

Reactie-energie, reactiesnelheid, -mechanismen en evenwicht versie 02-02-2022

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.

Inhoud

Reactie-energie (bovenbouw)	2
Reactiesnelheid (bovenbouw)	3
Reactiemechanismen (bovenbouw)	8
Evenwicht (bovenbouw)	17
Oplosbaarheidsproduct.....	22

Reactie-energie (bovenbouw)

Opgave 1 Zilveroxide

Als je zilveroxide met in water opgelost ammoniak laat reageren, kunnen zilvernitrider, 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.
Zilvernitrider is een uiterst instabiele stof. Het kan al bij de minste aanraking ontleden in zilver en stikstof. Als zilvernitrider ontleedt, kan een explosie, een snelle exotherme reactie plaatsvinden.
- 3 Geef de vergelijking van de ontledingsreactie van zilvernitrider.
- 4 Geef het energiediagram dat in overeenstemming is met de hierboven vermelde gegevens.
- 5 Geef een verklaring voor het energiediagram van 4.

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 zogenoemd warmtekussen. Een warmtekussen is een plastic zakje dat gevuld is met een zeer geconcentreerde oplossing van natriumacetaat in water. Op het moment dat aan de oplossing heftig wordt geschud, ontstaat gekristalliseerd natriumacetaat. Hierbij komt een hoeveelheid warmte.

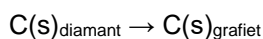
- 1 Geef het ontstaan van gekristalliseerd natriumacetaat uit een natriumacetaatoplossing in een vergelijking weer.
- 2 Geef het kristallisatieproces in een energiediagram weer. Geef hierin de energieverandering (ΔE) aan met een pijl.
Het warmtekussen bevat 80 gram natriumacetaatoplossing. De oplossing 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
Bij het kristallisatieproces komt per mol gekristalliseerd natriumacetaat $1,97 \cdot 10^4$ J vrij. Om een gram van het mengsel een graad in temperatuur te laten stijgen is 3,1 J nodig.
- 4 Bereken de maximale temperatuurstijging in $^\circ\text{C}$ van het warmtekussen.

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.
- 2 Beschrijf de ruimtelijke ordening van de deeltjes in het kristalrooster van diamant.

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.

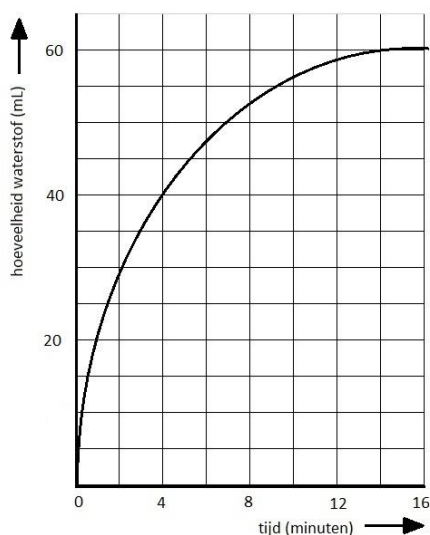
Opgave 4 Energiediagrammen

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

Reactiesnelheid (bovenbouw)

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 0,1 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.



- 1 Leg uit na hoeveel tijd de reactie is afgelopen.
- 2 Door welke oorzaak is de reactie na die bepaalde tijd afgelopen?
- 3 Bereken de gemiddelde reactiesnelheid in cm^3 waterstofgas per seconde tijdens de tweede en de zesde minuut.
- 4 Leg met behulp van het botsende-deeltjesmodel uit waarom de reactiesnelheid tijdens het verloop van de reactie afneemt.
- 5 Schets in de bijlage het verloop als men een zinkstaafje van dezelfde massa overgiet met 50 ml 0,1 M zoutzuur.
- 6 Verklaar het verschil tussen de twee krommen met het botsende-deeltjesmodel.
- 7 Leg uit welke invloed het toevoegen van een katalysator voor deze reactie heeft op
 - de totale reactietijd,
 - de totale hoeveelheid waterstof die ontstaat.

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.

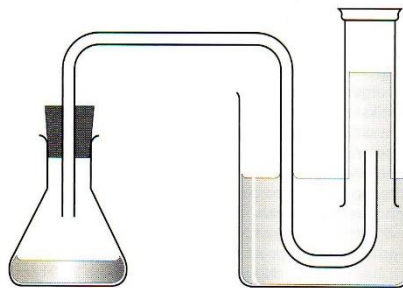
Bij deze reactie ontstaan waterstof en een oplossing van ijzer(II)chloride.

- 1 Geef de vergelijking van de reactie die bij deze proeven optreedt.
- 2 Bereken hoeveel mol H₂(g) bij deze proeven ontstaat.
- 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.

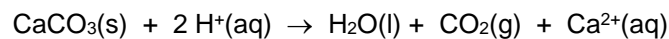
Opgave 3 Gas meten

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.

