

# 4 Energie en chemie in beweging

## Praktijk Zonder katalyse geen welvaart

### vragen

- 1 De chemische energie is voor 80% afhankelijk van katalyse.  
Een katalysator zorgt ervoor dat een apparaat of machine minder energie verbruikt.  
Katalyse kan een oplossing zijn voor onze toekomstige energievoorziening.
- 2 Hij nam waar dat een zetmeeloplossing na verhitting niet werd omgezet in een glucose-oplossing, maar dat dat wel gebeurde als er zuur aan werd toegevoegd dat in de reactie niet werd verbruikt.
- 3 De ontdekking dat fijnverdeeld platina de reactie tussen waterstofgas en zuurstofgas kon versnellen.
- 4 Omdat het proces leek op gist dat zonder zelf verbruikt te worden toch suiker kon omzetten in alcohol.
- 5 
$$\text{Zn(s)} + 2\text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{H}_2(\text{g})$$
- 6 
$$2\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$$
- 7 Hij vond de wetenschap belangrijker dan geld.
- 8 Via contacten met de Russische tsarina Catharina de Grote, uit het Oeral-gebergte.
- 9 De juiste katalysator verlaagt de activeringsenergie.
- 10 Meestal kan een katalysator de reagerende stoffen binden, zodat de kans op een botsing die leidt tot een reactie, groter wordt.
- 11 stap 1 → stap 2: binden  $\text{H}_2$  en  $\text{N}_2$  aan de katalysator  
stap 2 → stap 3:  $\text{N}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{N}_2\text{H}_2$   
stap 3 → stap 4:  $\text{N}_2\text{H}_2 \rightarrow 2\text{NH}_2$   
stap 4 → stap 5:  $2\text{NH}_2 + \text{H}_2 \rightarrow 2\text{NH}_3$   
stap 5: loslaten van 2  $\text{NH}_3$ -moleculen van de katalysator
- 12 stap 1:  $\text{H}_2$  en  $\text{C}_2\text{H}_4$  binden aan de katalysator.  
stap 1 → stap 2: eerste H reageert met  $\text{C}_2\text{H}_4$ :  $\text{H} + \text{C}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5$ .  $\text{C}_2\text{H}_5$  laat aan één kant los.  
stap 2 → stap 3: tweede H reageert met  $\text{C}_2\text{H}_5$ :  $\text{H} + \text{C}_2\text{H}_5 \rightarrow \text{C}_2\text{H}_6$ .  $\text{C}_2\text{H}_6$  laat nu helemaal los.
- 13 
$$\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{CO}_2(\text{aq}) \rightarrow \text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}^+(\text{aq})$$
- 14 
$$\text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}^+(\text{aq}) \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{CO}_2(\text{aq})$$

- 15
- 1  $2 \text{CO(g)} + 2 \text{NO(g)} \rightarrow \text{N}_2\text{(g)} + 2 \text{CO}_2\text{(g)}$
  - 2  $2 \text{CO(g)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightarrow 2 \text{CO}_2\text{(g)}$
  - 3  $4 \text{C}_x\text{H}_y\text{(g)} + (4x+y) \text{O}_2\text{(g)} \rightarrow 2y \text{H}_2\text{O(g)} + 4x \text{CO}_2\text{(g)}$
- 16 Het aantal joule dat een stof per gewichtseenheid kan produceren. De eenheid van energiedichtheid is MJ kg<sup>-1</sup>.
- 17 Omdat het volledig schoon verbrandt en een hoge energiedichtheid heeft.
- 18  $2 \text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow 4 \text{H}^+\text{(aq)} + \text{O}_2\text{(g)} + 4\text{e}^-$
- 19 de kobalt-oxygen evolving catalyst of Co-OEC-katalysator
- 20 de NiMoZn-legering
- 21 De H<sup>+</sup>-ionen moeten van de Co-OEC katalysator via het water naar de NiMoZn katalysator worden getransporteerd.

### onderzoeksoopdracht

- 22 ter beoordeling van de docent

## Praktijk De brandstofcel

### vragen

- 1 Energie in een batterij raakt een keer op. Een brandstofcel blijft doorgaan mits je brandstof toevoert. Brandstofcel kan geen energie opslaan, dus moet je de brandstof in een tank meenemen. Een batterij kan de energie zelf opslaan.
- 2 In een automotor heb je een hele hoge temperatuur en reageren brandstof en zuurstof rechtstreeks met elkaar. In een brandstofcel heb je veel lagere temperaturen en reageren brandstof en zuurstof op afstand met elkaar. Verder heeft een brandstofcel een veel hoger rendement. Ook heeft een brandstofcel geen zware mechanische delen waardoor er geen geluid wordt geproduceerd en veel lichter is.
- 3 Zuurstof is vloeibaar bij 54 K tot en met 90 K, ofwel -219 °C tot en met -183 °C.
- 4 minder elektrische energie voor de apparatuur aan boord, minder zuurstof voor de bemanning, minder zuurstof om de raketten aan te drijven
- 5 Het kookpunt is erg laag (-250 °C) dus is het relatief duur om het vloeibaar te maken. Verder is de energiedichtheid per liter 3× zo laag als iso-octaan, dus moet je 3× zoveel liter meenemen voor dezelfde hoeveelheid energie.
- 6  $60 \text{ L} \cdot -33,3 \text{ MJ L}^{-1} / -10,07 \text{ MJ L}^{-1} = 2,0 \cdot 10^2 \text{ L}$
- 7  $60 \text{ L} \cdot 0,692 \text{ kg L}^{-1} = 42 \text{ kg}$  en  $200 \text{ L} \cdot 0,071 \text{ kg L}^{-1} = 14,2 \text{ kg}$
- 8  $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3 \text{H}_2$

