

Reactie-energie, reactiesnelheid, en evenwicht versie 02-03-2016

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

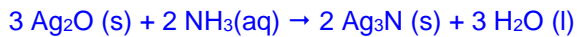
Reactie-energie (bovenbouw)	2
Reactiesnelheid (bovenbouw)	4
Evenwicht (bovenbouw)	9

Reactie-energie (bovenbouw)

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.

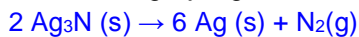


- 2 Leg uit of de reactie van zilveroxide met ammoniak endotherm of exotherm is.

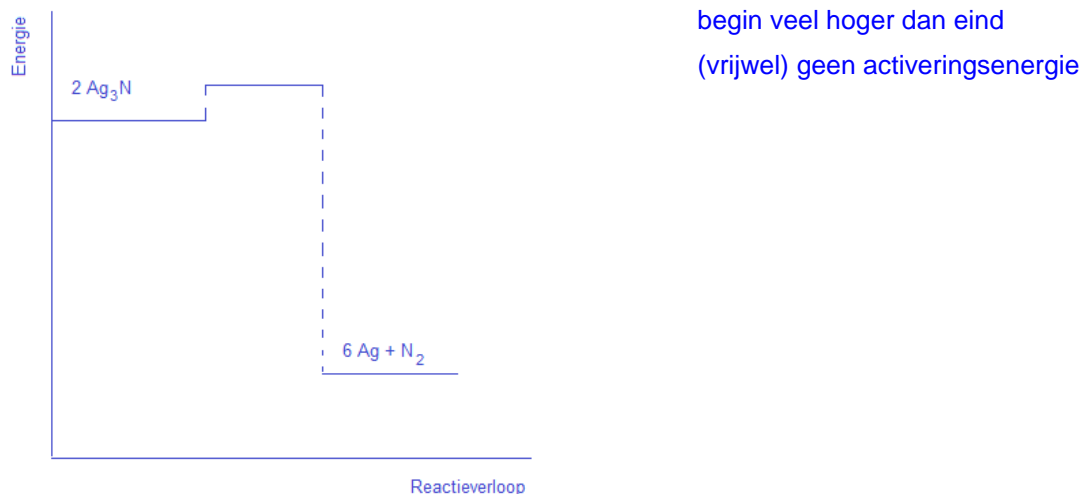
De temperatuur van de oplossing daalt, dus de stoffen nemen energie op. De reactie is dus endotherm.

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.

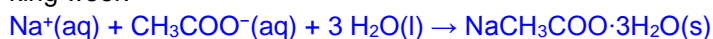
De reactie is exotherme, dus het niveau van de reactieproducten ligt lager dan het niveau van de beginstoffen.

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

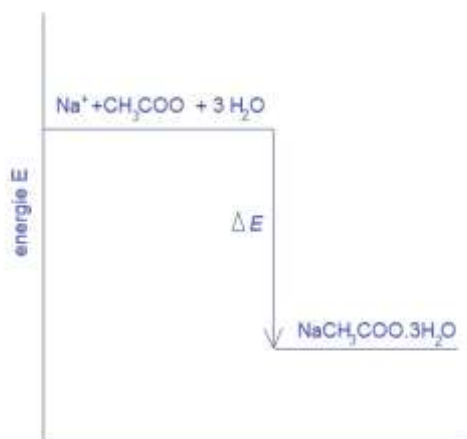
Opgave 2 Warmtekussen

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.



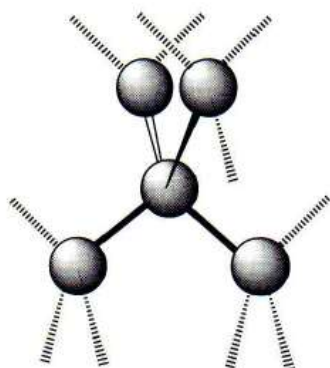
Het warmtekussen bevat 80 gram natriumacetaatoplossing. De oplossing bestaat uit 40 gram natriumacetaat en 40 gram water. Na kristallisatie is 0,30 mol gekristalliseerd natriumacetaat ontstaan. Daarnaast is een kleine hoeveelheid verzadigde natriumacetaatoplossing overgebleven.

