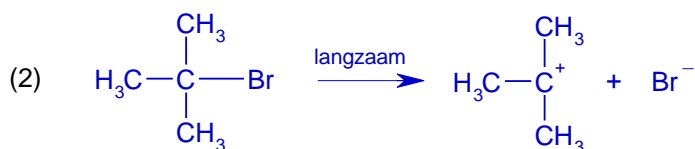
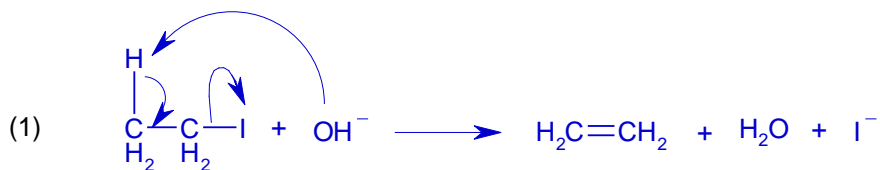
Opgave 5 Reactietypen

- Volgens welke reactietypen verlopen de volgende reacties:



(1) E2 vanwege sterke base, (2) S_N1 vorming stabiel carboniumion, (3) E1 zuur milieu en temperatuur > 100 °

2 Geef de mechanismen van bovenstaande reacties.

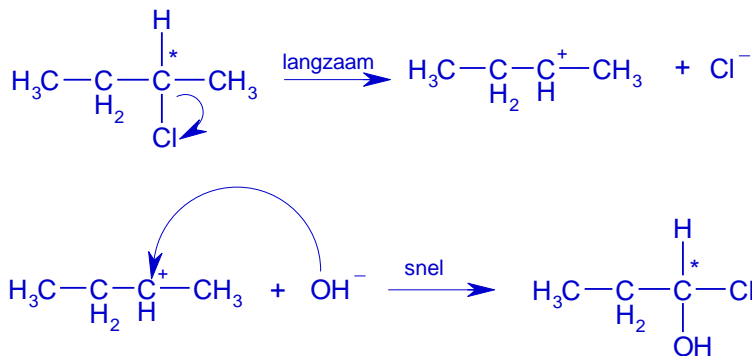


Opgave 6 Omzetting 2-chloorbutaan in butaan-2-ol

De omzetting van 2-chloorbutaan tot butaan-2-ol met een waterige loogoplossing blijkt in dit milieu zowel via een S_N1- als een S_N2-mechanisme te verlopen. Eventuele eliminatiereacties worden buiten beschouwing gelaten.

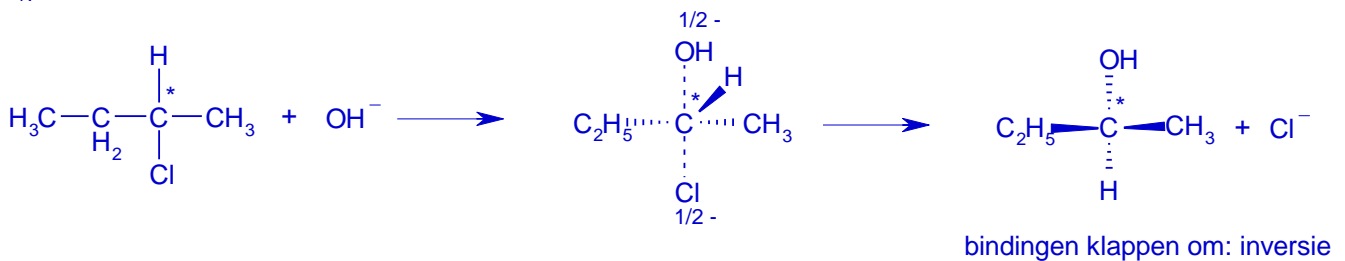
1 Schrijf de beide reactiemechanismen voor deze reactie op.

S_N1:



beide enantiomeren = spiegelbeeld isomeren ontstaan (racemisch mengsel)

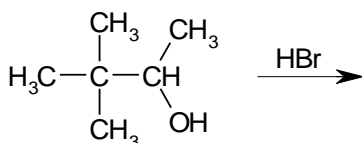
S_N2:



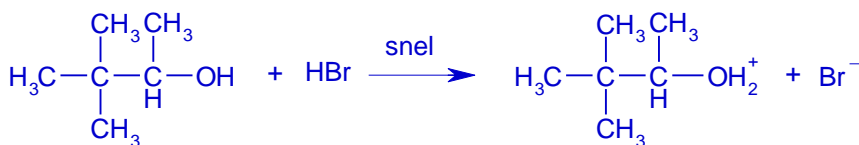
- Leg uit met wat voor soort experiment je dit zou kunnen aantonen. Geef ook duidelijk je waarnemingen weer.
Voer een aantal experimenten uit met variërende [OH⁻] en een in overmaat aanwezige constante [C₄H₉Cl]. Bepaal de afhankelijk van de reactiesnelheid van [OH⁻] door bij ieder experiment op hetzelfde tijdstip de pH te meten. Hieruit kan worden berekend hoeveel OH⁻ in ieder experiment op dat tijdstip gereageerd heeft..
Zou de reactie volledig volgens het S_N2-mechanisme verlopen, dan vind je dat bij verdubbeling van [OH⁻] de snelheid (Δ[OH⁻]/Δt) met een factor 2 toeneemt. Zou de reactie volledig volgens het S_N1-mechanisme verlopen dan geeft verandering van [OH⁻] geen verandering van de pH van de oplossing, dus geen verandering van de reactiesnelheid.
In een tussenliggend geval is de reactiesnelheid wel afhankelijk van [OH⁻] maar bij verdubbeling van [OH⁻] neemt de reactiesnelheid toe met een factor < 2 maar > 1.
- Verklaar het ontbreken van een duidelijke voorkeur voor een van beide reactietypen.
Het bezwaar tegen een S_N1-reactie is dat dit via een secundair carboniumion verloopt. Dit ion is niet al te stabiel.
Het bezwaar tegen een S_N2-reactie is dat er sterische hindering optreedt bij nadering van OH⁻.
Bij verhoging van de pH blijkt het S_N2-aandeel toe te nemen en in sterk alkalisch milieu wordt dit vrijwel de enige reactieweg.
- Geef hiervoor een verklaring.
De snelheid van de S_N1-reactie is onafhankelijk van [OH⁻] en blijft dus constant. De snelheid van de S_N2-reactie is evenredig met [OH⁻] en krijgt zodoende bij hogere pH steeds meer de overhand.

Opgave 7 Reactie van 3,3-dimethyl-butaan-2-ol met HBr

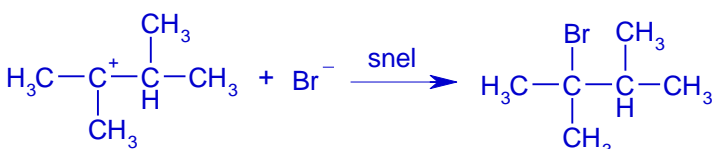
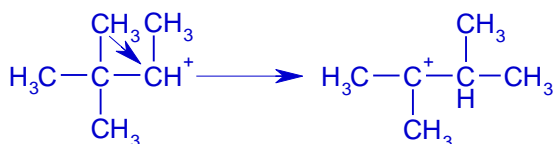
Leg uit wat het hoofdproduct zal zijn bij onderstaande reactie.



Een mogelijke reactie zal zich voltrekken via het S_N1-mechanisme, want een S_N2-reactie wordt bemoeilijkt door sterische hindering.

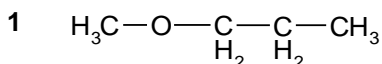


Het ontstane carboniumion kan overgaan in een stabielere carboniumion doordat een CH₃-groep van een aan het positief geladen grenzende C-atoom zich (samen met het bindend elektronenpaar) naar het positief C-atoom verplaatst. Zo'n verplaatsing kan zowel met een CH₃-groep (methylshift) als met een H-atoom (H-shift) voorkomen.

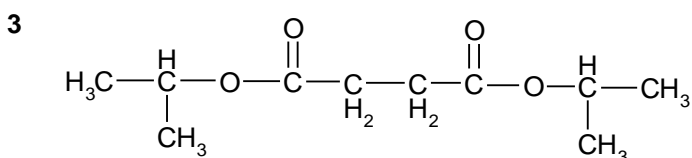
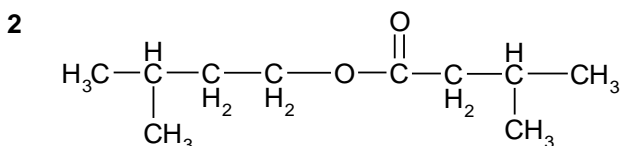


Opgave 8 Bereiding van diverse verbindingen via S_N-reacties

Kies een geschikt nucleofiel en halogeenalkaan om de onderstaande stoffen te bereiden.



In onderstaande formules stelt X een halogeenatoom voor.



Opgave 9 Bereiding van 1-ethoxy-2,2-dimethylpropan

Op welke van beide hieronder genoemde manieren kan men de bereiding van 1-ethoxy-2,2-dimethylpropan het beste tot stand brengen? Motiveer je antwoord.

(a) 1-chloor-2,2-dimethylpropan door reactie met natriumethanolaat.

(b) Chloorethaan met natrium-2,2-dimethyl-propanolaat.

Bij mogelijkheid (a) is nucleofiele substitutie aan 1-chloor-2,2-dimethylpropan moeilijk. Er is namelijk een primair C-atoom dat ongunstig is voor een S_N1 -reactie en een S_N2 -reactie is ook ongunstig door sterische hindering. Mogelijkheid (b) is de beste manier. Primair C-atoom van halogenide maakt S_N2 -reactie waarschijnlijk.

Opgave 10 Reactie van broomethaan met OH^-

Bekijk de volgende reactie:



1 Leg uit wat er met de reactiesnelheid zal gebeuren als de:

(a) broomethaanconcentratie wordt verdubbeld

(b) OH^- -ionenconcentratie wordt verdrievoudigd.

Reactie vindt plaats aan een primair C-atoom, dus wordt het hoofdproduct gevormd door een S_N2 -reactie. De reactiesnelheid is in zo'n geval afhankelijk van zowel de $[\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br}]$ als de $[\text{OH}^-]$. Wordt de $[\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br}]$ verdubbeld, dan wordt s ook tweemaal zo groot. $[\text{OH}^-]$ zou de zelfde redenering gelden, echter bij een verdrievoudiging van de $[\text{OH}^-]$ zal, naast substitutie ook een niet geringe eliminatie plaatsvinden, dus is bij relatief hoge $[\text{OH}^-]$ s niet meer evenredig met de $[\text{OH}^-]$.

2 Wat zal er gebeuren als de temperatuur wordt verhoogd?

Bij temperatuurverhoging zal steeds meer eliminatie plaatsvinden.

Opgave 11 Relatieve reactiesnelheden

In de onderstaande tabel zijn de relatieve reactiesnelheden vermeld voor de vorming van alkanolen uit de genoemde halogeenalkanen in een mengsel van 80% water en 20% ethanol bij 25 °C.

Verbinding	CH_3Br	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Br}$	$(\text{CH}_3)_2\text{CHBr}$	$(\text{CH}_3)_3\text{CBr}$
Relatieve snelheid	2140	171	4,99	1010

Verklaar de lage waarde voor $(\text{CH}_3)_2\text{CHBr}$.

De eerste drie halogeenalkanen reageren hoofdzakelijk via het S_N2 -mechanisme. De reactiviteit neemt af als H-atomen worden vervangen door CH_3 -groepen vanwege toename van sterische hindering.

Het ontstaan van $(\text{CH}_3)_3\text{COH}$ uit $(\text{CH}_3)_3\text{CBr}$ verloopt via het S_N1 -mechanisme (tertiair C-atoom) waarbij sterische hindering praktisch geen rol speelt. Dit verklaart de sterke toename van de reactiesnelheid van $(\text{CH}_3)_3\text{CBr}$.

Opgave 12 Omzetting van RCl in ROH

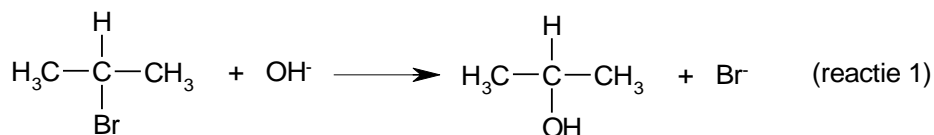
Verklaar het feit dat de omzetting van $\text{CH}_3\text{CH}_2 - \text{Cl}$ in $\text{CH}_3\text{CH}_2 - \text{OH}$ langzaam verloopt maar dat de reactie snel verloopt als er een katalytische hoeveel I^- aan het reactiemengsel wordt toegevoegd.

I^- is een sterk nucleofiel dat snel reageert met $\text{CH}_3\text{CH}_2 - \text{Cl}$ tot $\text{CH}_3\text{CH}_2 - \text{I}$. I^- is ook een betere leaving groep dan Cl^- en daarom wordt $\text{CH}_3\text{CH}_2 - \text{I}$ snel omgezet tot $\text{CH}_3\text{CH}_2 - \text{OH}$ waarbij het I^- weer vrijkomt.