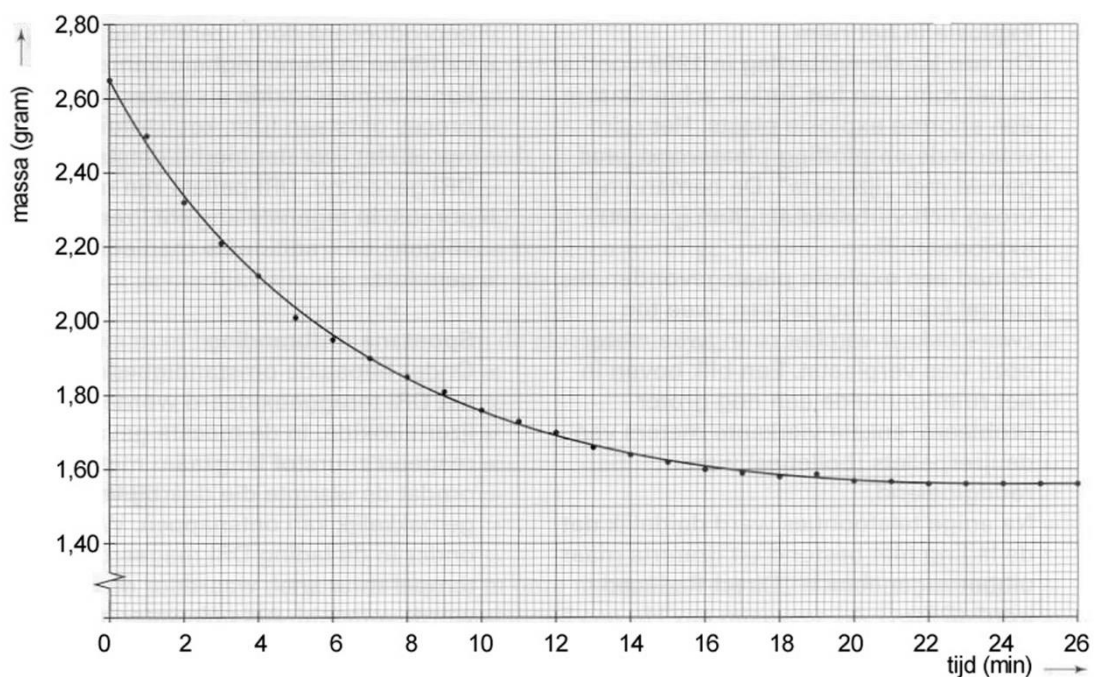
- 1 Teken een opstelling die geschikt is om de hoeveelheid gas die bij deze reactie ontstaat, op te vangen en te meten.



Bianca bedenkt dat ze de proef ook kan uitvoeren door de massa-afname van het reactievat met inhoud te bepalen. Ze plaatst een bekglas met 200 mL 2 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 bekglas 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:



- Hoe is aan het diagram te zien dat de reactiesnelheid tijdens de proef afneemt? Geef een korte uitleg.
- Leg uit waarom tijdens het experiment de reactiesnelheid afneemt.
- 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.

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.

- 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.

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.

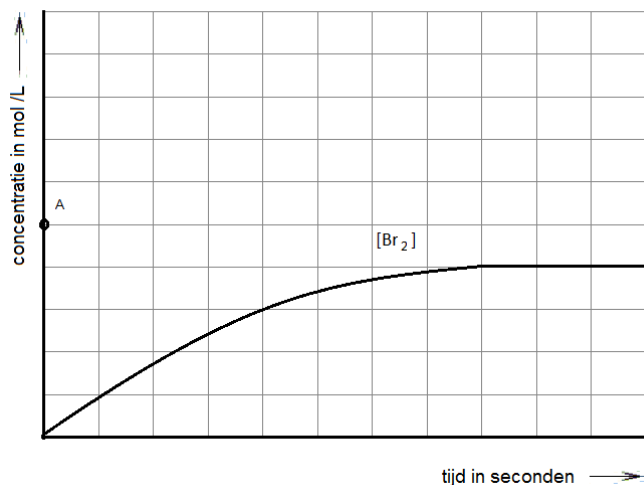
- Neem het diagram over en schets hierin hoe de massa-afname van het calciumcarbonaat zal verlopen tijdens experiment drie. Geef hierbij een korte uitleg.

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

- Welk deeltje is in de bovenstaande reactie de oxidator en welk de reductor?
- Leg uit hoe je aan je antwoord bent gekomen.

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.

- Teken in het diagram hoe de concentratie van H_2O_2 verandert. De beginconcentratie van H_2O_2 is aangegeven door het punt A.
- Teken in het diagram ook hoe de concentratie van Br^- verandert.
- Teken in het diagram hoe de concentratie van Br_2 zou veranderen als met dezelfde beginconcentratie de temperatuur hoger zou zijn.

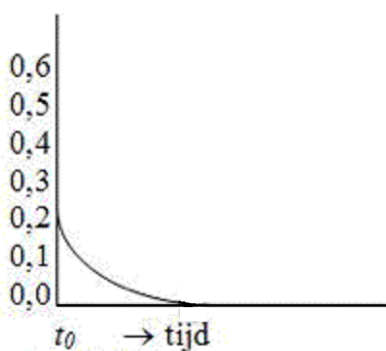
Opgave 5 Reactie van waterstof

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.

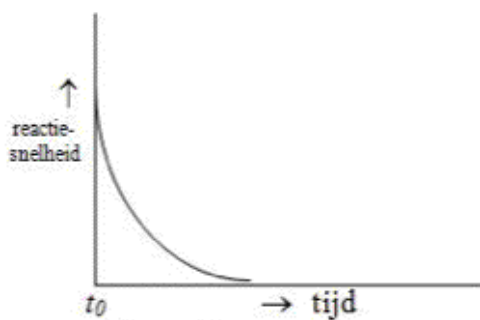
- 2 Bereken de hoeveelheden van de andere stoffen die op dat moment aanwezig zijn. Figuur 1
geeft aan hoe de hoeveelheid waterstof verandert als functie van de tijd. Het tijdstip t_0 geeft het begin van de reactie aan.



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.

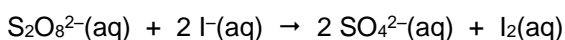


Figuur 2

- 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.

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.