- Ga door berekening na hoeveel gram vloeibaar water er na kristallisatie is overgebleven
 $0,30 \text{ mol NaCH}_3\text{COO} \cdot 3\text{H}_2\text{O(s)} \equiv 3 \times 0,30 \text{ mol} = 0,90 \text{ mol H}_2\text{O kristalwater}$
 $0,90 \text{ mol H}_2\text{O} \equiv 0,90 \text{ mol} \times 18,01 \text{ g/mol} = 16 \text{ g H}_2\text{O kristalwater. Ongebonden H}_2\text{O} = 40 - 16 = 24 \text{ g}$
 Bij het kristallisatieproces komt per mol gekristalliseerd natriumacetaat $1,97 \cdot 10^4 \text{ J}$ vrij. Om een gram van het mengsel een graad in temperatuur te laten stijgen is 3,1 J nodig.
- Bereken de maximale temperatuurstijging in °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 = $5,9 \cdot 10^3 \text{ J} : 248 \text{ J/}^\circ\text{C} = 24 \text{ }^\circ\text{C}$.

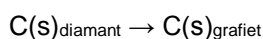
Opgave 3 Koolstof

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.

- 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
- 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:

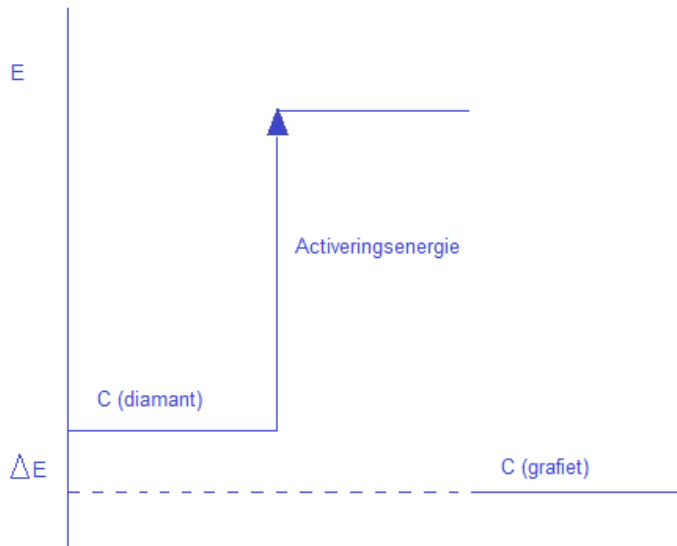


Bij verhitting van diamant in een stikstofatmosfeer tot een temperatuur boven 2000 K wordt diamant

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.

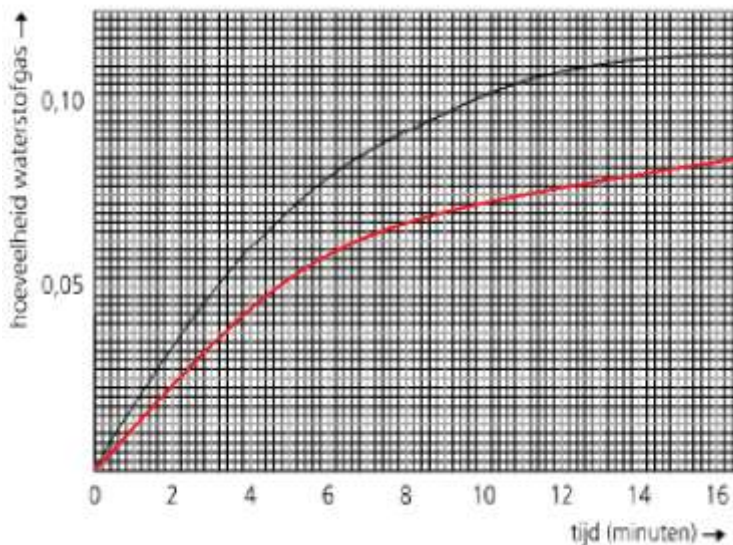
Aangenomen mag worden dat de activeringsenergie voor deze reactie erg groot is. Alleen bij zeer hoge temperaturen wordt er genoeg energie aan het kristalrooster toegevoegd om het diamant-rooster om te zetten in dat van grafiet.



