

## Extra oefenopgaven H4

[rekenen met: vormingswarmte, reactiewarmte, rendement, reactiesnelheid, botsende-deeltjesmodel]

Gebruik bij deze opdrachten BINAS-tabellen 8 t/m 12 / 38A / 56 / 57.

### Rekenen met vormingswarmte en reactiewarmte

Bij reacties met constante druk wordt nauwelijks arbeid verricht. De reactiewarmte ( $Q_p$ ) die dan ontstaat, wordt **enthalpieverandering**  $\Delta H$  genoemd. Omdat de verrichte arbeid bij constante druk heel klein is, is de enthalpieverandering dan nagenoeg gelijk aan de verandering in chemische energie  $\Delta E$ .

De **wet van Hess** zegt dat de totale enthalpieverandering ( $\Delta H$ ) of reactiewarmte van een reactie gelijk is aan de som van de enthalpieveranderingen (= reactiewarmten) van deeltstappen in die reactie. Je neemt voor de deeltstappen de vormingsreacties onder standaardomstandigheden:

$$\Delta H_r^0 = \Delta H_f^0 \text{ producten} - \Delta H_f^0 \text{ beginstoffen}$$

Hierin is:

- $\Delta H_r^0$  de enthalpieverandering van de reactie onder standaardomstandigheden ofwel reactiewarmte in joule per mol ( $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$ );
- $\Delta H_f^0$  de vormingsenthalpie onder standaardomstandigheden ofwel vormingswarmte in joule per mol ( $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$ ).

In BINAS 56 en 57 staan de vormings- en verbrandingswarmten gegeven onder standaardomstandigheden. **Standaardomstandigheden** betekent dat de temperatuur voor en na de reactie 298 K is, dat  $p = p_0$  (de druk is gelijk aan de heersende luchtdruk) en dat de stoffen bij die temperatuur en druk in de meest stabiele fase zijn.

Je kunt alleen enthalpieveranderingen berekenen, niet de enthalpie van de stoffen zijn. Dat betekent dat verbrandings- en vormingswarmten relatieve waarden zijn. Als uitgangspunt zijn de elementen gekozen. Deze hebben per definitie enthalpie nul. De **vormingswarmte** of **vormingsenthalpie**  $\Delta H_f^0$  is de hoeveelheid warmte die vrijkomt of nodig is voor de vorming van 1 mol stof uit de elementen (298 K;  $p = p_0$ ). Bij elementen moet je denken aan ijzer,  $\text{Fe}(s)$ , zuurstof,  $\text{O}_2(g)$  en koolstof,  $\text{C}(s)$ . Bij koolstof is grafiet gekozen als element. bij een reactie met een negatieve vormingswarmte komt er warmte vrij, bij een positieve vormingswarmte is juist warmte nodig.

1)

- Bereken de verbrandingswarmte van 1,00 mol 2-methylpropan met behulp van de vormingswarmten van 2-methylpropan, water en koolstofdioxide.
- De waarde van de berekende verbrandingswarmte verschilt met de waarde in BINAS. Geef hiervoor een verklaring.
- Leg uit of deze reactie endotherm of exotherm is.
- Teken het bijbehorende energiediagram.

## Rekenen met reactiewarmte

Het principe van een **calorimeter** is dat je de reactiewarmte kunt bepalen aan de hand van een temperatuurverandering van de totale inhoud binnen het geïsoleerde vat. Om deze bepaling met behulp van een calorimeter te kunnen uitvoeren, heb je het begrip **soortelijke warmte**  $c_p$  nodig. Dit is de hoeveelheid joule die nodig is om 1 kg van een stof 1 K in temperatuur te doen stijgen. Omdat je meet bij constante druk gebruik je het symbool  $c_p$ . Je moet dan de volgende formule gebruiken:

$$Q = c_p \cdot m \cdot \Delta T$$

Hierin is:

- $Q$  de opgenomen of afgestane warmte in joule (J);
- $c_p$  de soortelijke warmte van de gemeten vloeistof in joule per kilogram per Kelvin ( $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ );
- $m$  de massa van de stof in kilogram (kg);
- $\Delta T$  de temperatuurverandering van de gemeten vloeistof in Kelvin (K).

Met behulp van deze formule kun je de reactiewarmte van een reactie die in water plaatsvindt eenvoudig bepalen. Vaak zijn de temperaturen in graden Celsius gegeven. Je kunt deze direct gebruiken om de  $\Delta T$  te berekenen, omdat  $\Delta K$  en  $\Delta^\circ\text{C}$  hetzelfde zijn.