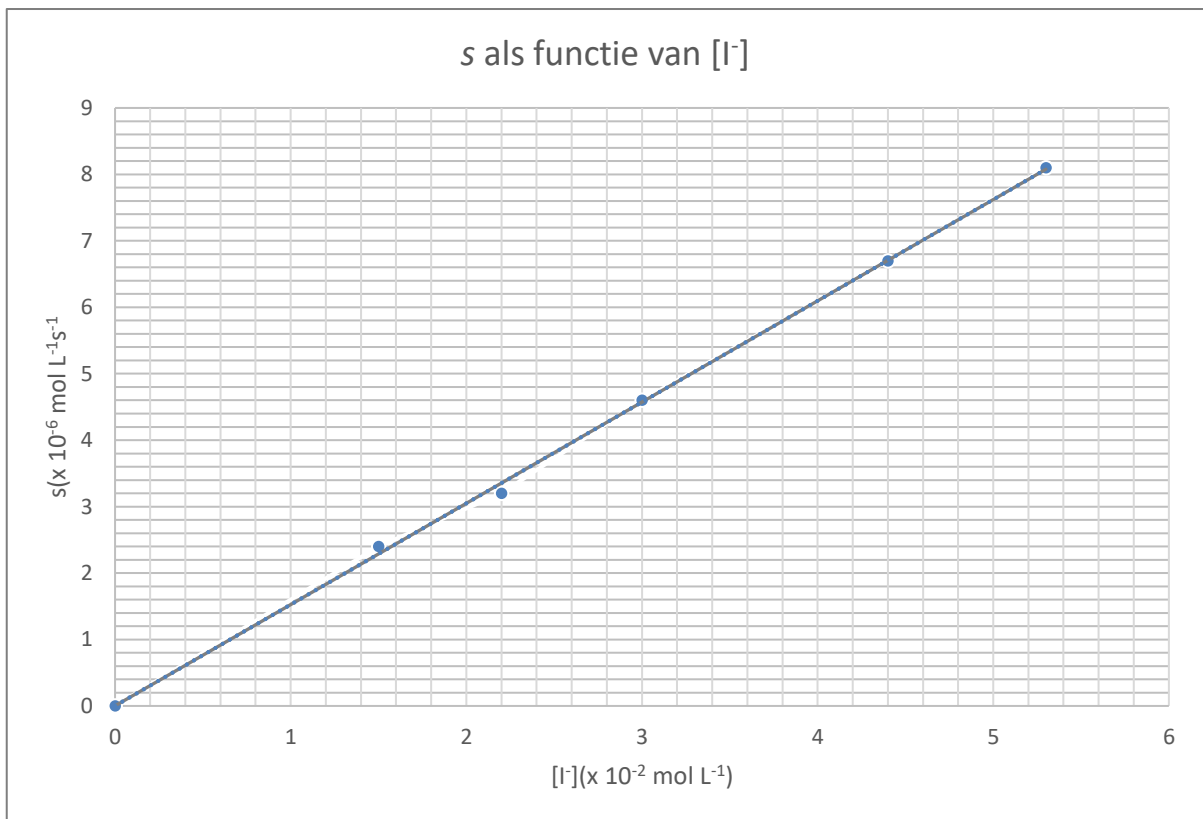
- 1 Geef met behulp van halfreacties de vergelijking van de reactie van jood met thiosulfaat, $S_2O_3^{2-}$.
- 2 Leg aan de hand van het antwoord op vraag 1 en de gegeven reactievergelijking uit dat tijdens de proef de jodideconcentratie constant blijft.

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

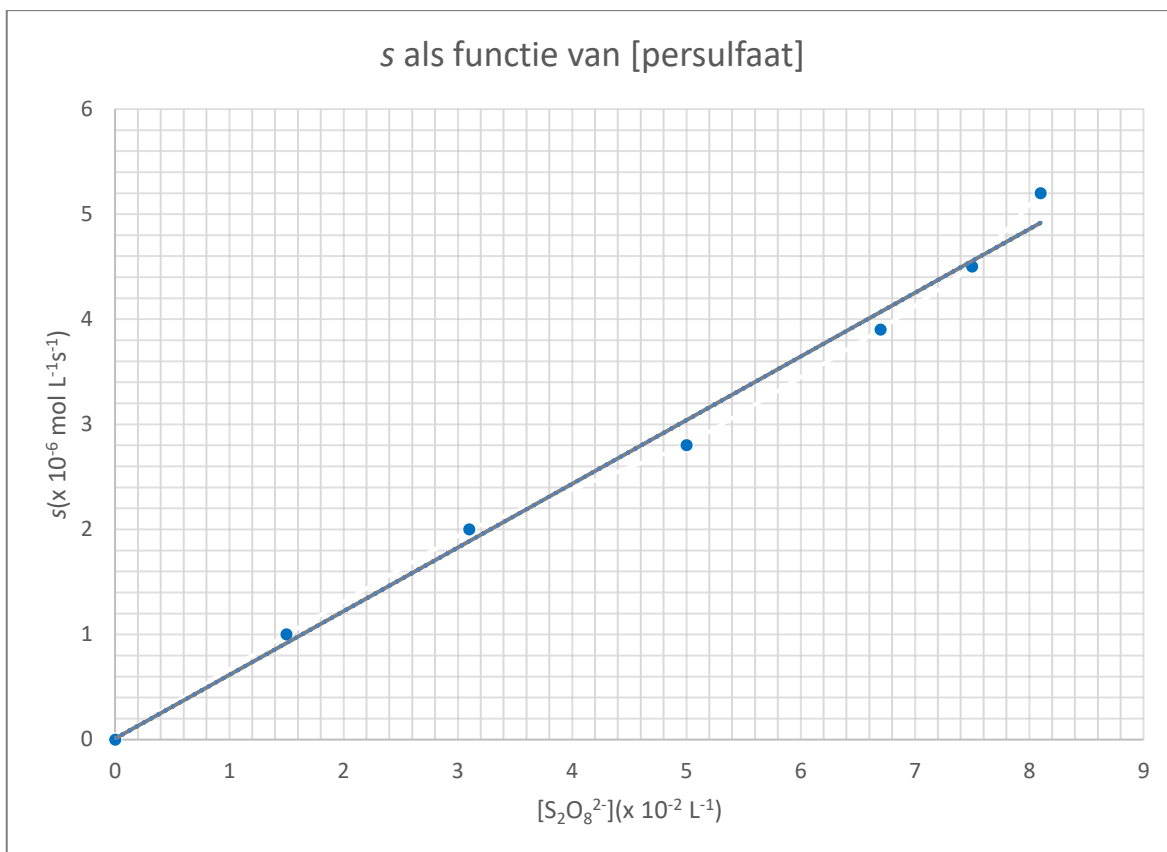
Eerst wordt nagegaan hoe de reactiesnelheid afhangt van de jodideconcentratie door de reactie uit te voeren met verschillende concentraties jodide waarbij de persulfaatconcentratie constant wordt gehouden. Daarna wordt de proef herhaald met een variabele persulfaatconcentratie en een vaste jodideconcentratie.