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.



- 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: 0,034 mL : 120 s = 2,8·10⁻⁴ mL/s 6 min: 0,080 mL : 360 s = 2,2·10⁻⁴ 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 0,1 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.

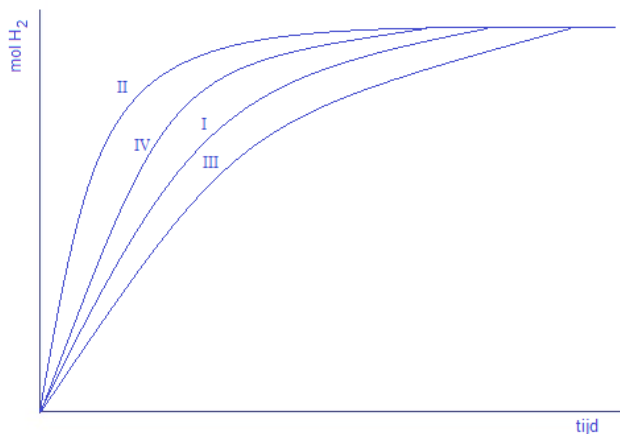
II: 1,0 g ijzerpoeder met 20 mL 0,50 M zoutzuur bij 50°C.

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 mL x 0,20 mmol/ml = 10 mmol HCl \equiv 5,0 mmol H₂(g)
1,0 g : 55,85 g/mol = 0,018 mol = 18 mmol Fe \equiv 18 mmol H₂(g)
Er ontstaat dus 5,0 mmol H₂(g)
- 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.



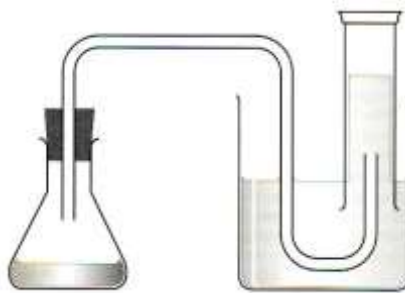
- 4 Verklaar de verschillen met behulp van het botsingsmodel.

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.

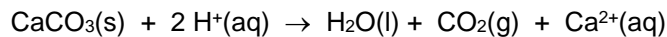
Opgave 3 Gas meten

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.

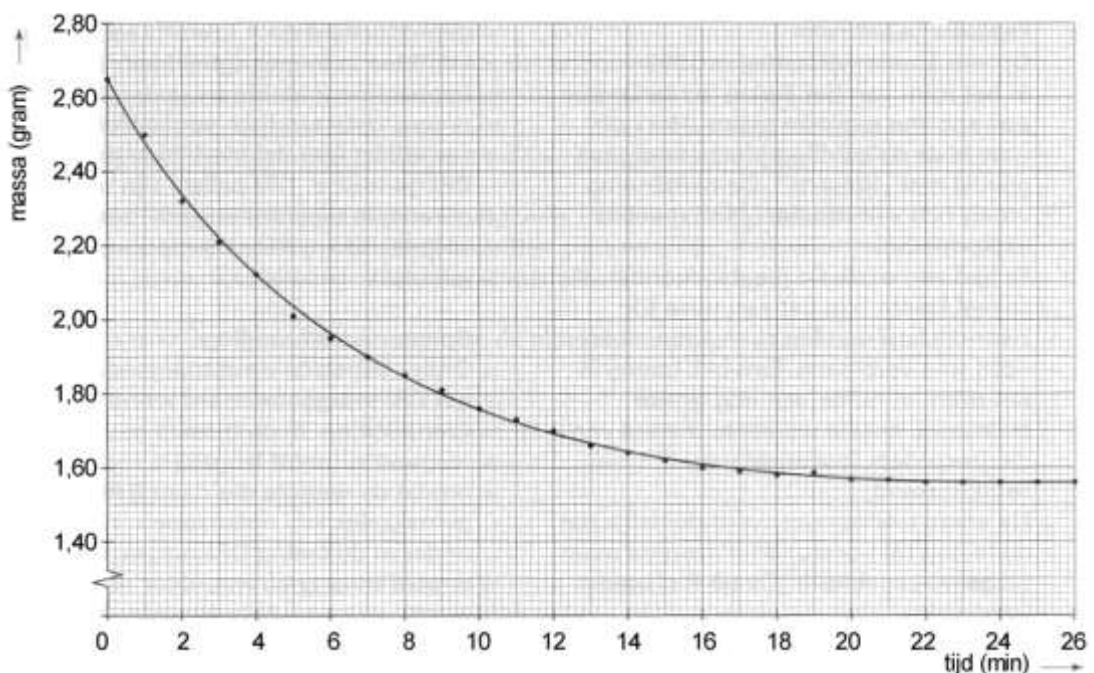
- 1 Teken een opstelling die geschikt is om de hoeveelheid gas die bij deze reactie ontstaat, op te vangen en te meten.