Opgave 13 De reactie van 2-broompropan met een oplossing van NaOH

Een broomalkaan kan met een oplossing van natriumhydroxide reageren onder vorming van een alkanol en bromide. Om inzicht te krijgen in het mechanisme van een dergelijke reactie wordt vaak een reactiesnelheidsonderzoek uitgevoerd.

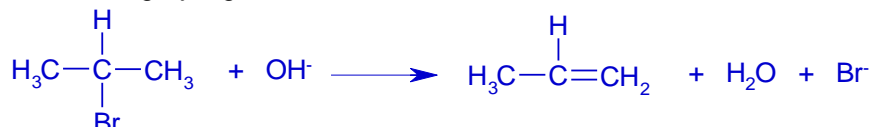
Eén van de reacties die onderzocht is, is de vorming van propan-2-ol uit 2-broompropan in basisch milieu:



De snelheid van een reactie kan worden gedefinieerd als de afname van de concentratie van een uitgangsstof per tijdseenheid of als de toename van de concentratie van een reactieproduct per tijdseenheid.

Bij reactie 1 kiest men als definitie de toename van de concentratie van propaan-2-ol per tijdseenheid. In een oplossing van 2-broompropaan en natriumhydroxide treedt naast reactie 1 een reactie op waarbij uit 2-broompropaan propaan ontstaat (reactie 2).

- 1 Geef de vergelijking van reactie 2 in structuurformules.

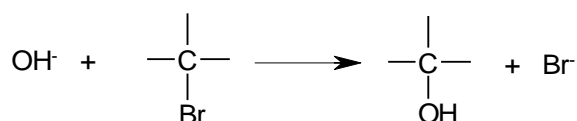


- 2 Leg uit of, gezien het optreden van reactie 2, de snelheid van reactie 1 gedefinieerd kan worden als de afname van $[\text{OH}^-]$ per tijdseenheid.

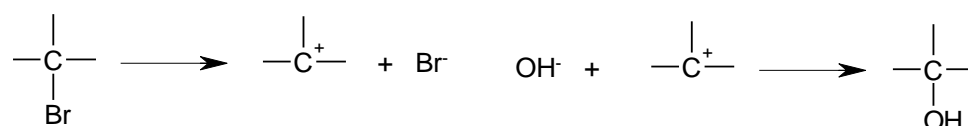
Omdat in reactie 2 ook OH^- -ionen worden gebruikt, is de afname van $[\text{OH}^-]$ per tijdseenheid niet geschikt als definitie voor de afzonderlijke snelheid van reactie 1

Voor de vorming van alkanolen uit broomalkanen in basisch milieu zijn twee mogelijke mechanismen opgesteld.

Mechanisme I: een hydroxide-ion hecht zich aan een molecuul broomalkaan, en wel aan het koolstofatoom waaraan het broomatoom gebonden is; tegelijkertijd wordt een bromide-ion afgesplitst.



Mechanisme II: eerst splitst een molecuul broomalkaan zich in een bromide-ion en een positief geladen alkylgroep (carboniumion of carbokation); daarna hecht zich een hydroxide-ion aan deze positieve alkylgroep.



Door middel van reactiesnelheidsonderzoek is uit te maken in hoeverre een reactie als reactie 1 verloopt volgens mechanisme I of volgens mechanisme II. Van reacties die volgens mechanisme I verlopen, is de snelheid afhankelijk van zowel de concentratie van het broomalkaan als van de concentratie van hydroxide:

$$s = k [\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{Br}] [\text{OH}^-]$$

Van reacties die volgens mechanisme II verlopen, is de snelheid niet afhankelijk van de concentratie van hydroxide maar wel afhankelijk van de concentratie van het broomalkaan:

$$s = k' [\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{Br}]$$

In de uitdrukkingen voor de reactiesnelheden stellen k en k' reactiesnelheidsconstanten voor.

- 3 Leg uit wat men uit bovenstaande kan concluderen ten aanzien van de snelheid van de eerste stap van mechanisme II in vergelijking met de snelheid van de tweede stap van mechanisme II
Een reactie verloopt zo snel als de langzaamste stap toelaat. Het feit dat de reactiesnelheid

onafhankelijk is van de $[\text{OH}^-]$ maakt duidelijk dat de tweede stap niet snelheidsbepalend is, dus blijkbaar veel sneller verloopt dan de eerste stap.

Om na te gaan in hoeverre reactie 1 volgens mechanisme I of volgens mechanisme II verloopt, heeft men twee proeven uitgevoerd met verschillende concentraties van 2-broompropaan en OH^- , steeds bij dezelfde constante temperatuur.

In onderstaande tabel zijn voor beide proeven de gemeten reactiesnelheden van de vorming van propaan-2-ol volgens reactie 1 opgenomen, samen met de concentraties van 2-broompropaan en OH^- in de mengsels bij het begin van de twee proeven.

[2-broompropaan] in $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	$[\text{OH}^-]$ in $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	snelheid van reactie 1 in $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{s}^{-1}$
0,10	0,10	$6,4\cdot 10^{-7}$
0,050	0,050	$2,6\cdot 10^{-7}$

Het resultaat van deze proeven leidt tot de veronderstelling dat bij reactie 1 zowel mechanisme I als mechanisme II een rol speelt.

4 Leg dit uit aan de hand van het resultaat van deze proeven.

Op grond van mechanisme I met $s = k [\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{Br}] [\text{OH}^-]$ zou halvering van beide concentraties aan het begin van de proef moeten leiden tot een reactiesnelheid die 4 x zo klein is als $6,4\cdot 10^{-7} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{s}^{-1}$.

Op grond van mechanisme II met $s = k' [\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{Br}]$ zou halvering van beide concentraties moeten leiden tot een aanvangssnelheid van de reactie die slechts 2x zo klein is als $6,4\cdot 10^{-7} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{s}^{-1}$; $[\text{OH}^-]$ heeft hier namelijk geen invloed op de reactie snelheid.

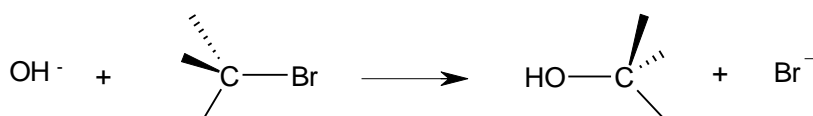
[2-broompropaan] in $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	$[\text{OH}^-]$ in $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$	snelheid van reactie 1 in $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{s}^{-1}$	volgens:
0,10	0,10	$6,4\cdot 10^{-7}$	werkelijk
0,050	0,050	$1,6\cdot 10^{-7}$	mechanisme I
0,050	0,050	$3,2\cdot 10^{-7}$	mechanisme II
0,050	0,050	$2,6\cdot 10^{-7}$	werkelijk

De werkelijk gevonden waarde voor de reactiesnelheid bij de laagste concentraties ligt in tussen de waarden die voor mechanisme I, respectievelijk mechanisme II voorspeld kunnen worden. Hieruit zou je kunnen concluderen dat beide mechanismen een rol spelen.

(Mechanisme I beschrijft het verloop van een $\text{S}_{\text{N}}2$ -reactie; mechanisme II beschrijft dat van een $\text{S}_{\text{N}}1$ -reactie.)

Reacties zoals reactie 1 gaan in de meeste gevallen gepaard met een verandering in de ruimtelijke bouw van de moleculen.

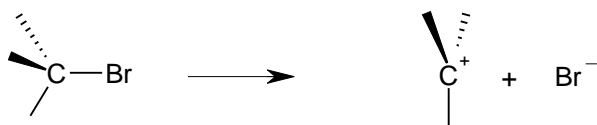
Als zo'n reactie volgens mechanisme I verloopt, zullen de groepen rondom het koolstofatoom waaraan de reactie plaatsvindt "omklappen". De moleculen van het reactieproduct krijgen daardoor een "configuratie" die tegengesteld is aan die van de moleculen van de uitgangsstof:



In dit soort tekeningen stelt een streepje een binding voor in het vlak van tekening; - - - - - en \blacktriangleleft stellen bindingen voor die respectievelijk naar achteren en naar voren gericht zijn.

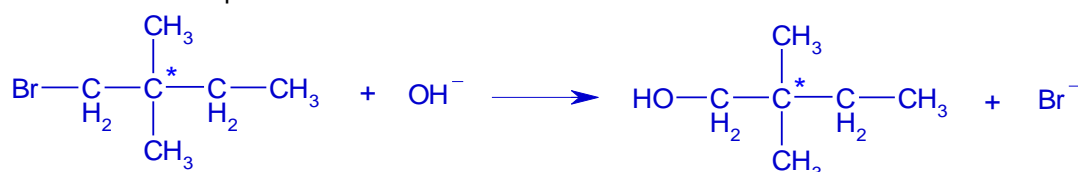
Bij reacties die volgens mechanisme II verlopen, heeft de helft van de moleculen van het

reactieproduct een configuratie die tegengesteld is aan die van de moleculen van de uitgangsstof. Men neemt daarom aan dat de tussentijds gevormde positief geladen ionen een vlakke structuur bezitten:



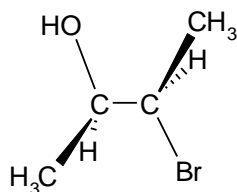
Deze veranderingen in configuratie maken het mogelijk om van reacties van sommige broomalkanen met OH^- het mechanisme op te helderen op een andere manier dan door reactiesnelheidsonderzoek. Voert men namelijk een reactie uit van een optisch actief broomalkaan met OH^- , dan kan men vaak door meting van de optische activiteit na afloop van de reactie inzicht verkrijgen in het mechanisme van deze reactie.

- 5 Leg uit of men van de reactie van optisch actief 1-broom-2-methylbutaan met OH^- op deze wijze het mechanisme kan ophelderen.



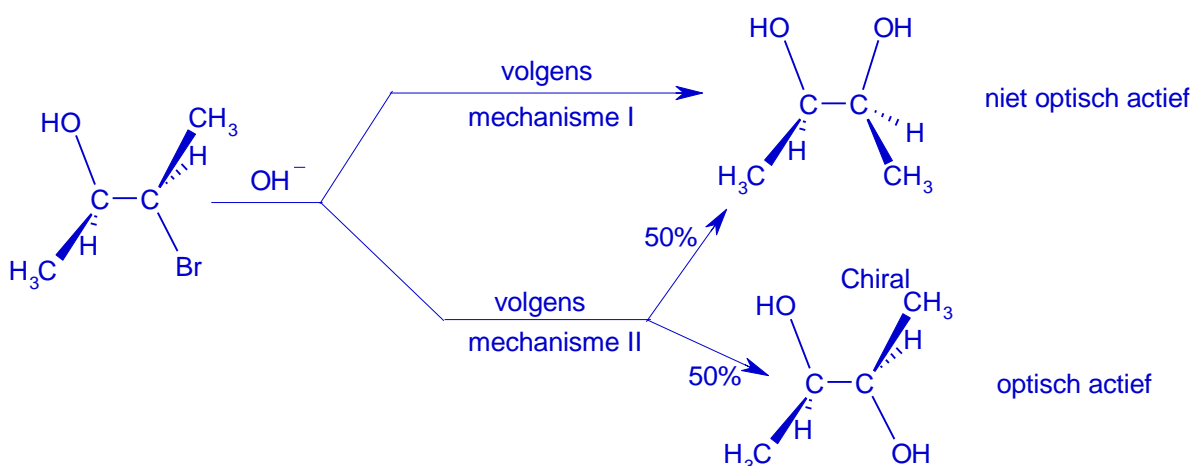
Het mechanisme van deze substitutiereactie kan niet op de beschreven wijze worden opgehelderd, omdat Br niet één van de groepen rond het asymmetrische C-atoom is. De omringing direct rondom C(2) verandert niet door de substitutie, of deze nu via mechanisme I of II verloopt.

Als men 3-broombutaan-2-ol met OH^- laat reageren, ontstaat butaan-2,3-diol. Van 3-broombutaan-2-ol zijn vier stereo-isomeren bekend. De structuur van één van die stereo-isomeren hieronder in een ruimtelijke tekening weergegeven.



Deze stereo-isomeer is optisch actief. Na afloop van de reactie van bovengenoemde stereo-isomeer van 3-broombutaan-2-ol met OH^- wordt geen optische activiteit waargenomen.

- 6 Leg uit of het verdwijnen van de optische activiteit bij deze reactie verklaard kan worden met behulp van de configuratieverandering volgens mechanisme I.



De getekende stereo-isomeer bevat de twee asymmetrische C-atomen C(2) en C(3). Alleen aan C(3), het meest rechtse van de twee, kan substitutie plaatsvinden waarbij het butaan-2,3-diol ontstaat. Volgens mechanisme I vindt "omklapping" plaats aan C(3) waardoor de rechterkant van het molecuul juist het spiegelbeeld wordt van de linkerkant (inwendig spiegelvlak). Een dergelijk molecuul is niet meer optisch actief, omdat beide helften van het molecuul elkaars optische activiteit opheffen. Het verdwijnen van de optische activiteit is hiermee dus verklaard.

- 7 Leg uit of het verdwijnen van de optische activiteit bij deze reactie verklaard kan worden met behulp van de configuratieverandering volgens mechanisme II.