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

- 3 Leg uit dat de snelheid waarmee de vaste hoeveelheid thio opdraakt een maat voor de reactiesnelheid. 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: $s = \text{constante} \times [I^-]$
Bij de proeven met een variabele persulfaatconcentratie en een constante jodideconcentratie werd de onderstaande grafiek verkregen.



- 5 Ga na dat de volgende relatie geldt: $s = \text{constante} \times [\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]$
- 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 $7,1 \cdot 10^{-2}$ mol/L en dat bij de proeven met de variabele $[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]$ de $[\text{I}^-]$ steeds gelijk was aan $2,9 \cdot 10^{-2}$ mol/L.

Reactiemechanismen (bovenbouw)

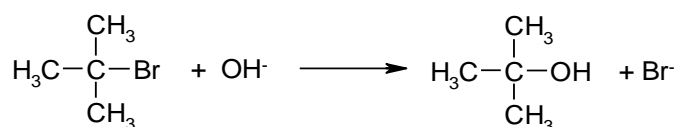
Opgave 1 De reactie $A + B \rightarrow C + D$

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

- Beschrijf mogelijke reactiemechanismen die voldoen aan deze snelheidsvergelijkingen.
Voor de reactie $2A + 2B \rightarrow C + D$ is $s = k[A]^2[B]$.
- Geef twee mogelijke mechanismen voor deze reactie waarbij alleen maar gebruik wordt gemaakt van unimoleculaire en bimoleculaire stappen.

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

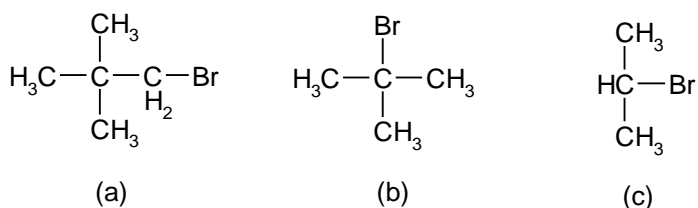
experiment de afname van de concentratie van $(\text{CH}_3)_3\text{CBr}$ per seconde te meten. De resultaten zijn in onderstaande tabel weergegeven.

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.
- Schrijf de snelheidsvergelijking voor deze reactie op en bereken met behulp daarvan de grootte van de reactiesnelheidsconstante k .

Opgave 3 Reactiviteit voorspellen

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



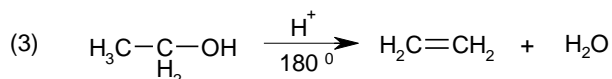
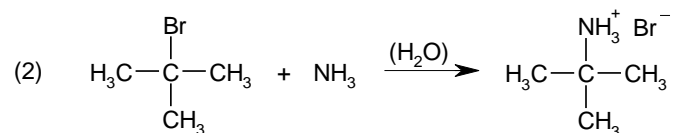
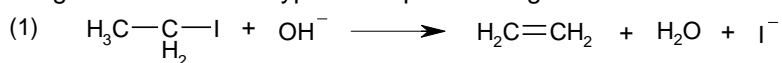
Opgave 4 1-chloorbutaan

De verbinding 1-chloorbutaan wordt met loog verwarmd.

- Volgens welk(e) mechanisme(n) zal (zullen) die reactie(s) verlopen?
- Welke verbindingen zullen er ontstaan?

Opgave 5 Reactietypen

- Volgens welke reactietypen verlopen de volgende reacties:



- Geef de mechanismen van bovenstaande reacties.

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

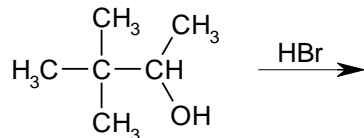
De omzetting van 2-chloorbutaan tot butaan-2-ol met een waterige loogoplossing blijkt in dit milieu zowel via een S_N1- als een S_N2-mechanisme te verlopen. Eventuele eliminatiereacties worden buiten beschouwing gelaten.

- Schrijf de beide reactiemechanismen voor deze reactie op.

- Leg uit met wat voor soort experiment je dit zou kunnen aantonen. Geef ook duidelijk je waarnemingen weer.
- Verklaar het ontbreken van een duidelijke voorkeur voor een van beide reactietypen.
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.