- 9  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$
- 10  $\text{C}_2\text{H}_4 + 4 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CO}_2 + 6 \text{H}_2$
- 11 De vaste oxide brandstofcel heeft  $\text{O}^{2-}$ -deeltjes als elektrolyt en geeft dus  $\text{O}^{2-}$ -deeltjes door van de ene elektrode naar de andere elektrode. Dit betekent dat allerlei stoffen kunnen worden geoxideerd.
- 12 Tussen de elektroden zit gesmolten natriumcarbonaat. De carbonaationen in dit zout kunnen bij hoge temperatuur reageren met waterstof en/of met koolstofmono-oxide, waarbij in beide gevallen elektriciteit wordt opgewekt.
- 13  $2 \text{CH}_3\text{OH} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2$   
 $6 \text{H}_2 + 3 \text{O}_2 \rightarrow 6 \text{H}_2\text{O}$   
 -----  
 totaal:  $2 \text{CH}_3\text{OH} + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 4 \text{H}_2\text{O}$
- 14 In een brandstofcel reageren waterstof en zuurstof met elkaar waarbij een elektrische stroom ontstaat die de elektromotor aandrijft. Water is het enige dat uitgestoten wordt. Het voordeel ten opzichte van elektrische auto's is dat het tanken van waterstof veel minder tijd kost dan het opladen van de accu's in een elektrische auto. In Nederland: is nog niet bekend wanneer.

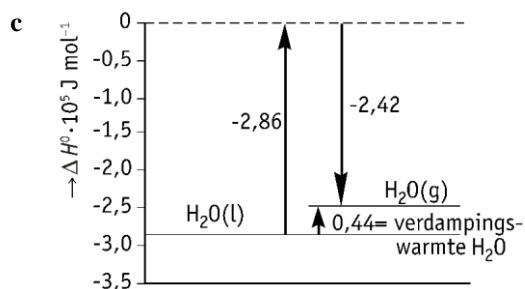
### onderzoeksopdracht

- 15 a proefopzet met doel, hypothese, werkwijze en benodigdheden  
 b afhankelijk van proefopzet  
 c verslagindeling: namen + datum, titel proef, hypothese, werkwijze + benodigdheden, waarnemingen + meetresultaten, verwerking meetresultaten

# Theorie

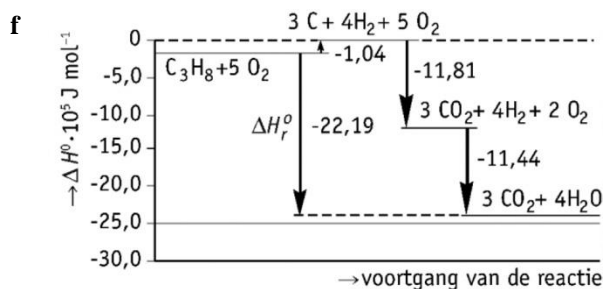
## 1 Reacties en energie

- 1 lichtenergie en geluidsenergie
- 2 Dat komt omdat er bij constante druk heel weinig arbeid wordt verricht.
- 3 Het is makkelijker om de reactiewarmte te meten bij constante (atmosferische) druk dan bij constant volume.
- 4 De wet van Hess stelt dat je op allerlei manieren van een beginsituatie via verschillende routes naar dezelfde eindsituatie kunt komen. Omdat er geen energie verloren gaat, maakt het voor de berekening van de reactiewarmte niet uit hoe je in die eindsituatie komt.
- 5
  - a  $3\text{C(s)} + 4\text{H}_2\text{(g)} \rightarrow \text{C}_3\text{H}_8\text{(g)}$
  - b C(s) en H<sub>2</sub>(g) zijn elementen en hebben dus vormingswarmten 0. C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>(g) heeft een vormingswarmte van  $-1,04\text{ J mol}^{-1}$ .
  - c grafiet
- 6
  - a  $\text{H}_2\text{O(l)} \rightarrow \text{H}_2\text{O(g)}$
  - b vormingswarmte H<sub>2</sub>O(g) – vormingswarmte H<sub>2</sub>O(l) =  $-2,42 \cdot 10^5\text{ J mol}^{-1} - (-2,86 \cdot 10^5\text{ J mol}^{-1}) = 0,44 \cdot 10^5\text{ J mol}^{-1}$ .