Bij een substitutiereactie volgens mechanisme II ontstaat er tussentijds een positief ion met een vlakke structuur. Daaruit ontstaan twee configuraties in gelijke hoeveelheden (nadering van het in de langzame stap ontstane carboniumion door OH⁻-ionen kan van twee kanten).

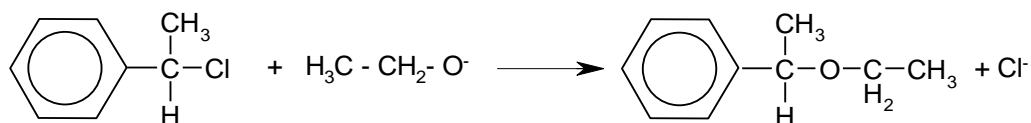
Volgens dit mechanisme bevat elk molecuul na de reactie nog steeds twee asymmetrisch C-atomen, maar bij slechts de helft van alle moleculen heffen C(2) en C(3) elkaars optische activiteit op. De andere helft bevat twee C-atomen met gelijk gerichte asymmetrie zodat deze elkaars optische activiteit (rechts- dan wel linksdraaiend) versterken.

Het verdwijnen van de optische activiteit kan dus niet met mechanisme II worden verklaard.

Opgave 14 Reactie met ethanolaation

Een halogeenaalkaan kan met sommige negatieve ionen reageren, waarbij het halogeenaatoom vervangen wordt door het reagerende deeltje. Het halogeenaatoom komt in de oplossing als een negatief ion. Een voorbeeld van negatieve ionen die op deze manier kunnen reageren met halogeenaalkanen, is ethanolaat, H₃C - CH₂ - O⁻.

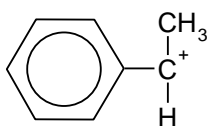
Wanneer natriumethanolaat samengevoegd wordt met 1-chloor-1-fenylethaan, treedt een reactie op waarvan de vergelijking als volgt weergegeven kan worden:



Er zijn twee mechanismen volgens welke deze reactie kan verlopen:

I. Een ethanolaat ion botst tegen het centrale C atoom van een molecuul 1-chloor-1-fenylethaan waarbij in één stap het ethanolaat gebonden wordt en chloride loslaat zodat het reactieproduct is ontstaan.

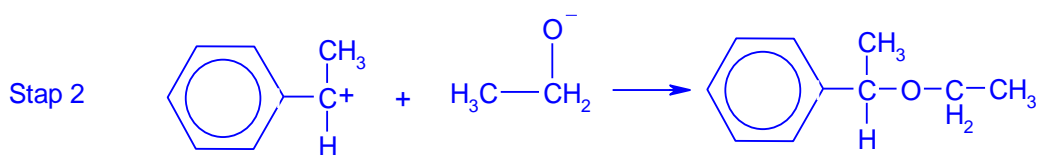
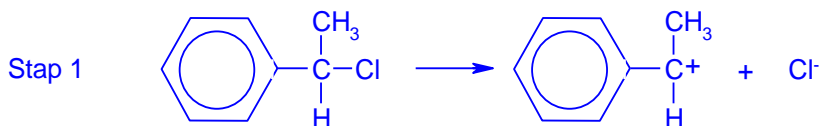
II. Uit een molecuul 1-chloor-1-fenylethaan ontstaat een positief geladen deeltje:



Deze eerste stap is de snelheidsbepalende stap.

Het ontstane positief geladen deeltje reageert vervolgens zeer snel met een ethanolaat ion.

- 1 Geef voor mechanisme II de reactiestappen in structuurformules op.



- 2 Leg uit wat de orde van de reactie is als de reactie volgens mechanisme I verloopt. Volgens mechanisme I botsen twee deeltjes, dus de reactiesnelheid is recht evenredig met de concentratie van 1-chloor-1-fenylethaan en ook recht evenredig met die van ethanolaat. De reactie is dan van de 2^e orde.
- 3 Leg uit wat de orde van de reactie is als de reactie volgens mechanisme II verloopt. De eerste stap is de snelheidsbepalende stap. Daarin reageert alleen 1-chloor-1-fenylethaan. De reactiesnelheid is dan alleen recht evenredig met de concentratie van 1-chloor-1-fenylethaan en onafhankelijk van die van ethanolaat. De reactie is dan van de 1^e orde.

De snelheid van deze reactie is in een serie experimenten onderzocht, waarbij de concentraties zowel van 1-chloor-1-fenylethaan als van ethanolaat zijn gevarieerd. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel waarbij reactiesnelheden zijn weergegeven als de afname van de concentratie van 1-chloor-1-fenylethaan per seconde.

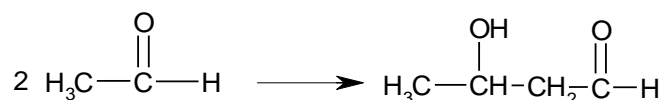
Experiment nr	[Φ- C(CH ₃)H-Cl] (mol L ⁻¹)	[H ₃ C-CH ₂ -O ⁻] (mol L ⁻¹)	Snelheid s (mol L ⁻¹ s ⁻¹)
1	0,10	0,10	0,0010
2	0,20	0,10	0,0020
3	0,30	0,10	0,0030
4	0,10	0,20	0,0013
5	0,10	0,30	0,0016

Johan bekijkt aan de hand van deze gegevens wat de orde is van de reactie. Hij realiseert zich dat er de volgende mogelijkheden zijn:

- Reactiemechanisme I is hier juist.
 - Reactiemechanisme II is hier juist.
 - Beide reactiemechanismen treden tegelijkertijd op.
- 4 Leg uit welke van deze mogelijkheden a, b of c bij deze reactie van toepassing is. De reactiesnelheid is recht evenredig met de concentratie van 1-chloor-1-fenylethaan. De reactiesnelheid is niet onafhankelijk van de concentratie van ethanolaat, ook niet recht evenredig ermee, maar iets er tussenin. Dus treden beide mechanismen op, dus antwoord c.

Opgave 15 Ethanal

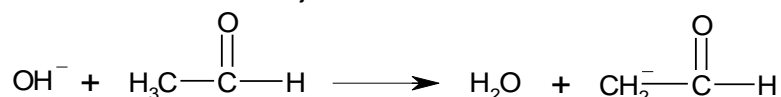
Een molecuul ethanal kan onder invloed van OH⁻ ionen adderen aan een tweede molecuul ethanal, waarbij 3-hydroxybutanal wordt gevormd:



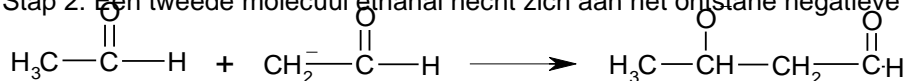
Dit type reactie waarbij additie plaatsvindt aan de C=O groep wordt wel aldoladditie genoemd.

Voor deze reactie is het volgende mechanisme opgesteld.

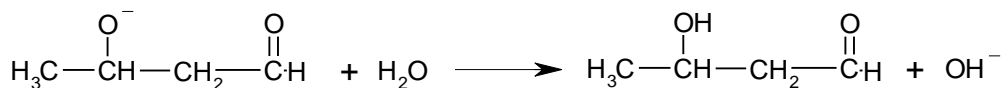
Stap 1: In een molecuul ethanal wordt van het C atoom naast de C=O groep door een OH⁻ ion een H⁺ ion verwijderd:



Stap 2: Een tweede molecuul ethanal hecht zich aan het ontstane negatieve ion:



Stap 3: Ten slotte neemt het zo ontstane ion een H⁺ op van een watermolecuul:



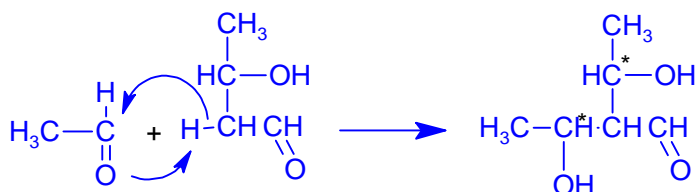
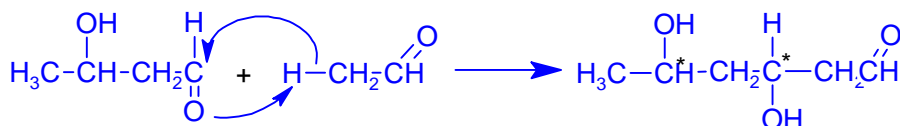
De snelheid van deze reactie blijkt recht evenredig te zijn met de concentratie van ethanal en de concentratie van de hydroxide-ionen.

- 1 Leg uit wat de snelheidsbepalende stap van deze reactie is.

De reactiesnelheid is afhankelijk van [OH⁻] en [C₂H₄O], dus OH⁻ en C₂H₄O reageren in de snelheidsbepalende stap. Dit is de eerste stap.

Bij de reactie van ethanal in aanwezigheid van OH⁻ ontstaan naast 3-hydroxybutanal twee bijproducten met 6 C atomen per molecuul. Deze producten ontstaan volgens hetzelfde mechanisme; in de eerste stap wordt een H⁺-ion verwijderd van het C atoom naast de C=O groep.

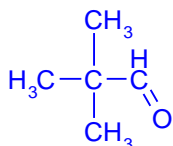
- 2 Geef de structuurformules van deze bijproducten met 6 C atomen.



Ook bij andere alkanalen komt deze additiereactie voor.

Er zijn echter alkanalen die op grond van het beschreven mechanisme geen aldoladditie kunnen vertonen.

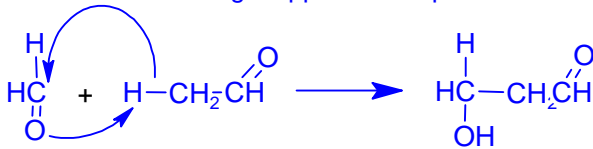
- 3 Leg uit of, en zo ja hoeveel stereo-isomeren van de bedoelde bijproducten bestaan. **Ieder bijproduct heeft twee asymmetrische C-atomen, de C* in beide bijproducten, waardoor er van elke stof vier optische isomeren bestaan.**
- 4 Leg uit waardoor methanal op grond van het beschreven mechanisme geen aldoladditie kan vertonen. **In methanal is er geen H-atoom gebonden aan het C-atoom naast de C=O groep. De eerste stap van het mechanisme is dus onmogelijk.**
- 5 Geef een structuurformule van een alkanal met 5 koolstofatomen, dat op grond van dit mechanisme geen aldoladditie kan vertonen.



Als je methanal met natronloog mengt, kan zoals gezegd geen aldoladditie optreden. Maar als je een mengsel van methanal en ethanal met natronloog mengt, treedt wel aldoladditie op. Er ontstaan verschillende aldoladditieproducten, waaronder slechts één product met drie koolstofatomen per molecuul.

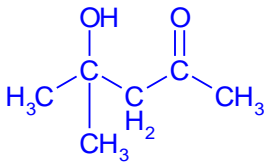
- 6 Leg aan de hand van het beschreven mechanisme uit welk additieproduct met drie koolstofatomen er kan ontstaan.

Bij de eerste stap kan alleen van ethanal een H^+ worden verwijderd. In de tweede stap wordt dan een methanalmolecuul gekoppeld. Na afplitsen van H^+ ontstaat dan



Alkanonen reageren in basisch milieu volgens hetzelfde mechanisme als alkanalen.

- 7 Schrijf de structuurformule op van het product dat ontstaat wanneer propanon wordt gemengd met loog.



De reactiesnelheid is bij alkanonen veel lager dan bij alkanalen. Ter verklaring van deze langzame reactiesnelheid zijn er twee hypothesen:

I de verwijdering van een H^+ uit een alkanon in de eerste stap verloopt langzaam.

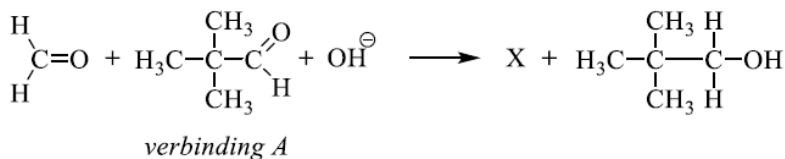
II de eerste stap verloopt snel, maar de tweede stap waarbij een alkanon koppelt aan het negatieve ion uit stap 1 verloopt langzaam.

Om deze hypothesen te toetsen is een reactie uitgevoerd van een mengsel van propanon en methanal met natronloog. Er bleek een snelle additiereactie van methanal aan propanon op te treden.

- 8 Leg op grond van dit resultaat uit of hypothese I juist kan zijn.
 In de eerste stap reageert propanon. Deze stap zou dan altijd, ook in het geval van alkanalen, langzaam moeten verlopen. Maar dan kan de reactie als geheel niet snel verlopen, dus hypothese I is onjuist.
- 9 Leg op grond van dit resultaat uit of hypothese II juist kan zijn.
 De tweede stap kan langzaam verlopen in geval van koppeling van twee propanonmoleculen en snel in geval van koppeling van methanal aan propanon, dus hypothese II kan juist zijn.