Opgave 7 Reactie van 1,2,2-trimethyl-propanol met HBr

Leg uit wat het hoofdproduct zal zijn bij onderstaande reactie.



Opgave 8 Bereiding van diverse verbindingen via S_N-reacties

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

- $$\text{H}_3\text{C}-\text{O}-\underset{\text{H}_2}{\text{C}}-\underset{\text{H}_2}{\text{C}}-\text{CH}_3$$
- $$\begin{array}{c}
 \text{H} \quad \quad \quad \text{O} \\
 | \quad \quad \quad || \\
 \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{CH}_3 \\
 | \quad \quad | \quad \quad | \quad \quad | \\
 \text{CH}_3 \quad \text{H}_2 \quad \text{H}_2 \quad \quad \text{H}_2 \quad \text{H} \\
 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad | \\
 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \text{CH}_3
 \end{array}$$
- $$\begin{array}{c}
 \text{H} \quad \quad \quad \text{O} \quad \quad \quad \text{O} \\
 | \quad \quad \quad || \quad \quad \quad || \\
 \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{C}-\text{CH}_3 \\
 | \quad \quad \quad \quad \quad | \quad \quad | \quad \quad \quad | \\
 \text{CH}_3 \quad \quad \quad \quad \quad \text{H}_2 \quad \text{H}_2 \quad \quad \quad \text{H} \\
 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad | \\
 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \text{CH}_3
 \end{array}$$

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

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

- 1-chloor-2,2-dimethylpropanaan door reactie met natriumethanolaat.
- Chloorethaan met natrium-2,2-dimethyl-propanolaat.

Opgave 10 Reactie van broomethaan met OH⁻

Bekijk de volgende reactie:



- Leg uit wat er met de reactiesnelheid zal gebeuren als de:
 - (a) broomethaanconcentratie wordt verdubbeld
 - (b) OH⁻ -ionenconcentratie wordt verdrievoudigd.
- Wat zal er gebeuren als de temperatuur wordt verhoogd?

Opgave 11 Reactie van natriumethanolaat met 2-chloor-2methylbutaan

Leg uit welke verbinding er als hoofdproduct ontstaat bij de reactie van natriumethanolaat met 2-chloor-2methylbutaan.

Opgave 12 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 ₃ Br	CH ₃ CH ₂ Br	(CH ₃) ₂ CHBr	(CH ₃) ₃ CBr
Relatieve snelheid	2140	171	4,99	1010

Verklaar de lage waarde voor (CH₃)₂CHBr.

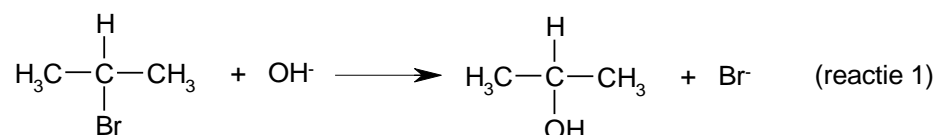
Opgave 13 Omzetting van RCl in ROH

Verklaar het feit dat de omzetting van CH₃CH₂ – Cl in CH₃CH₂ – OH langzaam verloopt maar dat de reactie snel verloopt als er een katalytische hoeveel I⁻ aan het reactiemengsel wordt toegevoegd.

Opgave 14 De reactie van 2-broompropaan 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 propaan-2-ol uit 2-broompropaan in basisch milieu:



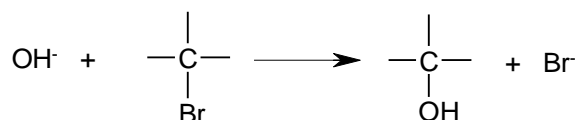
De snelheid van een reactie kan worden gedefinieerd als de afname van de concentratie van een uitgangsstof per tijdseenheid of als de toename van de concentratie van een reactieproduct per tijdseenheid.

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).

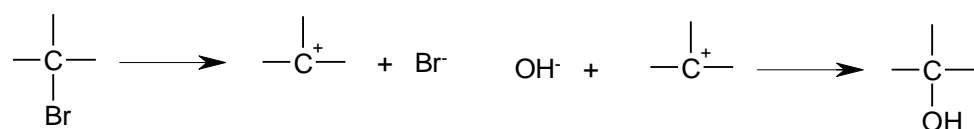
- 1 Geef de vergelijking van reactie 2 in structuurformules.
- 2 Leg uit of, gezien het optreden van reactie 2, de snelheid van reactie 1 gedefinieerd kan worden als de afname van [OH⁻] per tijdseenheid.

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

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-broompropanen 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-broompropanen en OH^- in de mengsels bij het begin van de twee proeven.

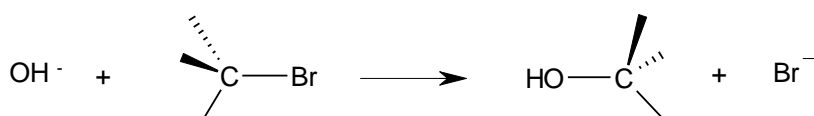
[2-broompropanen] in mol·L ⁻¹	[OH ⁻] in mol·L ⁻¹	snelheid van reactie 1 in mol·L ⁻¹ s ⁻¹
0,10	0,10	6,4·10 ⁻⁷
0,050	0,050	2,6·10 ⁻⁷

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.

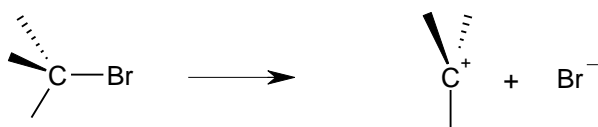
Reacties zoals reactie 1 gaan in de meeste gevallen gepaard met een verandering in de ruimtelijke bouw van de moleculen.