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 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 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: $2 H^+ + H_2O_2 + 2 Br^- \rightarrow Br_2 + 2 H_2O$

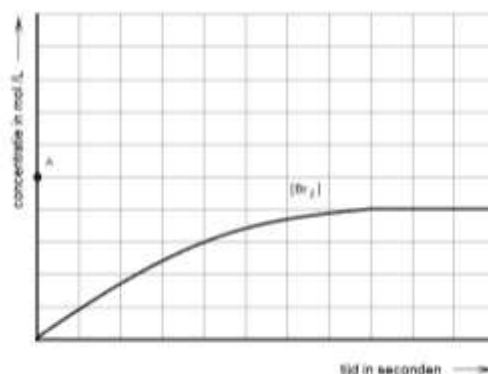
1 Welk deeltje is in de bovenstaande reactie de oxidator en welk de reductor?

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.

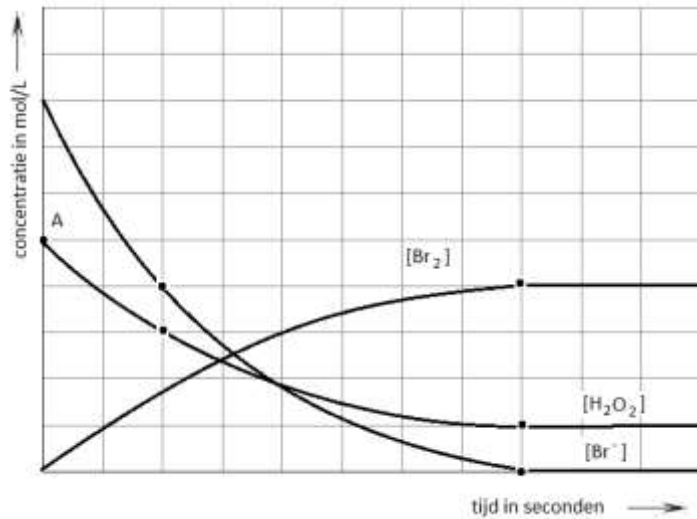
Zie antwoord op de vorige vraag.

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.