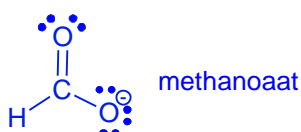
Opgave 16 Reactie van methanal met een aldehyde

Methanal kan in basisch milieu reageren met andere aldehyden. Hieronder staat een voorbeeld van een dergelijke reactie:



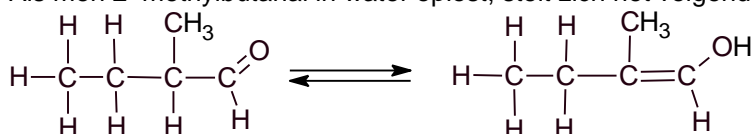
Verbinding X is een alkanoaat.

- 1 Geef de naam van verbinding A.
 Dimethylpropanal (of 2,2-dimethylpropanal).
- 2 Geef de Lewisstructuur en de naam van verbinding X.



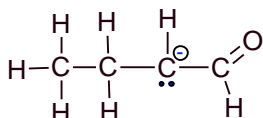
Opgave 17 Enolvorming

Als men 2-methylbutanal in water oplost, stelt zich het volgende evenwicht in:



De alcohol in dit evenwicht is een zogenoemd enol. Dat wil zeggen een alcohol met C=C—OH als karakteristieke groep.

Enolvorming kan worden gekatalyseerd door OH⁻. Hierbij wordt een H⁺ van het 2^e C-atoom door OH⁻ gebonden. Er ontstaat een negatief ion:



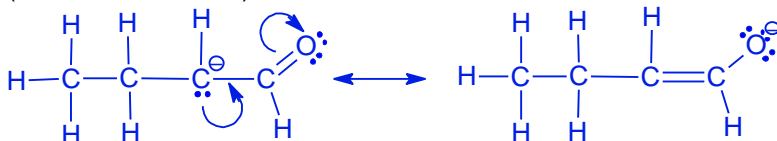
- 1 Leg uit dat het 2^e C-atoom een formele lading heeft van -1.

Tel het aantal valentie-elektronen om het 2^e C-atoom als volgt:

het aantal bindingen + het aantal niet gebonden ('vrije') elektronen = 3 + 2 = 5 (van een bindend elektronenpaar hoort de helft bij het betreffende atoom). Vergelijk dit met de normale covalentie van C: 4. Er is nu 1 elektron meer, dus heeft C een formele lading van -1.

Met behulp van grensstructuren kan de enolvorming aangetoond worden.

- 2 Teken beide grensstructuren en leg uit hoe de enolvorming tot stand komt. Gebruik Lewisstructuren (elektronenformules).



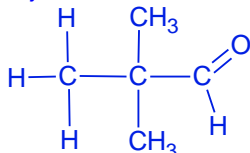
Toelichting bij de grensstructuren:

Alle atomen blijven op hun plaats. Alleen niet-bindende elektronenparen en elektronen-paren van een dubbele bindingen kunnen verplaatst worden. Dat is hier met blauwe pijlen aangegeven. Enolvorming komt tot stand als het negatief geladen O-atoom een H⁺ pakt van water. Tevens ontstaat daarbij weer OH⁻ (de katalysator).

Enolvorming kan optreden bij alkanalen met meer dan één C-atoom per molecuul. Er zijn echter alkanalen met meer dan één C-atoom per molecuul waarbij geen enolvorming optreedt.

- 3 Geef de structuurformule van een alkanal met meer dan één C-atoom per molecuul, waarbij geen enolvorming optreedt en leg uit waarom de enolvorming niet optreedt.

Bijvoorbeeld:

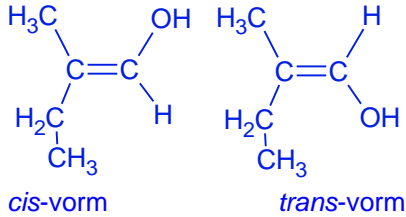


Het tweede C-atoom heeft geen H-atoom dat verplaatst kan worden naar het O-atoom. Als er een enol zou ontstaan, zou het tweede C-atoom 5 bindingen krijgen en dat kan niet.

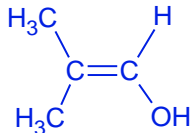
Bij het enoliseren van 2-methylbutanal zullen twee soorten enolmoleculen ontstaan.

- 4 Leg uit of van het enol van 2-methylpropanal ook twee soorten moleculen zullen bestaan. Vergelijk in de uitleg de molecuulstructuren van de enolen van 2-methylbutanal en 2-methylpropanal.

Van het enol uit de vraag bestaat een *cis*- en een *trans*-vorm.



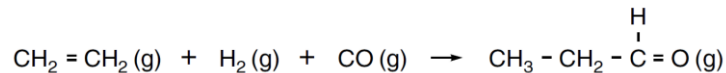
Het enol dat uit 2-methylpropanal ontstaat is:



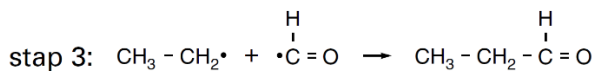
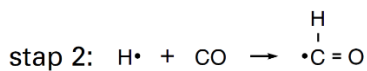
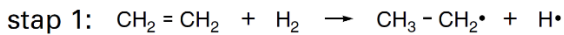
Zou je hier de OH en de H aan het eerste C-atoom verwisselen, dan blijft het molecuul hetzelfde. Van het enol van 2-methylpropanal zullen dus niet twee soorten enolmoleculen ontstaan.

Opgave 18 Alkanalen

Propanal kan op verschillende manieren worden bereid. Bij één van die manieren gaat men uit van etheen, waterstof en koolstofmonoxide die in een reactor samengebracht worden:



Onder de reactiesnelheid bij deze omzetting verstaat men het aantal mol propanal dat per seconde per dm^3 reactorruimte wordt gevormd. Deze reactiesnelheid hangt af van de concentraties van etheen en waterstof in de reactorruimte, maar niet van de concentratie van koolstofmonoxide in de reactorruimte. Mede op grond hiervan veronderstelt men dat de bovengenoemde reactie via de volgende drie achter-eenvolgende stappen verloopt:



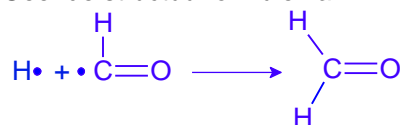
Eén van deze drie stappen is voor de vorming van propanal de snelheidsbepalende stap.

- 1 Leg aan de hand van een gegeven over de reactiesnelheid uit of stap 2 de snelheidsbepalende stap voor deze vorming van propanal kan zijn.

Stap 2 kan niet de snelheidsbepalende stap zijn omdat de reactiesnelheid niet afhangt van de concentratie van koolstofmonoxide.

Behalve propanal wordt in het reactiemengsel nog een ander alkanal aangetroffen. In deze opgave wordt dit andere alkanal verder aangegeven als X. Het ontstaan van X kan worden verklaard met behulp van het bovenbeschreven reactiemechanisme.

- 2 Geef de structuurformule van X.

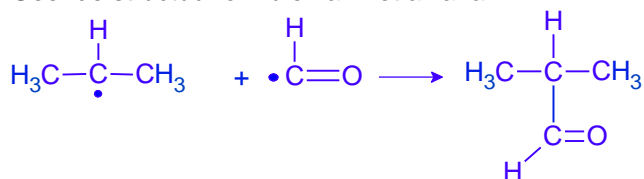


Als men butanal wil bereiden, gaat men uit van een mengsel van propaan, waterstof en koolstofmonoxide. Men veronderstelt dat deze omzetting volgens eenzelfde reactiemechanisme verloopt als het

geval is bij de bereiding van propanal. Bij de bereiding van butanal ontstaat, behalve butanal en het eerder genoemde alkanal X, nog een alkanal Y.

Dit alkanal Y kan niet ontstaan bij de bovengenoemde bereiding van propanal.

- 3 Geef de structuurformule van het alkanal Y.



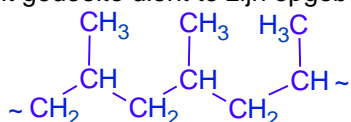
- 4 Leg aan de hand van het reactiemechanisme uit hoe het ontstaan van Y in het reactiemengsel moet worden verklaard.

In stap 1 kan ook $\text{H}_3\text{C}-\underset{\cdot}{\text{C}}\text{H}-\text{CH}_3$ ontstaan

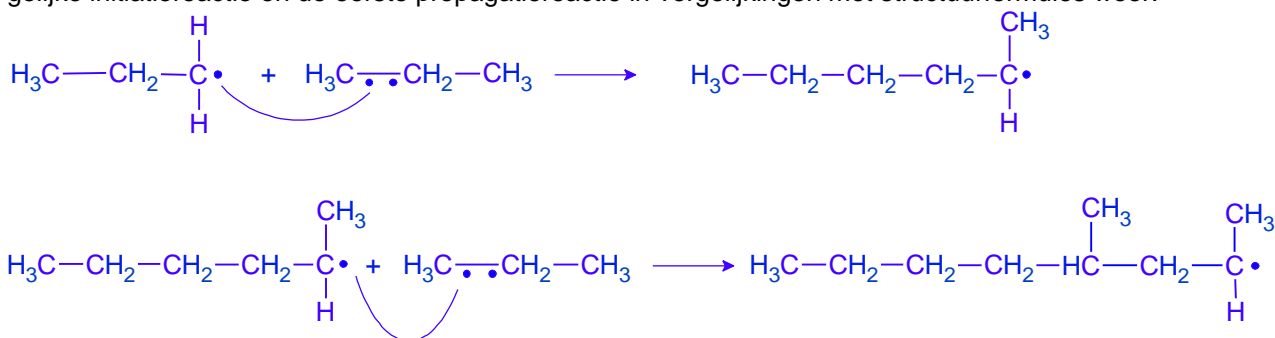
In het reactiemengsel dat ontstaat bij de bereiding van butanal wordt ook een kleine hoeveelheid polypropreen aangetroffen. Men veronderstelt dat de vorming van een polypropreenmolecuul in het reactiemengsel begint met een initiatiereactie. Zo'n initiatiereactie wordt gevolgd door een aantal opeenvolgende propagatiereacties. Deze initiatiereactie treedt op na het verlopen van de eerste stap van het reactiemechanisme voor de omzetting van propreen met waterstof en koolstofmonoxide tot butanal. De eerste stap van het reactiemechanisme voor deze bereiding van butanal is vergelijkbaar met stap 1 uit het hierboven weergegeven reactiemechanisme voor de bereiding van propanal.

- 5 Geef een gedeelte uit het midden van een molecuul polypropreen in structuurformule weer.

Dit gedeelte dient te zijn opgebouwd uit drie monomeereenheden.

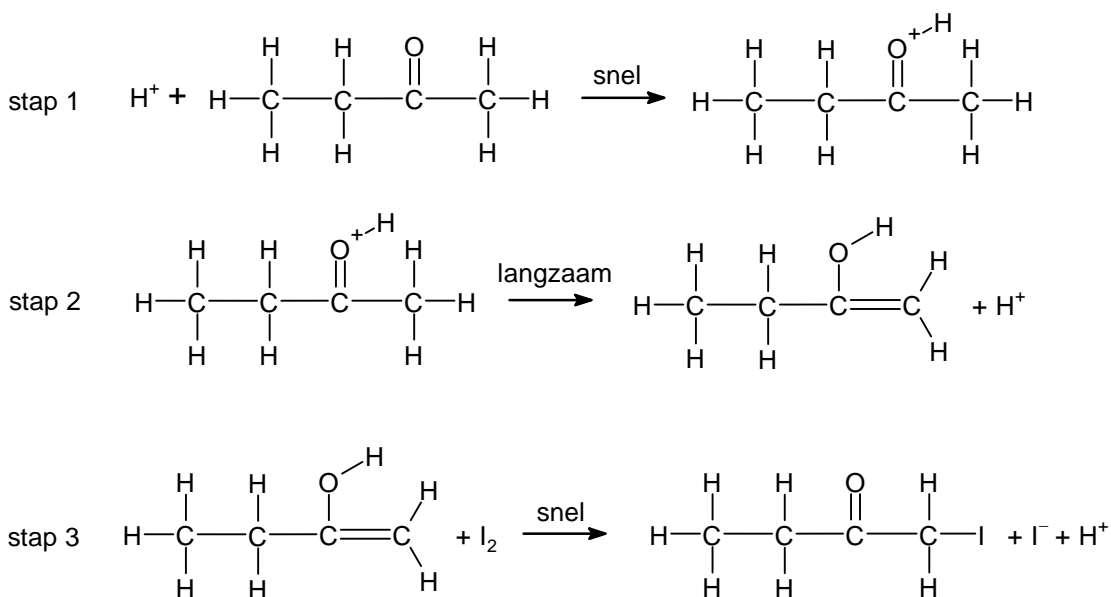


- 6 Geef van de reactie die in het reactiemengsel leidt tot de vorming van een polypropreenmolecuul een mogelijke initiatiereactie en de eerste propagatiereactie in vergelijkingen met structuurformules weer.



Opgave 19 1-joodbutaan

De vorming van 1-joodbutanon is zuur gekatalyseerd. Het reactiemechanisme bestaat uit drie stappen.



- 1 Leg aan de hand van het reactiemechanisme uit of de concentratie van jood van invloed is op de reactiesnelheid.