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 — stellen bindingen voor die respectievelijk naar achteren en naar voren gericht zijn.

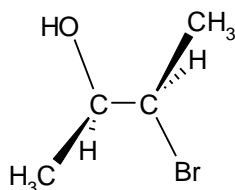
Bij reacties die volgens mechanisme II verlopen, heeft de helft van de moleculen van het reactieproduct een configuratie die tegengesteld is aan die van de moleculen van de uitgangsstof. Men neemt daarom aan dat de tussentijds gevormde positief geladen ionen een vlakke structuur bezitten:



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.

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.



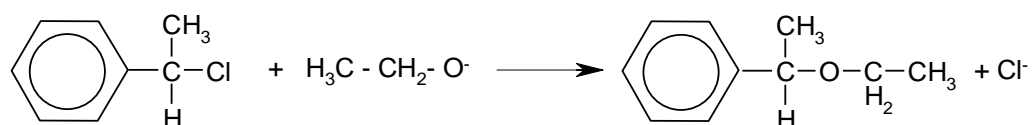
Deze stereo-isomeer is optisch actief. Na afloop van de reactie van bovengenoemde stereo-isomeer van 3-broombutaan-2-ol met OH^- wordt geen optische activiteit waargenomen.

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

Opgave 15 Reactie met ethanolaation

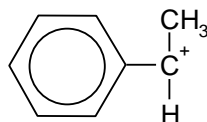
Een halogeenalkaan kan met sommige negatieve ionen reageren, waarbij het halogeenatoom vervangen wordt door het reagerende deeltje. Het halogeenatoom komt in de oplossing als een negatief ion. Een voorbeeld van negatieve ionen die op deze manier kunnen reageren met halogeenalkanen, is ethanolaat, $\text{H}_3\text{C} - \text{CH}_2 - \text{O}^-$.

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 ethanolaation.

- 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.
- 3 Leg uit wat de orde van de reactie is als de reactie volgens mechanisme II verloopt.

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	$[\Phi\text{-C(CH}_3\text{)H-Cl}]$ (mol L ⁻¹)	$[\text{H}_3\text{C-CH}_2\text{-O}^-]$ (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

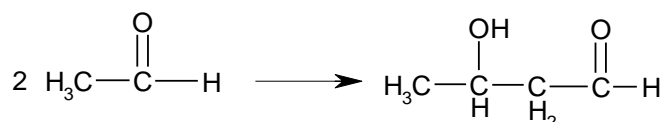
Johan bekijkt aan de hand van deze gegevens wat de orde is van de reactie. Hij realiseert zich dat er de volgende mogelijkheden zijn:

- 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.

Opgave 16 Ethanal

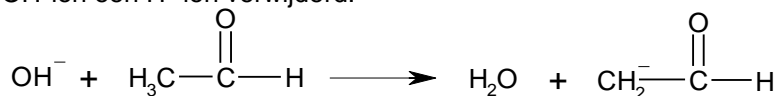
Een molecuul ethanal kan onder invloed van OH⁻ ionen adderen aan een tweede molecuul ethanal, waarbij 3-hydroxybutanal wordt gevormd:



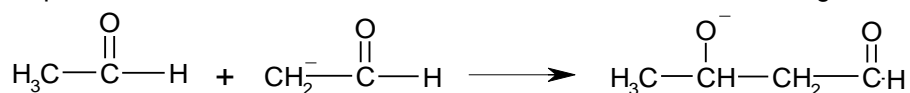
Dit type reactie waarbij additie plaatsvindt aan de C=O groep wordt wel aldoladditie genoemd.

Voor deze reactie is het volgende mechanisme opgesteld.

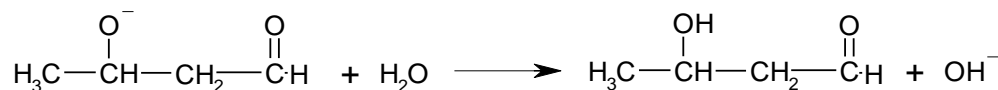
Stap 1: In een molecuul ethanal wordt van het C atoom naast de C=O groep door een OH⁻ ion een H⁺ ion verwijderd:



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.

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

ditzelfde 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.
 4 Leg uit waardoor methanal op grond van het beschreven mechanisme geen aldoladditie kan vertonen.
 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.

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.

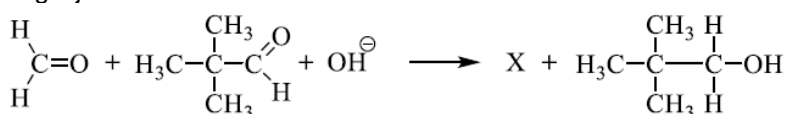
II de eerste stap verloopt snel, maar de tweede stap waarbij een alkanon koppelt aan het negatieve ion uit stap 1 verloopt langzaam.

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.
 9 Leg op grond van dit resultaat uit of hypothese II juist kan zijn.

Opgave 17 Reactie van methanal met een aldehyde

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



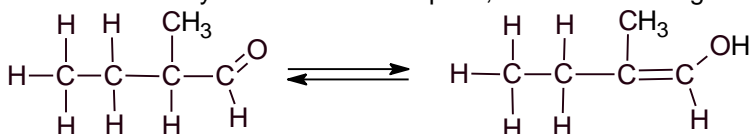
verbinding A

Verbinding X is een alkanoaat.

- 1 Geef de naam van verbinding A.
 2 Geef de Lewisstructuur en de naam van verbinding X.