- 2) In een experiment met een calorimeter waarin onder atmosferische druk een chemisch proces plaatsvindt, wordt een temperatuurstijging gemeten.
  - a) Is dit proces exotherm of endotherm? Licht je antwoord toe.
  - b) Is de chemische energie van de stoffen in de reactie afgenomen of toegenomen? Licht je antwoord toe.
- 3) Sander wil 550 g water 5,0 K in temperatuur laten stijgen. Hoeveel joule aan warmte-energie heeft hij daarvoor nodig?
- 4) Shirine mengt 13,5 g ammoniumchloride ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) met 150,0 g water met  $T_{\text{begin}} = 29,8^\circ\text{C}$ . Shirine roert de oplossing totdat alle  $\text{NH}_4\text{Cl}$  is opgelost. Gedurende het hele proces is de  $c_p = 4,20 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  en uiteindelijk meet Shirine  $T_{\text{eind}} = 27,6^\circ\text{C}$ .
  - a) Geef de reactievergelijking voor het oplossen van  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .
  - b) Is dit een endotherm of exotherm proces? Licht je antwoord toe aan de hand van de meetresultaten.
  - c) Bereken de reactiewarmte van dit proces in joule per mol.

### Rekenen met rendement

Energie kan niet verloren gaan, maar wel worden omgezet in een andere vorm. Bij constante druk wordt nagenoeg alle chemische energie omgezet in warmte, zeker als de reactie in een vloeistof plaatsvindt. Dan kun je stellen dat de chemische energieverandering = warmte, ofwel:  $\Delta E = Q_p$

Deze omzetting is van groot belang voor de energieproductie op aarde. Als je warmte nodig hebt uit een chemisch proces, wil je het liefst dat alle chemische energie wordt omgezet in bruikbare warmte. Als een verwarmingsketel dit zou kunnen, zeg je dat het rendement 100% is. Rendement van een systeem is het percentage nuttig gebruikte energie van de totale toegevoerde energie dat dit systeem kan produceren.

$$\text{rendement} = \frac{\text{nuttig gebruikte energie}}{\text{toegevoerde energie}} \cdot 100\%$$

Een rendement van 100 % is nooit haalbaar omdat er altijd warmte verloren gaat. Deze warmte kan dus niet nuttig gebruikt worden. De nieuwste hoogrendementsketels (HR-cv-ketels) kunnen een rendement van 90 tot 95 procent halen.

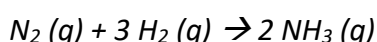
- 5) Een cv-ketel verbruikt 25 MJ aan chemische energie om een hoeveelheid van 175 liter badwater te verwarmen van 12 °C naar 37 °C. De soortelijke warmte van het badwater is  $4,18 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ , de dichtheid is  $0,998 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$ . Bereken het rendement van deze cv-ketel in dit proces.

### Rekenen met reactiesnelheid

Stel dat in een reactie stof A wordt geproduceerd en dat op het begintijdstip  $t_{\text{begin}}$  stof A een beginconcentratie  $[A]_{\text{begin}}$  heeft. Na de reactie blijkt op tijdstip  $t_{\text{eind}}$  de eindconcentratie  $[A]_{\text{eind}}$  te zijn. Het zal duidelijk zijn dat hoe meer A er in die periode is gevormd, hoe hoger de reactiesnelheid is. De **gemiddelde reactiesnelheid**  $s$  van een chemische reactie is de verandering in concentratie van een stof A in mol per liter in een bepaalde tijdsperiode. De eenheid van de reactiesnelheid is mol per liter per seconde ( $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )

$$s = \frac{[A]_{\text{eind}} - [A]_{\text{begin}}}{t_{\text{eind}} - t_{\text{begin}}} = \frac{\Delta[A]}{\Delta t} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

In iedere reactie verdwijnen beginstoffen en worden producten gevormd. Vaak worden de beginstoffen met verschillende snelheden afgebroken, afhankelijk van hun coëfficiënt in de reactievergelijking. Ook producten kunnen met verschillende snelheid worden gevormd afhankelijk van hun coëfficiënten in de reactievergelijking. Bijvoorbeeld:



Het mag niet uitmaken met welke stof in de reactie de reactiesnelheid wordt bepaald. Er is daarom het volgende afgesproken:

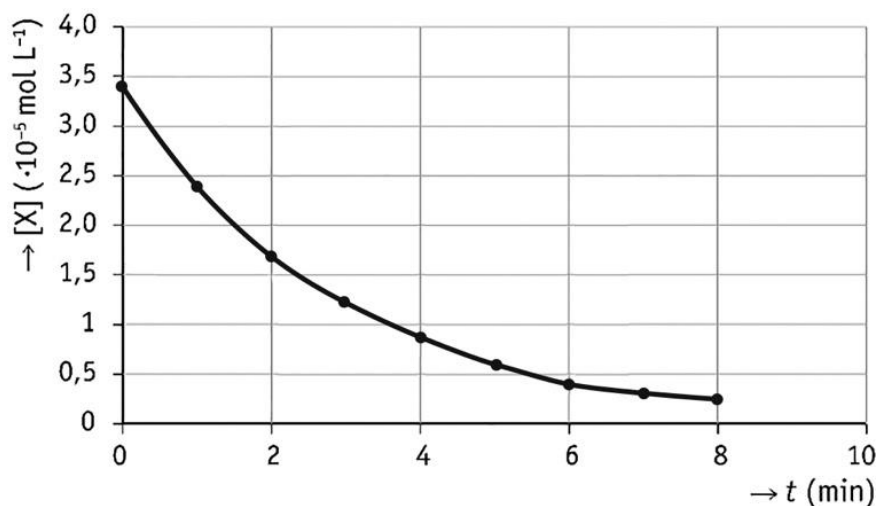
- Als de snelheid van een reactie wordt bepaald met behulp van de afname van de beginstoffen, wordt de gemeten snelheid positief gemaakt met een minteken.
- De berekende snelheid wordt gedeeld door de coëfficiënten van de gemeten stof in de reactie.