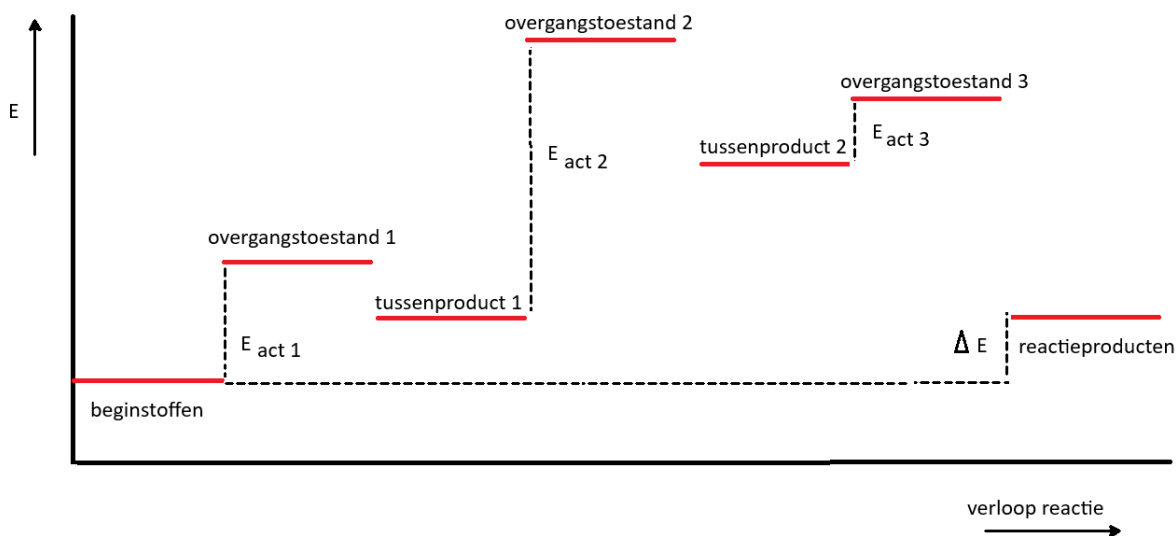
De aanvoer van but-1-een-2-ol is langzaam en de reactie hiervan met I_2 is snel, dus wordt de reactiesnelheid bepaald door de snelheid waarmee but-1-een-2-ol wordt gevormd. De concentratie I_2 is dus niet van invloed.

- 2 Geef op basis van de bovenstaande gegevens de snelheidsvergelijking die experimenteel gevonden kan worden door de concentraties van de beginstoffen te variëren.

Als je de overall reactie (alle drie de reacties optellen) bekijkt, zie je dat de reactiesnelheid wordt bepaald door de concentratie van butanon. Immers de omzetting tot but-1-een-2-ol dat in 3^e stap met I_2 reageert is afhankelijk van de reactie in stap 2, die langzaam verloopt, dus $s = k[\text{butanon}]$.

De vorming van 1-joodbutanon is een endotherm proces.

- 3 Schets met behulp van de informatie uit het reactiemechanisme een energiediagram dat bij deze reactie zou kunnen horen. Licht je tekening kort toe.



De snelheid van een meerstapsreactie wordt bepaald door de langzaamste stap; die heeft de hoogste

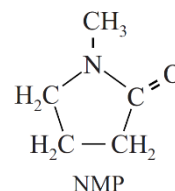
activeringsenergie. Aangezien het een endotherme reactie is, is de energie-inhoud van de producten groter dan van de beginstoffen.

- 4 Leg aan de hand van het reactiemechanisme uit welk deeltje voornamelijk zal ophopen tijdens dit proces.

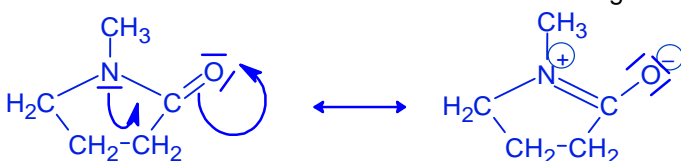
Stap 3 verloopt snel. Hier zal niets ophopen, maar aangezien stap 2 langzamer verloopt dan stap 1 zal het geprotoneerde butanon ophopen omdat bij stap 1 per tijdseenheid meer deeltjes geprotoneerd bu

Opgave 20 NMP

NMP is een oplosmiddel dat op grote schaal wordt gebruikt om koolwaterstoffen op te lossen. Het is ook goed oplosbaar in water. De oplosbaarheid van NMP in water is te verklaren met behulp van de Lewisstructuur van een mesomere grensstructuur van NMP. In deze Lewisstructuur komen formele ladingen voor.

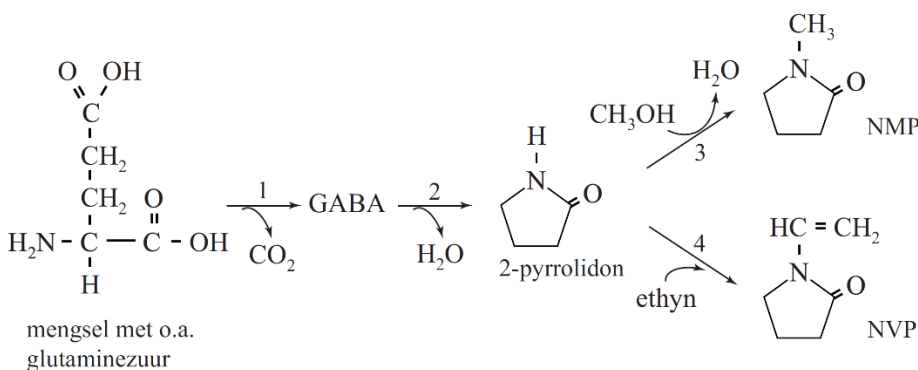


- 1 Geef de Lewisstructuur van het hiernaast weergegeven NMP en van de andere mesomere grensstructuur van NMP. Geef formele ladingen aan in de structuren. De Lewisstructuren moeten voldoen aan de octetregel.



- 2 Leg uit of reactie 4 in figuur 1 een additie- of substitutiereactie is.

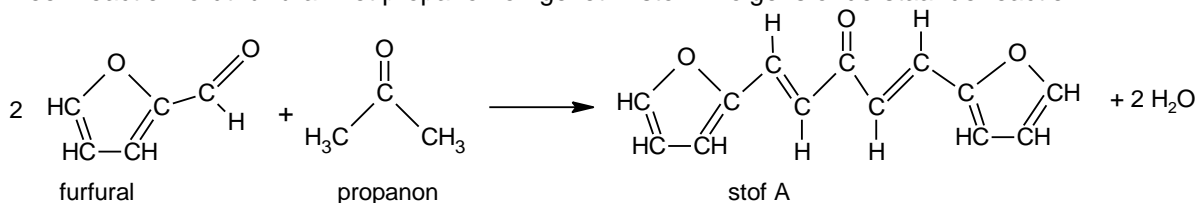
figuur 1



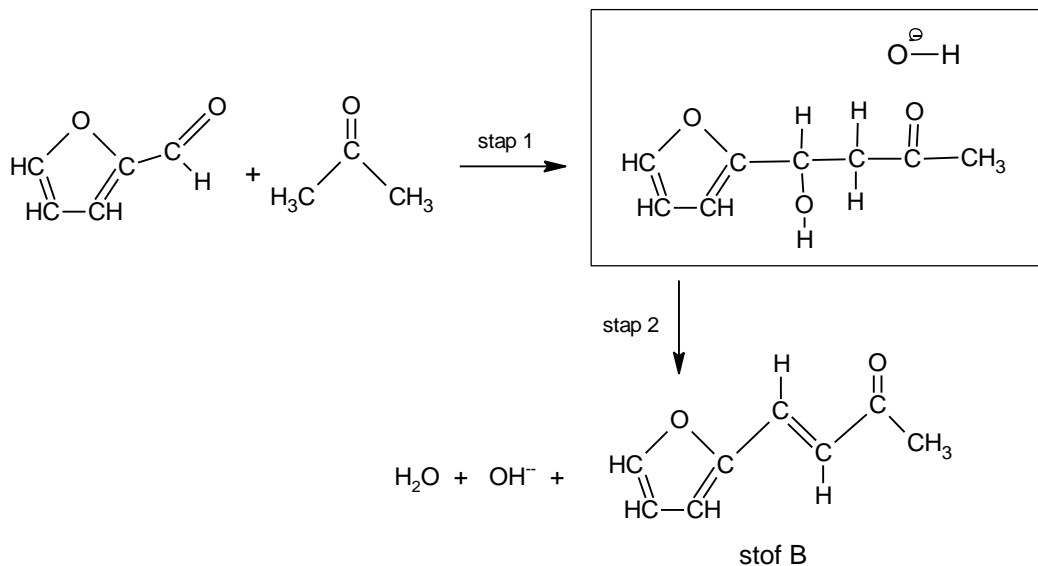
Reactie 4 is een additiereactie, want één C–C binding van de drievoudige binding in ethyn verdwijnt (en er ontstaan geen andere stoffen).

Opgave 21 Diesel uit houtafval

In een reactie wordt furfural met propanon omgezet in stof A volgens onderstaande reactie.

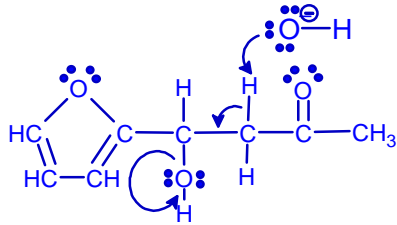


De vorming van stof A verloopt via een aantal tussenstappen. Twee stappen uit het reactiemechanisme staan hieronder weergegeven. In stap 2 wordt stof B gevormd. Hierbij neemt een OH⁻-ion eerst een H⁺-ion op van het organisch deeltje dat in het kader is weergegeven. Het OH⁻-ion treedt in stap 2 op als katalysator.



Neem beide in het kader geplaatste structuurformules over en voer de volgende twee opdrachten uit.

- 1 Geef alle niet bindende elektronenparen weer.

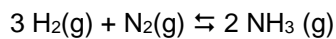


- 2 Geef met pijlen weer hoe de elektronenparen worden verplaatst tijdens stap 2.
Zie 1

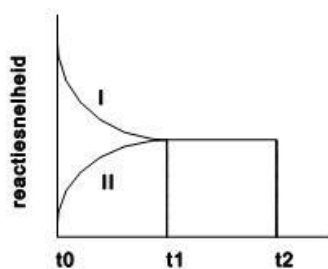
Evenwicht (bovenbouw)

Opgave 1 Reactie van waterstof en stikstof in een afgesloten vat (1)

Bekijk het volgende evenwicht in een afgesloten vat:



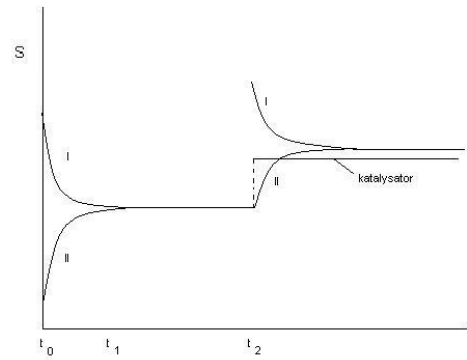
In de onderstaande grafiek is er evenwicht vanaf tijdstip t_1 . In de grafiek stelt reactie I de reactie naar rechts en reactie II de reactie naar links voor.



- 1 Welke stoffen zijn op het tijdstip t_0 in het vat aanwezig? Leg dit kort uit.
 H_2 en N_2 , want de reactie verloopt snel vanaf het begin en NH_3 , want de reactiesnelheid naar rechts is niet nul / de reactie naar rechts verloopt ook al een beetje

2. Neem de grafiek over en schets het verloop van de reactiesnelheden na tijdstip t_2 , als er op dat moment plotseling extra stikstof wordt toegevoegd. Verder blijven alle omstandigheden gelijk. Geef, als de reactiesnelheden niet gelijk zijn, aan welk deel van de grafiek bij welke reactie hoort.
3. Neem de grafiek nogmaals over en schets het verloop na t_2 als er op dat moment een katalysator wordt toegevoegd.
4. Leg uit of de druk in het reactievat tussen tijdstip t_0 en t_1 groter wordt, kleiner wordt, of gelijk blijft.

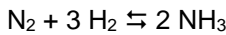
Tijdens de reactie wordt steeds meer H_2 en N_2 omgezet in NH_3 . Hierdoor neemt het aantal moleculen af, dus de druk neemt af.



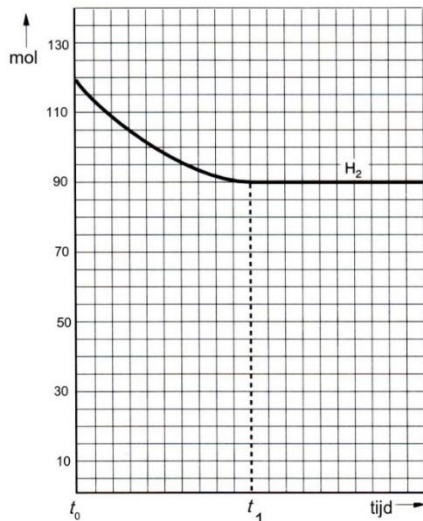
Opgave 2 Reactie van waterstof en stikstof in een afgesloten vat (2)

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.