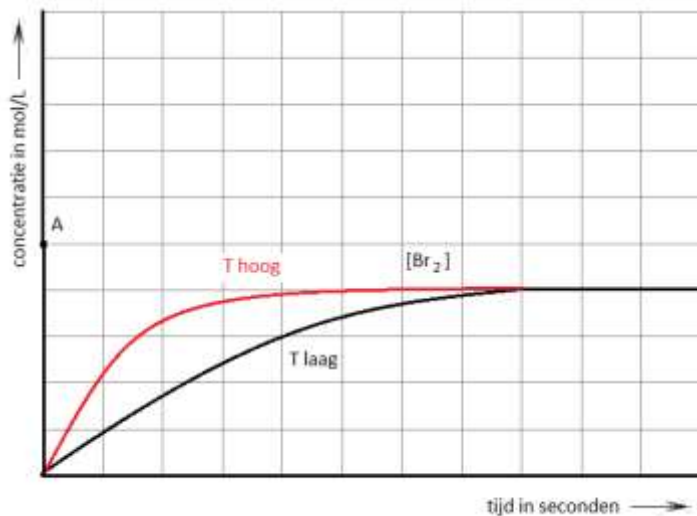
- 3 Teken in het diagram hoe de concentratie van H_2O_2 verandert.
De beginconcentratie van H_2O_2 is aangegeven door het punt A.



Er is $4/5A$ mol Br_2 ontstaan, dus is er $4/5A$ mol H_2O_2 omgezet, omdat $1 \text{ mol } \text{H}_2\text{O}_2 \equiv 1 \text{ mol } \text{Br}_2$. $[\text{H}_2\text{O}_2]$ 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 $1 \text{ mol } \text{Br}_2 \equiv 2 \text{ mol } \text{Br}^-$ is $[\text{Br}^-]$ $2 \times 4/5A = 8/5A$ en neemt $2 \times$ 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 Br_2 zou veranderen als met dezelfde beginconcentratie de temperatuur hoger zou zijn.



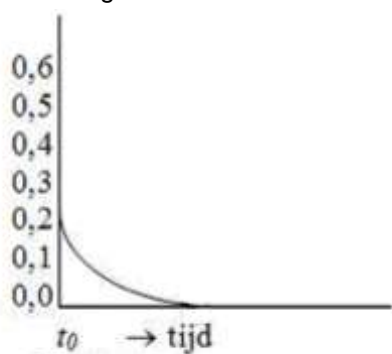
Opgave 5 Reactie van waterstof

Men verhit een mengsel van $0,40 \text{ mol}$ stikstofmono-oxide en $0,20 \text{ mol}$ waterstof tot $800 \text{ }^\circ\text{C}$. Bij deze temperatuur kunnen stikstofmono-oxide en waterstof reageren tot stikstof en waterdamp.

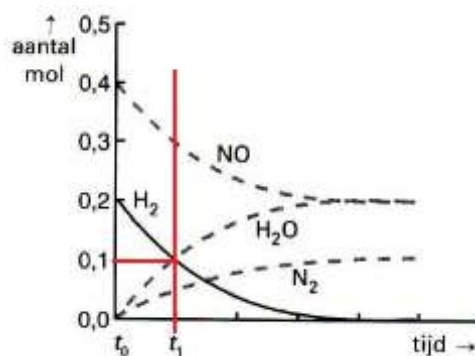
- Geef de vergelijking voor deze reactie.
 $2 \text{ NO} + 2 \text{ H}_2 \rightarrow \text{N}_2 + 2 \text{ H}_2\text{O}$
Op tijdstip t_1 is nog de helft van de oorspronkelijke hoeveelheid waterstof over.
- Bereken de hoeveelheden van de andere stoffen die op dat moment aanwezig zijn.

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 t₀ geeft het begin van de reactie aan.

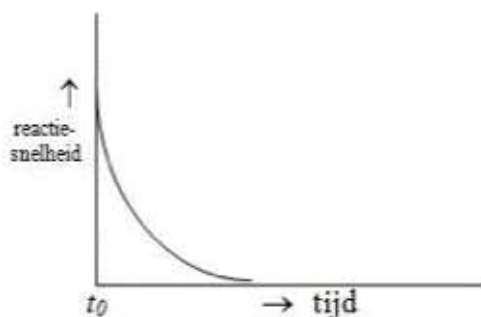


Figuur 1

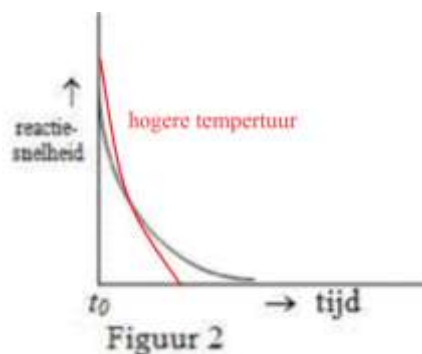


- Geef in figuur 1 het tijdstip t₁ aan.
- Schets in figuur 1 ook hoe de hoeveelheden stikstofmono-oxide, stikstof en waterdamp gedurende de reactie veranderen. Geef bij elke lijn duidelijk aan op welke stof zij betrekking heeft.