$$s = -\frac{1}{1} \cdot \frac{\Delta[N_2]}{\Delta t} = -\frac{1}{3} \cdot \frac{\Delta[H_2]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta[NH_3]}{\Delta t}$$

Je kunt ook de **momentane snelheid** van een reactie op een bepaald punt in een concentratiecurve bepalen. Als je uitgaat van de concentratiecurven kun je de reactiesnelheid in ieder punt van de grafiek bepalen door in dat punt een **raaklijn** te tekenen aan de concentratiecurve.

Teken de raaklijn zodanig lang dat je de getallen nauwkeurig kunt aflezen op de x- en y-as. Uit de as-afsnede kun je de  $\Delta[A]$  bepalen. Doe hetzelfde voor de tijd  $t$ , dan krijg je de  $\Delta t$ -waarde. Deel de  $\Delta[A]$  door  $\Delta t$ , let op de eenheden op de x- en y-as en reken zo nodig om naar mol per liter per seconde. Let dan ook op of je nog moet delen door de coëfficiënt van de reactie waar A deel van uitmaakt. Als je dat allemaal gedaan hebt, krijg je de snelheid van de reactie in het punt waar je de raaklijn hebt getekend.

- 6) In een vat van 1,0 L wordt op tijdstip  $t_{\text{begin}} = 0$  s 0,30 mol.L<sup>-1</sup> N<sub>2</sub> gemengd met 0,80 mol.L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>. Bij  $t_{\text{begin}}$  is  $[NH_3] = 0,0$  mol.L<sup>-1</sup>. Het volume in de reactie blijft constant. Op  $t_{\text{eind}} = 30$  s is er 0,40 mol NH<sub>3</sub> gevormd.
- Bereken de gemiddelde reactiesnelheid tijdens deze reactie.
  - Teken een grafiek waarin je de concentraties uitzet tegen de tijd (0 – 30 seconden).
- 7) In de grafiek hieronder is de concentratieafname van stof X te zien tijdens een reactie.
- Bereken de gemiddelde reactiesnelheid gedurende de eerste drie minuten.
  - Bereken de gemiddelde reactiesnelheid gedurende de zesde minuut (tussen  $t = 5,0$  min en  $t = 6,0$  min).
  - Bepaal grafisch de snelheid van de reactie op tijdstip  $t = 4,0$  min.
  - Bepaal grafisch de beginsnelheid van de reactie.



## Botsende-deeltjesmodel

Een botsing tussen deeltjes in een reactie is effectief als:

- de uitgangsstoffen in de gelegenheid zijn tegen elkaar te botsen;
- de totale energie van de uitgangsstoffen voldoende hoog is;
- de ruimtelijke oriëntatie van de deeltjes tijdens de botsing zodanig is dat de juiste atomen tegen elkaar botsen.

Het aantal effectieve botsingen kan worden vergroot door de temperatuur en de concentratie van stoffen in homogene mengsels te vergroten of een katalysator toe te voegen. In heterogene mengsels kan de verdelingsgraad, de concentratie, de temperatuur of het gebruik van een heterogene katalysator de reactiesnelheid vergroten.

Een **katalysator** is een stof die de reactiesnelheid kan verhogen zonder zelf tijdens de reactie te worden verbruikt. Een katalysator verhoogt de reactiesnelheid door de kans op effectieve botsingen te vergroten door het verlagen van de benodigde activeringsenergie. Er zijn homogene en heterogene katalysatoren.

- 8) Als je koffiemelkpoeder op een hoopje legt, lukt het je niet het poeder met een lucifer of zelfs een brander aan te steken. Als je dit poeder verstrooit door de vlam van een brandende brander, krijg je een steekvlam! Geef hiervoor een verklaring.
- 9) Van een evenwichtsreactie heeft de reactie naar rechts een reactiewarmte van  $100 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ . De activeringsenergie voor deze reactie is  $140 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ . Hoe groot is de activeringsenergie voor de reactie naar links?
- A)  $40 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$   
B)  $100 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$   
C)  $140 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$   
D)  $240 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$
- 10) Geef in onderstaand energiediagram met een stippellijn aan wat voor invloed het gebruik van een katalysator op deze exotherme reactie kan hebben.