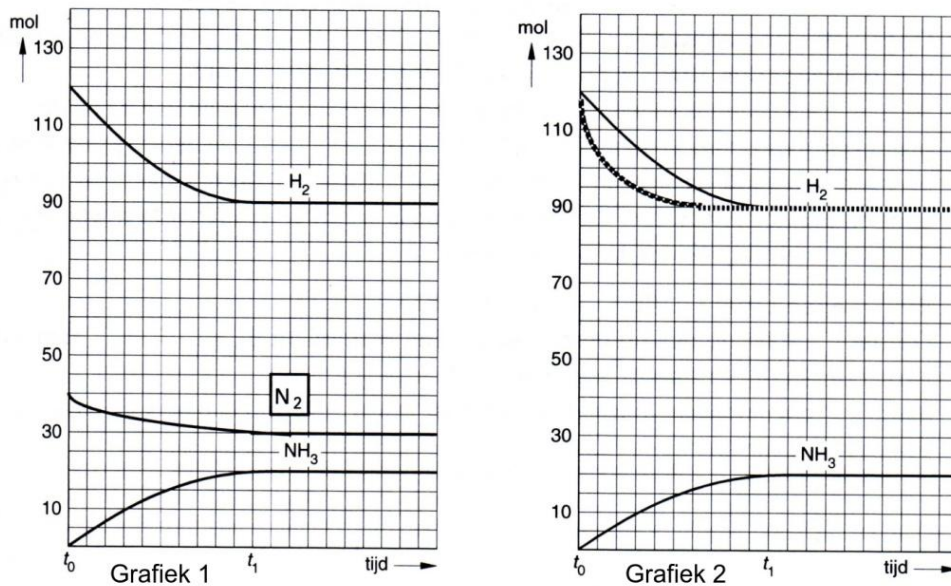
Vanaf t_1 loopt de lijn in het diagram horizontaal.

1. 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.
2. 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 mol $N_2 \hat{=} 3$ mol $H_2 \hat{=} 2$ mol NH_3 volgt voor de omgezette en gevormde hoeveelheden: 30 mol $H_2 \hat{=} 10$ mol $N_2 \hat{=} 20$ 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).

- 3 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 °C en 500 °C.

- 4 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.
- 5 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).

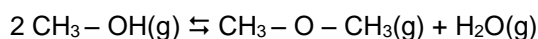
Opgave 3 Methanol als brandstof

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 $p = p_0$.

- 1 Berekend de energiedichtheid van methanol. 1 m³ methanol heeft een massa van $0,79 \cdot 10^3 \text{ kg}$. De massa van 1 dm³ 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.

- 2 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.

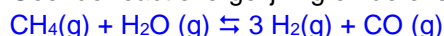
- 3 Leg uit of de keuze van een hoge druk invloed heeft op het gestelde in doel II.

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.

Opgave 4 Bereiding van waterstof

Het gas waterstof kan worden bereid door methaan en stoom met elkaar te laten reageren bij 900°C. Er stelt zich een evenwicht in, waarbij methaan en stoom in evenwicht zijn met waterstof en koolstofmonooxide. De reactie naar rechts is endotherm.

- 1 Geef de reactievergelijking en de evenwichtsvoorwaarde voor dit evenwicht.



$$\frac{[\text{H}_2\text{(g)}]^3 [\text{CO(g)}]}{[\text{CH}_4\text{(g)}][\text{H}_2\text{O(g)}]} = K$$

Geef aan of en zo ja hoe, het evenwicht zal veranderen als gevolg van de volgende gebeurtenissen. Doe dit indien mogelijk met behulp van de evenwichtsvoorwaarde.

- 2 De druk wordt verlaagd door volume vergroting.

Als het volume vergroot wordt, worden alle concentraties kleiner. Dit heeft meer invloed op de teller dan op de noemer van de breuk, dus geldt:

$$\frac{[\text{H}_2\text{(g)}]^3 [\text{CO(g)}]}{[\text{CH}_4\text{(g)}][\text{H}_2\text{O(g)}]} < K \text{ er is dus geen evenwicht meer. De reactie naar rechts zal tijdelijk meer gaan ver-}$$

$$\text{lopen tot weer geldt: } \frac{[\text{H}_2\text{(g)}]^3 [\text{CO(g)}]}{[\text{CH}_4\text{(g)}][\text{H}_2\text{O(g)}]} = K$$

- 3 Er wordt extra stoom in het reactievat gebracht.

$$= K$$

$[\text{H}_2\text{O(g)}]$ wordt groter, dus geldt:

$$\frac{[\text{H}_2\text{(g)}]^3 [\text{CO(g)}]}{[\text{CH}_4\text{(g)}][\text{H}_2\text{O(g)}]} < K \text{ er is dus geen evenwicht meer. De reactie naar rechts zal tijdelijk meer gaan ver-}$$

$$\text{lopen tot weer geldt: } \frac{[\text{H}_2\text{(g)}]^3 [\text{CO(g)}]}{[\text{CH}_4\text{(g)}][\text{H}_2\text{O(g)}]} = K$$

Opgave 5 Verandering van het evenwicht

Gegeven het evenwicht: $\text{CH}_3\text{COOH(aq)} + \text{H}_2\text{O(l)} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^-\text{(aq)} + \text{H}_3\text{O}^+\text{(aq)}$

De reactie is endotherm.

Geef aan of en zo ja hoe, het evenwicht zal veranderen als gevolg van de volgende gebeurtenissen.

- 1 Toevoeging van natriumacetaat.

$$K = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

Door toevoeging van natriumacetaat neemt $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$ toe door het oplossen van het zout. Hierdoor wordt de concentratiebreuk groter dan de evenwichtsconstante. Om weer evenwicht te bereiken moet de waarde van de breuk kleiner worden. Er moet meer $[\text{CH}_3\text{COOH}]$ en minder

[CH₃COO⁻] komen. Dit betekent dat de reactie naar links tijdelijk in het voordeel zal zijn totdat de waarde van K weer is bereikt.

2 Verwarming.

Bij toevoeren van energie is tijdelijk de endotherme reactie in het voordeel. De reactie naar rechts is dus tijdelijk in het voordeel.

3 Verdunning met water.

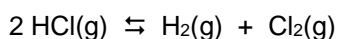
Door verdunning met water worden alle concentraties in dezelfde mate kleiner. Hierdoor wordt de teller van de concentratiebreuk kleiner dan de noemer; de concentratiebreuk wordt zodoende kleiner dan de evenwichtsconstante. Er moet meer [CH₃COO⁻] en [H₃O⁺] en minder [CH₃COOH] komen. Dit betekent dat de reactie naar rechts tijdelijk in het voordeel is totdat de waarde van K weer is bereikt.

4 Het toevoegen van een geschikte katalysator.

De katalysator versnelt zowel de reactie naar links als de reactie naar rechts. De ligging van het evenwicht zal hierdoor niet veranderen.

Opgave 6 Ontleding van waterstofchloride

Er heeft zich een evenwicht ingesteld, dat we als volgt weergeven:



Men onttrekt nu voortdurend Cl₂ aan dit evenwicht, tot er geen verandering meer optreedt.

1 Beredeneer welke stof(fen) na afloop nog aanwezig is (zijn).

Als er geen verandering meer optreedt, is alle HCl omgezet in H₂ en Cl₂. Na onttrekken van Cl₂ is er dus nog alleen H₂ over.

Men brengt een hoeveelheid HCl(g) en Cl₂(g) in een vat bij elkaar, sluit dit af en laat dit mengsel tot evenwicht komen.

2 Beredeneer of de hoeveelheid Cl₂ zal veranderen. Zo ja, hoe? .

Er ontstaat meer Cl₂, omdat in het evenwicht alle stoffen die bij de reactie betrokken zijn aanwezig zijn. Er is in het begin geen H₂. Om dit te krijgen zal HCl moeten ontleden. Hierbij ontstaan H₂ en in dezelfde molverhouding Cl₂.

Op het moment van evenwicht blijkt er 2,38 gram chloor aanwezig te zijn in het reactievat, dat een inhoud heeft van 0,45 dm³.

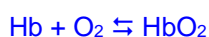
3 Bereken de concentratie van waterstofchloride in het vat.

$$1 \text{ mol Cl}_2 \equiv 2 \text{ mol HCl} \quad 2,38 \text{ g} : 70,90 \text{ g/mol Cl}_2 \equiv 2 \times 2,38 \text{ g} : 70,90 \text{ g/mol} = 0,0671 \text{ mol HCl}$$
$$[\text{HCl}] = 0,0671 \text{ mol} : 0,45 \text{ L} = 0,15 \text{ mol/L}$$

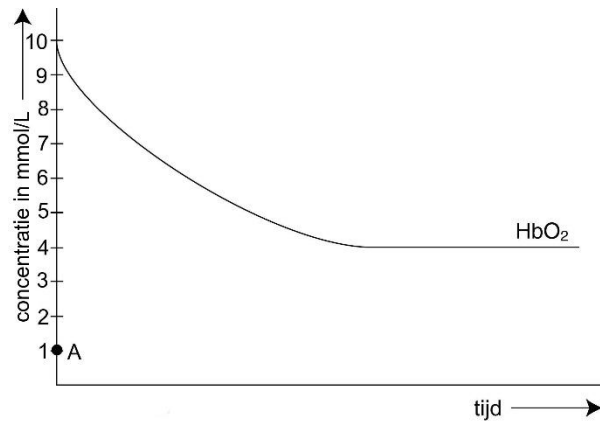
Opgave 7 Hemoglobine

Hemoglobine (Hb) in het bloed kan zuurstof opnemen, waarbij oxyhemoglobine (HbO₂) ontstaat. In de weefsels in ons lichaam geeft oxyhemoglobine de zuurstof weer af. Het proces van opname en afgifte van zuurstof is te beschouwen als een evenwichtsreactie.

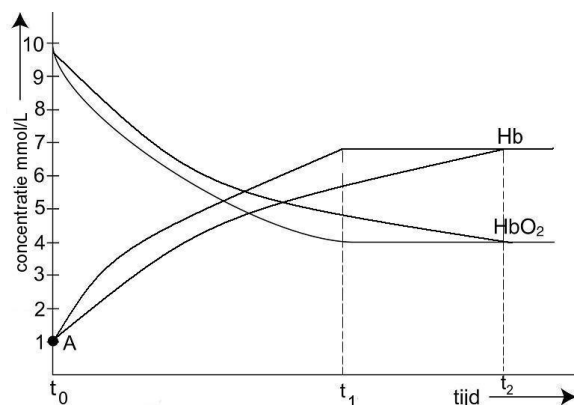
1 Geef dit evenwicht in een vergelijking weer.



In het onderstaande diagram is weergegeven hoe bij een onderzoek de hoeveelheid HbO₂ in bloed daalt.



- 2 Leg uit dat uit het diagram blijkt dat het inderdaad om een evenwichtsreactie gaat.
Het is geen aflopende reactie, want er blijft HbO₂ over.
- 3 Neem bovenstaand figuur over en teken hierin zo nauwkeurig mogelijk hoe de concentratie van Hb verandert. De beginconcentratie van Hb is aangegeven door het punt A.
Uit de reactievergelijking volgt dat er per omgezette mol HbO₂ 1 mol Hb wordt gevormd. Op $t = 0$ is er in totaal 11 mmol (1 mmol Hb + 10 mmol HbO₂) aanwezig. In de evenwichtsituatie is er 4 mmol HbO₂, dus moet er $11 - 4 = 7$ mmol Hb aanwezig zijn. In het diagram moet de lijn voor Hb evenveel stijgen als die van HbO₂ daalt. Na tijd t_1 gaat die lijn horizontaal lopen bij 7 mmol.



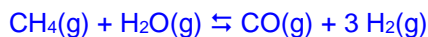
De afgifte en opname van zuurstof in ons lichaam gebeuren tamelijk snel dankzij de aanwezigheid van enzymen. Enzymen zijn katalysatoren.

- 4 Schets in hetzelfde diagram (met een andere kleur) hoe de lijnen voor Hb en HbO₂ zullen verlopen zonder de aanwezigheid van een enzym.
De reacties zonder katalysator verlopen veel trager. De lijnen zullen veel minder steil stijgen of dalen. Het duurt veel langer voordat ze horizontaal gaan lopen (zie t_2).
- Koolstofmono-oxide is zeer giftig. Het reageert vlot met hemoglobine volgens $\text{Hb} + \text{CO} \rightarrow \text{HbCO}$. Dit is een aflopende reactie.
- 5 Wat voor gevolg heeft dit voor het evenwicht tussen hemoglobine en oxyhemoglobine?
Koolstofmono-oxide neemt de hemoglobine weg uit het evenwicht. Het evenwicht tussen Hb en HbO₂ wordt aflopend en alle HbO₂ verdwijnt.
- 6 Waarom is koolstofmono-oxide zo giftig?
Hemoglobine reageert aflopend met koolstofmono-oxide. Het is dus niet meer beschikbaar om zuurstof te binden en in het lichaam ontstaan grote tekorten aan zuurstof.

Opgave 8 Synthesegas

Voor de industriële bereiding van methanol wordt uitgegaan van zogenaamd synthesegas. Dit is een mengsel van koolstofmono-oxide en waterstof. Dit kan worden bereid door methaan met waterdamp te laten reageren bij 900 °C. Dit is een evenwichtsreactie.