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



Figuur 2



Figuur 2

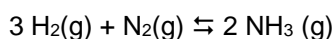
- Schets in figuur 2 het verloop van de reactiesnelheid als functie van de tijd voor het geval de proef, onder overigens gelijkblijvende omstandigheden wordt uitgevoerd bij een hogere temperatuur. Licht je tekening toe.

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.

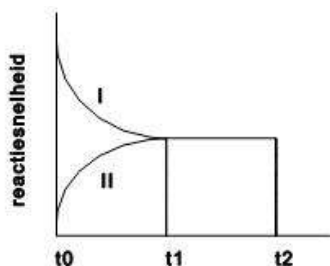
Evenwicht (bovenbouw)

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

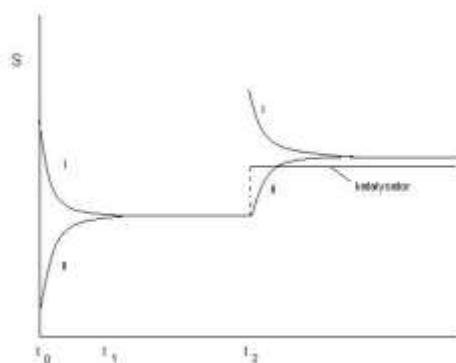
Bekijk het volgende evenwicht in een afgesloten vat:



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.

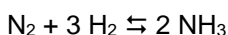


- 1 Welke stoffen zijn op het tijdstip t_0 in het vat aanwezig? Leg dit kort uit.
 H_2 en N_2 , want de reactie verloopt snel vanaf het begin en NH_3 , want de reactiesnelheid naar rechts is niet nul / de reactie naar rechts verloopt ook al een beetje
- 2 Neem de grafiek over en schets het verloop van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

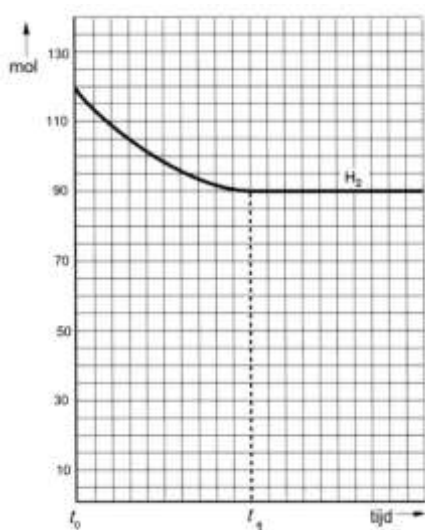


Opgave 2 Reactie van waterstof en stikstof in een afgesloten vat (2)

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.