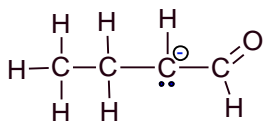
Opgave 18 Enolvorming

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.

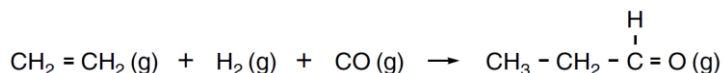
Enolvorming kan worden gekatalyseerd door OH^- . Hierbij wordt een H^+ van het 2^e C-atoom door OH^- gebonden. Er ontstaat een negatief ion:



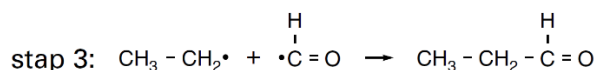
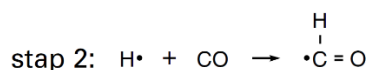
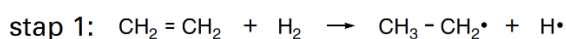
- 1 Leg uit dat het 2^e C-atoom een formele lading heeft van -1.
Met behulp van grensstructuren kan de enolvorming aangetoond worden.
- 2 Teken beide grensstructuren en leg uit hoe de enolvorming tot stand komt. Gebruik Lewisstructuren (elektronenformules).
Enolvorming kan optreden bij alkanalen met 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.
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.

Opgave 19 Alkanalen

Propanal kan op verschillende manieren worden bereid. Bij één van die manieren gaat men uit van etheen, waterstof en koolstofmonooxide 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 koolstofmonooxide in de reactorruimte. Mede op grond hiervan veronderstelt men dat de bovengenoemde reactie via de volgende drie achterenvolgende 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.
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 koolstofmonooxide. 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.

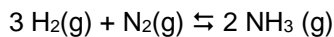
In het reactiemengsel dat ontstaat bij de bereiding van butanal wordt ook een kleine hoeveelheid polypropreen aangetroffen. Men veronderstelt dat de vorming van een polypropreenmolecuul in het reactiemengsel begint met een initiatiereactie. Zo'n initiatiereactie wordt gevolgd door een aantal opeenvolgende 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.

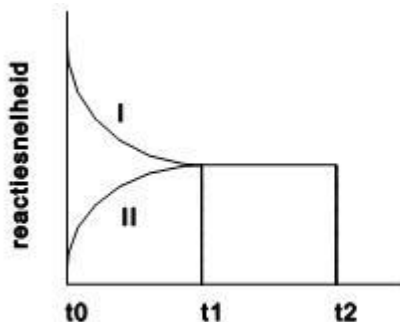
Evenwicht (bovenbouw)

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.

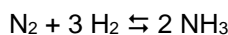


- Welke stoffen zijn op het tijdstip t_0 in het vat aanwezig? Leg dit kort uit.
- Neem de grafiek over en schets het verloop van de reactiesnelheden na tijdstip t_2 , als er op dat moment plotseling extra stikstof wordt toegevoegd. Verder blijven alle omstandigheden gelijk. Geef, als de reactiesnelheden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

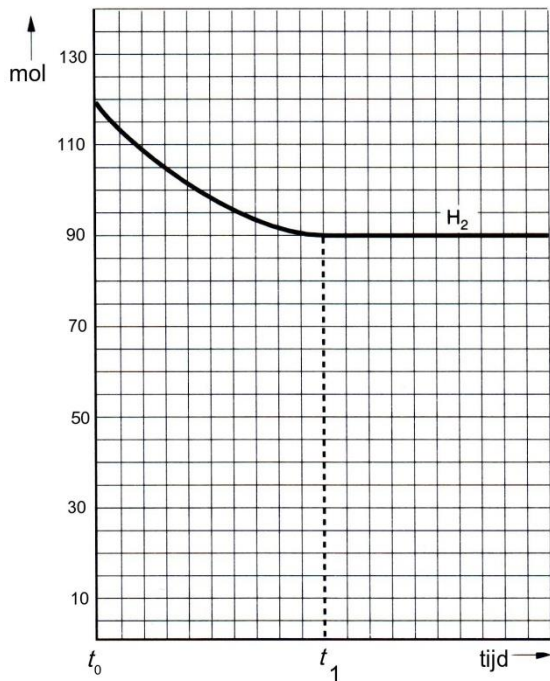
Opgave 2 Reactie van waterstof en stikstof in een afgesloten vat (2)

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.
- 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
- 3 Schets in het diagram ook hoe de hoeveelheid ammoniak verandert in de loop van de tijd.
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.
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.

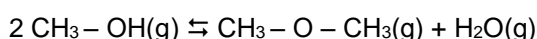
Opgave 3 Methanol als brandstof

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.

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.
- 3 Leg uit of de keuze van een hoge druk invloed heeft op het gestelde in doel 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.
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.
- 3 Er wordt extra stoom in het reactievat gebracht.
- 4 Het toevoegen van een geschikte katalysator.

Opgave 5 Verandering van het evenwicht

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

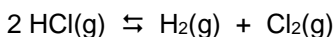
De reactie is endotherm.

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

- 1 Toevoeging van natriumacetaat.
- 2 Verwarming.
- 3 Verdunning met water.