- 1 Geef de reactievergelijking van dit evenwicht.



- 2 Wat weet je van de verschillende concentraties als het evenwicht is bereikt.

Dan veranderen de concentraties niet meer.

De reactie kan worden uitgevoerd met nikkel als katalysator.

- 3 Leg uit of er in aanwezigheid van nikkel meer waterstof in het evenwichtsmengsel voorkomt.

Nee, beide reacties worden versneld. Het evenwicht stelt zich alleen sneller in.

In een proefopstelling brengt men 1,6 mol methaan en 2,0 mol waterdamp in een vat van 20 m³. In de evenwichtssituatie is er nog 0,40 mol methaan over.

- 4 Bereken de concentraties van alle aanwezige stoffen in het evenwicht.

Omgezet $\text{CH}_4 = 1,6 - 0,4 = 1,2$ mol. $1,2$ mol $\text{CH}_4 \equiv 1,2$ mol $\text{H}_2\text{O} \equiv 1,2$ mol $\text{CO} \equiv 3,6$ mol H_2

situatie	[CH ₄]	[H ₂ O]	[H ₂]	[CO]
begin	1,6:20 = 0,08	2,0 : 20 = 0,10	0	0
Omgezet/gevormd	-1,2 : 20 = -0,06	-1,2 : 20 = -0,06	3,6 : 20 = 0,18	1,2 : 20 = 0,06
evenwicht	0,02	0,04	0,18	0,06

Als de temperatuur wordt verhoogd en de overige omstandigheden gelijk blijven, stelt zich een nieuw evenwicht in waarbij meer waterstof aanwezig.

- 5 Beredeneer hoe de concentraties van de andere stoffen veranderen bij temperatuurverhoging.

Als $[\text{H}_2] >$, dan $[\text{CO}] >$ en $[\text{CH}_4] <$ en $[\text{H}_2\text{O}] <$, want als $[\text{H}_2] >$ neemt op grond van de reactie ook $[\text{CO}]$. Beide ontstaan uit CH_4 en H_2O , dus worden de concentraties hiervan kleiner

Opgave 9 Ongebluste kalk

Ongebluste kalk (calciumoxide) wordt gemaakt door verhitting van kalksteen (calciumcarbonaat) in een kalkoven. Hierbij ontstaat ook koolstofdioxidegas. Deze ontleding is een evenwichtsreactie.

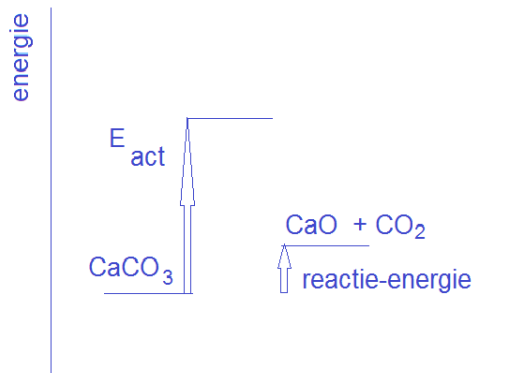
- 1 Schrijf de vergelijking voor deze evenwichtsreactie op.



- 2 Leg uit of de ontleding endotherm of exotherm is.

De kalksteen ontleeft bij verhitting, dus de ontleding is endotherm.

- 3 Geef de ontleding van calciumcarbonaat weer in een energiediagram en schets hierin ook de activiteitsenergie.



- 4 Schrijf de concentratiebreuk voor dit evenwicht op.

$$K_c = [\text{CO}_2(\text{g})]$$

- 5 Schrijf ook de partiële-drukbreuk voor dit evenwicht op en leg uit of de partiële-drukbreuk een andere waarde heeft dan de concentratiebreuk.

$$K_p = (p_{\text{CO}_2})$$

$K_p \neq K_c$, want de partiële druk is wel recht evenredig met concentraties maar niet gelijk daaraan, dus komt er een andere waarde uit.

In een experiment wordt kalksteen verhit in een afgesloten vat.

- 6 Leg met behulp van de evenwichtsvoorwaarde uit welke reactie in het voordeel is in elk van de volgende situaties:

a Het volume van het reactievat wordt vergroot.

Bij vergroting van het volume wordt $[\text{CO}_2(\text{g})]$ kleiner, dus de reactie naar rechts is in het voordeel tot dat het evenwicht zich heeft hersteld.

b De temperatuur in het reactievat wordt verhoogd.

K is afhankelijk van de temperatuur / kalksteen ontleedt bij verhitting, dus de endotherme reactie, naar rechts is in het voordeel.

In de praktijk is een kalkoven geen afgesloten vat, maar een oven met een schoorsteen.

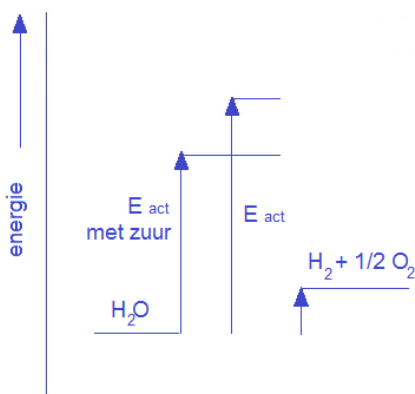
- 7 Leg uit waarom het belangrijk is dat een kalkoven is voorzien van een schoorsteen.

Dan wordt CO_2 -gas steeds afgevoerd zodat de reactie naar rechts afloopt.

Opgave 10 Elektrolyse van water

Waterstof kan worden gemaakt door middel van elektrolyse van water.

- 1 Teken een energiediagram van de elektrolyse van water. Schets in het diagram ook de activerings-energie.

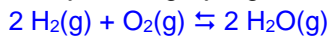


De elektrolyse van water verloopt sneller als aan het water een zuur is toegevoegd.

- 2 Teken in hetzelfde diagram met een stippellijn wat er verandert als aan het water een zuur is toegevoegd.

Waterstof en zuurstof kunnen gemakkelijk reageren tot water. Alleen bij temperaturen hoger dan 1000 K is deze reactie een evenwichtsreactie.

- 3 Schrijf de vergelijking voor deze evenwichtsreactie op.



- 4 Schrijf voor deze evenwichtsreactie de concentratiebreuk op.

$$\text{Concentratiebreuk} = \frac{[\text{H}_2\text{O}]^2}{[\text{H}_2]^2[\text{O}_2]}$$

- 6 Schrijf ook de partiële-drukbreuk op en leg uit of de partiële-drukbreuk een andere waarde heeft dan de concentratiebreuk.

$$\text{Concentratiebreuk} = \frac{(\rho_{\text{H}_2\text{O}})^2}{(\rho_{\text{H}_2})(\rho_{\text{O}_2})}$$
 Concentratie en druk hebben niet dezelfde eenheden, maar zijn wel

recht evenredig met elkaar. De waarde van de breuken is dus verschillend.

- 7 Leg met behulp van de evenwichtsvoorwaarde uit welke reactie bij 1000 K in het voordeel is in elk van de volgende situaties:

a. het volume in het reactievat wordt verhoogd.

De partiële drukken nemen, evenals de concentraties (drukverlaging komt neer op concentratieverlaging), in verhouding evenveel af. In de noemer staat een derde macht waardoor deze (veel) kleiner wordt dan de teller, dus de concentratiebreuk is groter dan K . Om het evenwicht te herstellen, is dan de reactie naar links tijdelijk in het voordeel tot de concentratiebreuk weer gelijk is aan K .

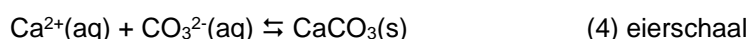
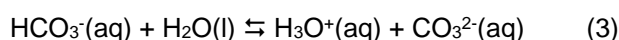
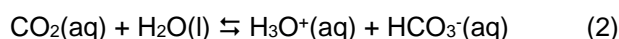
b. temperatuur in het reactievat wordt verhoogd.

Bij temperatuurverhoging herstelt het evenwicht zich doordat de reactie naar de endotherme kant, dus naar links gaat verlopen (omdat de ontleding van water endotherm is)

Opgave 11 Dikte van eierschalen

Kippen leggen tijdens warm weer eieren met dunnere schalen dan tijdens koel weer. Door die dunnere schaal breken de eieren gemakkelijker.

Kippen kunnen niet zweten. Als ze het warm hebben, gaan ze hijgen. De CO_2 uit de kippenadem wordt door dit hijgen sneller uit de adem naar de buitenlucht afgevoerd dan bij koud weer. De CO_2 in kippenadem lost in de longen op in het bloed. Van hieruit komt het uiteindelijk terecht in CaCO_3 van de eierschaal. De volgende evenwichten spelen hierbij een rol.



- 1 Leg met behulp van deze evenwichten uit dat bij warmer weer de eierschaal dunner wordt.

Bij warmer weer is $[\text{CO}_2(\text{aq})]$ in reactie (1) en, als gevolg daarvan, in reactie (2) kleiner dan bij koud weer. Uit K_2 volgt dan dat $[\text{HCO}_3^-(\text{aq})]$ kleiner is dan bij warm weer en uit K_3 volgt evenzo een kleinere $[\text{CO}_3^{2-}(\text{aq})]$ die beschikbaar is voor de vorming van CaCO_3 in reactie (4)

- 2 Noem twee maatregelen die de kippenboer bij warm weer kan nemen om het dunner worden van eierschalen tegen te gaan. Licht je antwoord toe.

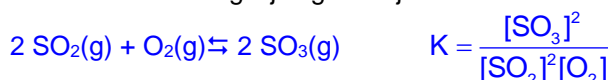
Hij kan de ruimte waarin de kippen verblijven koelen. Hierdoor verschuift het evenwicht van reactie (1) meer naar rechts waardoor $[\text{CO}_2(\text{aq})]$ groter wordt. Hij kan meer Ca^{2+} houdend voedsel geven.

Hierdoor wordt de concentratiebreuk van evenwicht (4) groter dan K_4 ; er ontstaat dan meer CaCO_3 .

Opgave 12 Reactie van zwaveldioxide met zuurstof

Zwaveldioxide en zuurstof reageren bij verhoogde temperatuur tot zwaveltrioxide. Deze reactie is exotherm.

- 1 Geef de reactievergelijking die bij dit evenwicht hoort.

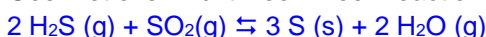


- 2 Geef aan hoe het evenwicht en hoe de concentratie van zuurstof zal veranderen als in een afgesloten ruimte bij constante druk te temperatuur van het evenwichtsmengsel wordt verhoogd.
Bij toevoeren van energie is tijdelijk de endotherme reactie in het voordeel. De reactie naar links is dus tijdelijk in het voordeel. Hierdoor ontstaat meer O_2 , dus neemt $[\text{O}_2]$ toe.
- 3 Zelfde vraag als het volume bij constante temperatuur wordt verkleind.
Door volumeverkleining nemen de concentraties toe. Hierdoor wordt de noemer van de concentratiebreuk groter dan de teller; de concentratiebreuk wordt zodoende kleiner dan de evenwichtsconstante. Er moet meer $[\text{SO}_3]$ en minder $[\text{SO}_2]$ en $[\text{O}_2]$ komen. Dit betekent dat de reactie naar rechts tijdelijk in het voordeel is totdat de waarde van K weer is bereikt.
- 4 Zelfde vraag als bij gelijkblijvende temperatuur en volume stikstof in de ruimte wordt geperst.
 N_2 is een inert gas en bij gelijkblijvende temperatuur en volume verandert de ligging niet, omdat de partiële drukken niet veranderen.

Opgave 13 Reactie van waterstofsulfide met zwaveldioxide

Wanneer men waterstofsulfide laat reageren met zwaveldioxide, stelt zich in aanwezigheid van een katalysator een evenwicht in. Hierbij worden vast zwavel en waterdamp gevormd.

- 1 Geef het evenwicht weer in een reactievergelijking.



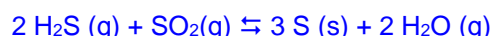
- 2 Geef de evenwichtsvoorwaarde voor dit evenwicht.

$$\frac{[\text{H}_2\text{O}(\text{g})]^2}{[\text{H}_2\text{S}(\text{g})]^2[\text{SO}_2(\text{g})]} = K$$

Om de evenwichtsconstante te bepalen, doet men het volgende experiment. In een vat van $10,0 \text{ dm}^3$ brengt men $4,00 \text{ mol H}_2\text{S}(\text{g})$ en $4,00 \text{ mol SO}_2(\text{g})$. Vervolgens sluit men het vat af. Na evenwichtsinstelling blijkt $[\text{H}_2\text{S}] = 0,100 \text{ mol}^{-1}$ te zijn.

- 3 Bereken de waarde van de evenwichtsconstante K voor dit evenwicht.

$$[\text{H}_2\text{S}(\text{g})] = [\text{SO}_2(\text{g})] = 4,00 \text{ mol} / 10,0 \text{ dm}^3 = 0,400 \text{ mol dm}^{-3}$$



Begin	0,400	0,400	0	0
Omgezet/gevormd	-0,300	-0,150	+0,450	+0,300
Evenwicht	0,100	0,250	0,450	0,300

$$\frac{0,300^2}{0,100^2 \cdot 0,250} = 36 = K$$

- 4 Leg uit of, en zo ja hoe, het evenwicht zal veranderen als gevolg van een drukverhoging door volumeverkleining.