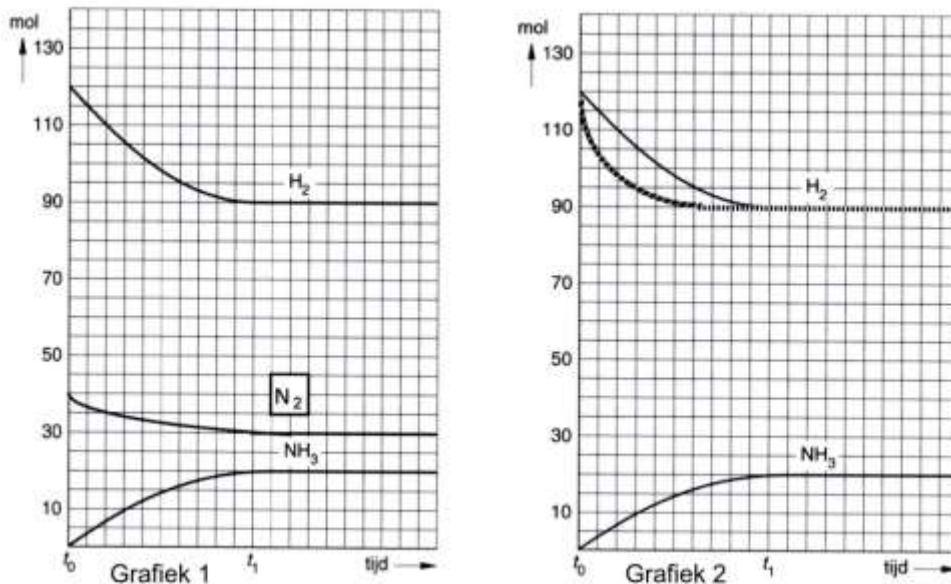
Vanaf t_1 loopt de lijn in het diagram horizontaal.

- 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.
- Bereken hoeveel mol stikstof op het tijdstip t_1 aanwezig is en schets in het diagram hoe de hoeveelheid stikstof verandert in de loop van de tijd
Uit de grafiek volgt dat er 90 mol H_2 over is in de evenwichtssituatie van de in het begin aanwezige 120 mol, dus er is 30 mol H_2 omgezet. Uit de molverhouding: $1 \text{ mol } N_2 \hat{=} 3 \text{ mol } H_2 \hat{=} 2 \text{ mol } NH_3$ volgt voor de omgezette en gevormde hoeveelheden: $30 \text{ mol } H_2 \hat{=} 10 \text{ mol } N_2 \hat{=} 20 \text{ mol } NH_3$.
In tabelvorm:

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

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

- 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).



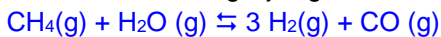
Bij kamertemperatuur ligt het evenwicht vrijwel geheel aan de kant van ammoniak. Bij hogere temperatuur is in het evenwichtsmengsel minder ammoniak aanwezig. Toch werkt men bij de ammoniakfabricage met temperaturen tussen 400 °C en 500 °C.

- 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.
- 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 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 koolstofmonoxide. De reactie naar rechts is endotherm.

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



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

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:

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

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

- 3 Er wordt extra stoom in het reactievat gebracht.

$$= K$$

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

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

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

Opgave 4 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.

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

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 $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$ 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.

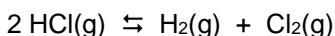
Door verdunning met water worden alle concentraties in dezelfde mate kleiner. Hierdoor wordt de teller van de concentratiebreuk kleiner dan de noemer; de concentratiebreuk wordt zodoende kleiner dan de evenwichtsconstante. Er moet meer $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$ en $[\text{H}_3\text{O}^+]$ en minder $[\text{CH}_3\text{COOH}]$ 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 5 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).

Als er geen verandering meer optreedt, is alle HCl omgezet in H_2 en Cl_2 . Na onttrekken van Cl_2 is er dus nog alleen H_2 over.

Men brengt een hoeveelheid HCl(g) en Cl_2 (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? .

Er ontstaat meer Cl_2 , omdat in het evenwicht alle stoffen die bij de reactie betrokken zijn aanwezig zijn. Er is in het begin geen H_2 . Om dit te krijgen zal HCl moeten ontleden. Hierbij ontstaan H_2 en in dezelfde molverhouding Cl_2 .

Op het moment van evenwicht blijkt er 2,38 gram chloor aanwezig te zijn in het reactievat, dat een inhoud heeft van $0,45 \text{ dm}^3$.

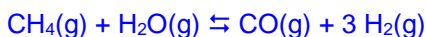
- 3 Bereken de concentratie van waterstofchloride in het vat.

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

Opgave 6 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 $900 \text{ }^\circ\text{C}$. 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 m^3 . In de evenwichtssituatie is er nog 0,40 mol methaan over.