Opgave 6 Ontleding van waterstofchloride

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



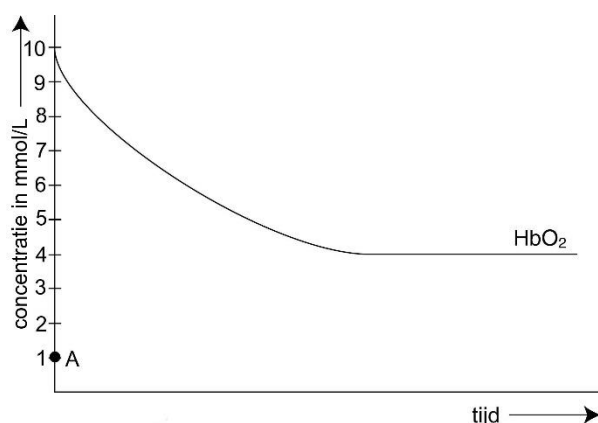
Men onttrekt nu voortdurend Cl_2 aan dit evenwicht, tot er geen verandering meer optreedt.

- 1 Beredeneer welke stof(fen) na afloop nog aanwezig is (zijn).
Men brengt een hoeveelheid $\text{HCl}(\text{g})$ en $\text{Cl}_2(\text{g})$ in een vat bij elkaar, sluit dit af en laat dit mengsel tot evenwicht komen.
- 2 Beredeneer of de hoeveelheid Cl_2 zal veranderen. Zo ja, hoe? .
Op het moment van evenwicht blijkt er 2,38 gram chloor aanwezig te zijn in het reactievat, dat een inhoud heeft van $0,45 \text{ dm}^3$.
- 3 Bereken de concentratie van waterstofchloride in het vat.

Opgave 7 Hemoglobine

Hemoglobine (Hb) in het bloed kan zuurstof opnemen, waarbij oxyhemoglobine (HbO_2) 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 HbO_2 in bloed daalt.



- 2 Leg uit dat uit het diagram blijkt dat het inderdaad om een evenwichtsreactie gaat.
- 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.
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.
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?
- 6 Waarom is koolstofmono-oxide zo giftig?

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.
De reactie kan worden uitgevoerd met nikkel als katalysator.
- 3 Leg uit of er in aanwezigheid van nikkel meer waterstof in het evenwichtsmengsel voorkomt.
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.
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.

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

- 4 Schrijf de concentratiebreuk voor dit evenwicht op.
- 5 Schrijf ook de partiële-drukbreuk voor dit evenwicht op en leg uit of de partiële-drukbreuk een andere waarde heeft dan de concentratiebreuk.
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.
 - b De temperatuur in het reactievat wordt verhoogd.
 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.

Opgave 10 Elektrolyse van water

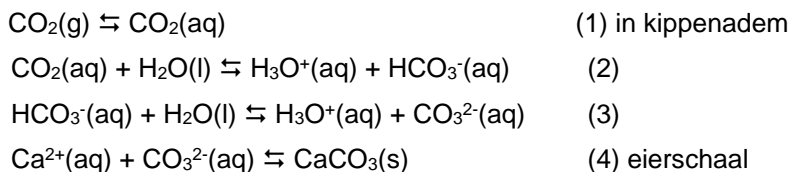
Waterstof kan worden gemaakt door middel van elektrolyse van water.

- 1 Teken een energiediagram van de elektrolyse van water. Schets in het diagram ook de activeringsenergie.
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.
- 6 Schrijf ook de partiële-drukbreuk op en leg uit of de partiële-drukbreuk een andere waarde heeft dan de concentratiebreuk.
- 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.
 - b. temperatuur in het reactievat wordt verhoogd.

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 CO₂ uit de kippenadem wordt door dit hijgen sneller uit de adem naar de buitenlucht afgevoerd dan bij koud weer. De CO₂ in kippenadem lost in de longen op in het bloed. Van hieruit komt het uiteindelijk terecht in CaCO₃ 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.
- 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.

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.
- 3 Zelfde vraag als het volume bij constante temperatuur wordt verkleind.
- 4 Zelfde vraag als bij gelijkblijvende temperatuur en volume stikstof in de ruimte wordt geperst.

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.
Om de evenwichtsconstante te bepalen, doet men het volgende experiment. In een vat van $10,0 \text{ dm}^3$ brengt men $4,00 \text{ mol H}_2\text{S(g)}$ 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.
- 4 Leg uit of, en zo ja hoe, het evenwicht zal veranderen als gevolg van een drukverhoging door volumeverkleining.
- 5 De reactie naar rechts is exotherm. Leg uit of er bij temperatuurverhoging meer, minder of evenveel $\text{H}_2\text{S(g)}$ in het evenwichtsmengsel aanwezig zal zijn.

Opgave 14 Verdelingsevenwicht

Je hebt in een scheitrechter $50,0 \text{ mL}$ water en $35,0 \text{ mL}$ benzine waarin $1,36 \cdot 10^{-2} \text{ mol I}_2$ 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 evenwichtsinstelling (wb staat voor wasbenzine).

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 $T \text{ K}$ lost in 100 mL water maximaal $1,6 \cdot 10^{-5} \text{ g AgBr}$ op. De volumeverandering ten gevolge van het oplossen is te verwaarlozen.
- 2 Bereken $[\text{Ag}^+]$ en $[\text{Br}^-]$ in een verzadigde AgBr -oplossing bij $T \text{ K}$.
- 3 Bereken de waarde van de concentratiebreuk voor het geval er evenwicht is.
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 $T \text{ K}$. 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?
- 5 Heeft zich op dat moment alweer een evenwicht ingesteld in de verzadigde oplossing? Leg zo goed mogelijk uit.

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

Reactie-energie, -snelheid, -mechanismen en evenwicht VWO

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

Opgave 3 Oplosbaarheidsproduct van calciumfluoride

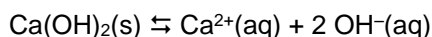
- 1 Bereken de oplosbaarheid van calciumfluoride in water in gram per liter oplossing.

Opgave 4 Oplosbaarheid van bariumsulfaat

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

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.
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} .

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.