Als het volume kleiner wordt, worden alle concentraties groter. Dit heeft meer invloed op de noemer dan op de teller van de breuk, dus geldt:

$$\frac{[\text{H}_2\text{O}(\text{g})]^2}{[\text{H}_2\text{S}(\text{g})]^2[\text{SO}_2(\text{g})]} < K$$

er is dus geen evenwicht meer. De reactie naar rechts zal tijdelijk meer gaan verlopen tot weer geldt:

$$\frac{[\text{H}_2\text{O}(\text{g})]^2}{[\text{H}_2\text{S}(\text{g})]^2[\text{SO}_2(\text{g})]} = K$$

- 5 De reactie naar rechts is exotherm. Leg uit of er bij temperatuurverhoging meer, minder of evenveel $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$ in het evenwichtsmengsel aanwezig zal zijn.
 Als de temperatuur hoger wordt, is de endotherme reactie in het voordeel. Dat is de reactie naar links, dus er is bij hogere temperatuur meer $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$ aanwezig.

Opgave 14 Verdelingsevenwicht

Je hebt in een scheitrechter 50,0 mL water en 35,0 mL benzine waarin $1,36 \cdot 10^{-2}$ mol I_2 is opgelost. Na schudden heeft de jood zich verdeeld over beide vloeistoffasen.

De verdelingsconstante van jood over wasbenzine en water heeft bij de heersende temperatuur de waarde $2,34 \cdot 10^2$.

- 1 Bereken $[\text{I}_2(\text{aq})]$ en $[\text{I}_2(\text{wb})]$ na evenwichtinstelling (wb staat voor wasbenzine).
 Stel de hoeveelheid I_2 die naar de waterlaag is overgegaan op x mmol.

Uit $K = 2,34 \cdot 10^2 = \frac{[\text{I}_2(\text{wb})]}{[\text{I}_2(\text{aq})]}$ volgt

$$K = 2,34 \cdot 10^2 = \frac{(1,36 \cdot 10^{-2} - x) \text{ mmol} / 35,0 \text{ mL}}{x \text{ mmol} / 50,0 \text{ mL}} = \frac{(1,36 \cdot 10^{-2} - x)}{35,0} \times \frac{50,0}{x}$$

$$35,0 \times x \times 2,34 \cdot 10^2 = 50,0(1,36 \cdot 10^{-2} - x) = 6,80 \cdot 10^2 - 50,0 x$$

$$8,19 \cdot 10^3 x = 6,80 \cdot 10^2 - 50,0 x$$

$$8,24 \cdot 10^3 x = 6,80 \cdot 10^2$$

$$x = 8,25 \cdot 10^{-2} \text{ mmol}$$

Dus $[\text{I}_2(\text{aq})] = 8,25 \cdot 10^{-2} \text{ mmol} : 50,0 \text{ mL} = 1,65 \cdot 10^{-3} \text{ M}$ en

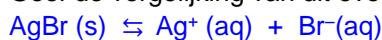
$[\text{I}_2(\text{wb})] = (1,36 \cdot 10^{-2} - 8,25 \cdot 10^{-2}) \text{ mmol} : 35,0 \text{ mL} = 3,86 \cdot 10^{-1} \text{ M}$.

Oplosbaarheidsproduct

Opgave 1 Verzadigde zilverbromide-oplossing

In een verzadigde zilverbromide-oplossing met wat vast zilverbromide op de bodem heerst een evenwicht.

- 1 Geef de vergelijking van dit evenwicht.



Bij T K lost in 100 mL water maximaal $1,6 \cdot 10^{-5}$ g AgBr op. De volumeverandering ten gevolge van het oplossen is te verwaarlozen.

- 2 Bereken $[\text{Ag}^+]$ en $[\text{Br}^-]$ in een verzadigde AgBr-oplossing bij T K.

$$1,6 \cdot 10^{-5} \text{ g AgBr} \equiv 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ g} : 187,8 \text{ g/mol} = 8,5 \cdot 10^{-8} \text{ mol/100 mL}$$

$$[\text{Ag}^+] = [\text{Br}^-] = 8,5 \cdot 10^{-8} \cdot 10 = 8,5 \cdot 10^{-7} \text{ mol/L}$$

- 3 Bereken de waarde van de concentratiebreuk voor het geval er evenwicht is.

$$K = [\text{Ag}^+][\text{Br}^-] = (8,5 \cdot 10^{-7})^2 = 7,3 \cdot 10^{-13} \text{ mol}^2 / \text{L}^2$$

Men voegt wat water toe aan de verzadigde AgBr-oplossing. Hierdoor wordt het evenwicht tijdelijk verstoord en lost er wat AgBr dat op de bodem ligt op. De temperatuur blijft T K. Op een bepaald moment blijkt $[\text{Ag}^+] = 8,0 \cdot 10^{-8} \text{ mol L}^{-1}$ te zijn.

- 4 Hoe groot zal $[\text{Br}^-]$ op dat moment zijn?

$$[\text{Br}^-] = 8,0 \cdot 10^{-8} \text{ je voegt alleen water toe dus } [\text{Ag}^+] = [\text{Br}^-]$$

- 5 Heeft zich op dat moment alweer een evenwicht ingesteld in de verzadigde oplossing? Leg zo goed mogelijk uit.

Nee nog geen evenwicht want

$$\text{Concentratiebreuk} = (8,0 \cdot 10^{-8})^2 = 6,4 \cdot 10^{-15} < K_s (= 7,3 \cdot 10^{-13})$$

Opgave 2 Loodionen verwijderen

Loodverbindingen zijn giftig. Wanneer in water kleine hoeveelheden loodionen voorkomen, zijn die door neerslagreacties goed te verwijderen. Om de concentratie loodionen zo laag mogelijk te maken is het van belang het juiste zout toe te voegen om de loodionen te verwijderen. De oplosbaarheid van diverse loodzouten verschilt namelijk nogal.

Eelko maakt een suspensie van loodchloride in water. De suspensie is wit van kleur. Aan deze suspensie van loodchloride voegt hij enkele druppels van een verzadigde kaliumjodide-oplossing toe. De witte kleur verdwijnt en er ontstaat een gele suspensie.

- 1 Bereken de concentratie loodionen in een verzadigde oplossing van loodchloride.

$$K_s = [\text{Pb}^{2+}] \times [\text{Cl}^-]^2 = 1,2 \times 10^{-5}$$

$$\text{Stel } [\text{Pb}^{2+}] = \frac{1}{2} [\text{Cl}^-] = x, \text{ dus } [\text{Cl}^-] = 2x \quad [\text{Pb}^{2+}] = \sqrt[3]{(1,2 \times 10^{-5}/4)} = 1,4 \times 10^{-2} \text{ M}$$

- 2 Leg met een evenwichtsbeschouwing uit waarom de suspensie van loodchloride geel kleurt als kaliumjodide-oplossing wordt toegevoegd.

$K_s(\text{PbI}_2) < K_s(\text{PbCl}_2)$. De toegevoegde I^- ionen slaan neer met de aanwezige Pb^{2+} ionen (afkomstig uit het $\text{PbCl}_2(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{Cl}^-(\text{aq})$ evenwicht.) Door het onttrekken van Pb^{2+} (aan genoemd evenwicht in de vorm van PbI_2) verschuift dit naar rechts waardoor PbCl_2 wordt omgezet in het gele PbI_2 .

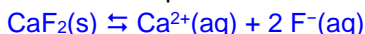
Dianne wil uit een oplossing van een loodzout de loodionen verwijderen door het toevoegen van kaliumhydroxide-oplossing.

- 3 Bereken de concentratie loodionen in een oplossing waaraan zoveel kaliumhydroxide is toegevoegd dat de concentratie hydroxide-ionen 0,050 M is.

$$K_s = 1,4 \times 10^{-20} = [\text{Pb}^{2+}] \times [\text{OH}^-]^2 \quad [\text{Pb}^{2+}] \times 0,05^2 = 1,4 \times 10^{-20} \quad [\text{Pb}^{2+}] = 5,6 \times 10^{-18} \text{ M}$$

Opgave 3 Oplosbaarheidsproduct van calciumfluoride

- 1 Bereken de oplosbaarheid van calciumfluoride in water in gram per liter oplossing.



Stel er lost x mol CaF_2 per L op. x mol $\text{CaF}_2 \rightleftharpoons x$ mol $\text{Ca}^{2+} \rightleftharpoons 2x$ mol F^-

$$K_s = [\text{Ca}^{2+}][\text{F}^-]^2 \quad 1,5 \cdot 10^{-11} = x(2x)^2 \quad x = 1,55 \cdot 10^{-4}$$

In een verzadigde oplossing bevindt zich dus $= 1,55 \cdot 10^{-4}$ mol $\text{CaF}_2/\text{L} =$

$$1,55 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \times 78,08 \text{ g/mol} = 1,2 \cdot 10^{-2} \text{ g/L.}$$

Opgave 4 Oplosbaarheid van bariumsulfaat

- 1 Bereken de oplosbaarheid van bariumsulfaat in een oplossing die 284 mg natriumsulfaat per L bevat.



$$284 \text{ mg Na}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons 284 \text{ mg} : 142,0 \text{ g/mol} = 2,00 \cdot 10^{-3} \text{ mol Na}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons 2,00 \cdot 10^{-3} \text{ mol SO}_4^{2-}$$

Stel er lost x mol BaSO_4/L op; hieruit ontstaat x mol Ba^{2+} en x mol SO_4^{2-}

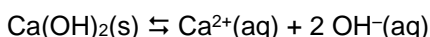
$$[\text{Ba}^{2+}] = x \text{ en } [\text{SO}_4^{2-}] = x + 2,00 \cdot 10^{-3} \quad \text{Substitutie in } K_s \text{ geeft: } 1,1 \cdot 10^{-10} = x(x + 2,00 \cdot 10^{-3})$$

$$x = [\text{Ba}^{2+}] = 5,0 \cdot 10^{-8} \quad \text{In 1 L natriumsulfaatoplossing lost op: } 5,0 \cdot 10^{-8} \text{ mol} \times 233,5 \text{ g/mol} =$$

$$1,2 \cdot 10^{-5} \text{ g} = 0,012 \text{ mg BaSO}_4$$

Opgave 5 Oplosbaarheidsproduct van calciumhydroxide

Calciumhydroxide is een matig oplosbaar zout. Annet mengt wat calciumhydroxide met water. Zij krijgt een suspensie waarin zich een evenwicht heeft ingesteld:



Annet wil de waarde van de evenwichtsconstante experimenteel bepalen. Zij gaat de $[\text{OH}^-]$ in de verzadigde oplossing bepalen met een titratie met zoutzuur. Voordat zij dat doet, moet ze de suspensie eerst filtreren.

- 1 Leg met behulp van het evenwicht uit waarom het nodig is om de suspensie eerst te filtreren.

Ze moet eerst het neerslag affiltreren om te voorkomen dat de concentratiebreuk kleiner wordt dan K_s .

Immers als ze gaat titreren reageren OH^- ionen met H_3O^+ ionen. Hierdoor zou het evenwicht naar

rechts verschuiven waardoor er $\text{Ca}(\text{OH})_2$ oplost.

Annet heeft bepaald dat in de verzadigde oplossing geldt: $[\text{OH}^-(\text{aq})] = 1,62 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$.

- 2 Bereken de waarde van het oplosbaarheidsproduct K_s .

$K_s = [\text{Ca}^{2+}][\text{OH}^-]^2$ $[\text{OH}^-] = 1,62 \cdot 10^{-2}$ dan is $[\text{Ca}^{2+}] = \frac{1}{2} \times 1,62 \cdot 10^{-2} = 0,810 \cdot 10^{-2}$ Substitutie in K_s levert:
 $K_s = 0,810 \cdot 10^{-2} (1,62 \cdot 10^{-2})^2 = 1,31 \cdot 10^{-6}$

Opgave 6 Samenvoegen van loodnitraatoplossing en zoutzuur

Aan 100 mL van een oplossing die 3,31 g loodnitraat per L bevat, wordt 100 mL 0,10 molair zoutzuur toegevoegd.

- 1 Ga na of er een neerslag ontstaat.



100 mL $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ -oplossing $\equiv 3,31 \text{ g} : 331,2 \text{ g/mol} = 1,00 \cdot 10^{-3} \text{ mol Pb}^{2+}$

100 mL 0,10 M zoutzuur $\equiv 100/1000 \times 0,10 = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol Cl}^-$

In totaal 200 mL oplossing aanwezig: $[\text{Pb}^{2+}] = 1,00 \cdot 10^{-3} \text{ mol} : 0,200 \text{ L} = 5,00 \cdot 10^{-3} \text{ M}$

$[\text{Cl}^-] = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol} : 0,200 \text{ L} = 5,00 \cdot 10^{-2} \text{ M}$

De concentratiebreuk $= 5,00 \cdot 10^{-3} \cdot 5,00 \cdot 10^{-2} = 1,3 \cdot 10^{-5}$ Deze is groter dan K_s . Er ontstaat dus een neerslag van loodchloride.