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

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

situatie	$[\text{CH}_4]$	$[\text{H}_2\text{O}]$	$[\text{H}_2]$	$[\text{CO}]$
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.

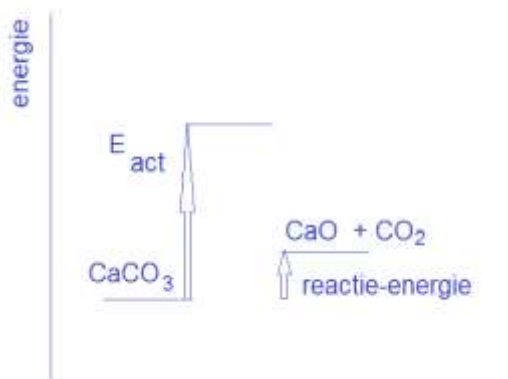
- 5 Beredeneer hoe de concentraties van de andere stoffen veranderen bij temperatuurverhoging.

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 7 Ongebluste kalk

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

- Schrijf de vergelijking voor deze evenwichtsreactie op.
 $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$
- Leg uit of de ontleding endotherm of exotherm is.
De kalksteen ontleedt bij verhitting, dus de ontleding is endotherm.
- Geef de ontleding van calciumcarbonaat weer in een energiediagram en schets hierin ook de activiteitsenergie.

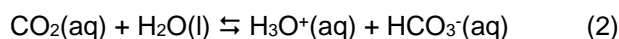


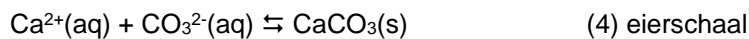
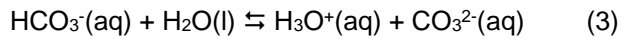
- Schrijf de concentratiebreuk voor dit evenwicht op.
 $K_c = [\text{CO}_2(\text{g})]$
- Schrijf ook de partiële-drukbreuk voor dit evenwicht op en leg uit of de partiële-drukbreuk een andere waarde heeft dan de concentratiebreuk.
 $K_p = (p\text{CO}_2)$
 $K_p \neq K_c$, want de partiële druk is wel 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.
- Leg met behulp van de evenwichtsvoorwaarde uit welke reactie in het voordeel is in elk van de volgende situaties:
 - 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.
 - 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.
- 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 8 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.



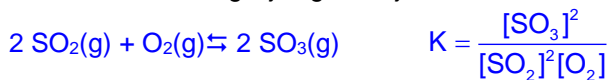


- Leg met behulp van deze evenwichten uit dat bij warmer weer de eierschaal dunner wordt.
Bij warmer weer is $[\text{CO}_2(\text{aq})]$ in reactie (1) en, als gevolg daarvan, in reactie (2) kleiner dan bij koud weer. Uit K_2 volgt dan dat $[\text{HCO}_3^-(\text{aq})]$ kleiner is dan bij warm weer en 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)
- 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 9 Reactie van zwaveldioxide met zuurstof

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

- Geef de reactievergelijking die bij dit evenwicht hoort.

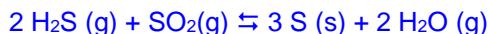


- Geef aan hoe het evenwicht en hoe de concentratie van zuurstof zal veranderen als in een afgesloten ruimte bij constante druk te temperatuur van het evenwichtsmengsel wordt verhoogd.
Bij toevoeren van energie is tijdelijk de endotherme reactie in het voordeel. De reactie naar links is dus tijdelijk in het voordeel. Hierdoor ontstaat meer O_2 , dus neemt $[\text{O}_2]$ toe.
- 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.
- 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 10 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.

- Geef het evenwicht weer in een reactievergelijking.



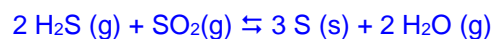
- Geef de evenwichtsvoorwaarde voor dit evenwicht.

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

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.

- 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 hoger temperatuur meer $\text{H}_2\text{S}(\text{g})$ aanwezig.