- d Het antwoord van b heeft een positief teken, dus moet er warmte worden toegevoegd. Verdamping is dus een endotherm proces.
- 7
  - a  $\text{C}_3\text{H}_8\text{(g)} + 5\text{O}_2\text{(g)} \rightarrow 3\text{CO}_2\text{(g)} + 4\text{H}_2\text{O(l)}$
  - b antwoord b: zie tabel bij (e), derde kolom
  - c antwoord c: zie tabel bij (e), onderaan derde kolom:  $\text{C}_3\text{H}_8 + 5\text{O}_2 \rightarrow 3\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$ . Klopt: het is dezelfde reactie.
  - d antwoord d: zie tabel bij (e), vierde en vijfde kolom.
  - e reactiewarmte = totale vormingswarmte reactieproducten – totale vormingswarmte uitgangsstoffen =  $-11,805 \cdot 10^5\text{ J mol}^{-1} - 11,44 \cdot 10^5\text{ J mol}^{-1} - (-1,04 \cdot 10^5\text{ J mol}^{-1}) = 22,19 \cdot 10^5\text{ J mol}^{-1}$ .  
Antwoord e: zie tabel (bij e). Klopt: komt overeen met de waarde in Binas tabel 56.

deel-stap	omschrijving	deelreacties (b) en totaalreactie (c)	reactie-coëfficiënt (b)	$n\Delta H_f^0$ in $10^5 \text{ J mol}^{-1}$ (d) $\Delta H_r^0$ in $10^5 \text{ J mol}^{-1}$ (e)
1	ontleding $\text{C}_3\text{H}_8$	$\text{C}_3\text{H}_8(\text{g}) \rightarrow 3\text{C}(\text{s}) + 4\text{H}_2(\text{g})$	1	$1 \cdot -1,04$
2	ontleding $\text{O}_2$	$\text{O}_2$ is al een element	5	$5 \cdot 0$
3	vorming $\text{CO}_2$	$3\text{C}(\text{g}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 3\text{CO}_2(\text{g})$	3	$3 \cdot -3,935 = -11,81$
4	vorming $\text{H}_2\text{O}$	$4\text{H}_2(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 4\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	4	$4 \cdot -2,86 = -11,44$
	totaalreactie	$\text{C}_3\text{H}_8 + 5\text{O}_2 \rightarrow 3\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$		$\Delta H_r^0 = -11,81 - 11,44 - (-1,04) = -22,2$



- 8 a Sacharose met molecuulformule  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$  heeft een molaire massa van  $342,3 \text{ g mol}^{-1}$ .  
 $58,0 \text{ g sacharose} = 58,0 \text{ g} / 342,3 \text{ g mol}^{-1} = 1,69 \cdot 10^{-1} \text{ mol sacharose}$ .  
 1 mol sacharose heeft een verbrandingswarmte van  $-56,47 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ .  $1,69 \cdot 10^{-1} \text{ mol sacharose}$  heeft dus een verbrandingswarmte van  $1,69 \cdot 10^{-1} \text{ mol} \cdot -56,47 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1} = 9,6 \cdot 10^5 \text{ J} = 9,6 \cdot 10^2 \text{ kJ}$ .  
 b Mogelijke verklaringen voor een iets lagere energiewaarde kunnen zijn:  
 Verbrandingen verlopen nooit helemaal volledig.  
 De koolhydraten en suikers bestaan kennelijk niet volledig uit sacharose.  
 Er zitten ook nog andere stoffen in de energiedrank die bijdragen aan de totale energiewaarde.
- c  $1 \text{ Cal} = 4,184 \text{ J}$  dus  $1 \text{ kcal} = 1 \text{ Cal} = 4,184 \cdot 10^3 \text{ J}$
- d  $1 \text{ Cal} = 4,184 \cdot 10^3 \text{ J}$ , dus  $850 \text{ kJ} = 850 \text{ kJ} / 4,184 \text{ kJ Cal}^{-1} = 203 \text{ Cal}$
- e  $250 \text{ g} / 100 \text{ g} \cdot 15 \text{ minuten} = 37,5 \text{ minuten}$
- +9 a stookwaarde propaan =  $93,8 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3}$ . Molair volume bij  $273 \text{ K}$  en  $p=p_0 = 2,241 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$  dus reactiewarmte propaan =  $93,8 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3} \cdot 2,241 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1} = 21,02 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ .  
 b In Binas tabel 28B staat dat het geproduceerde water als waterdamp vrijkomt. Zoals je in een eerdere vraag hebt gezien, kost de verdamping van 1 mol water  $0,44 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ . Omdat er bij de verbranding van 1 mol propaan 4 mol water vrijkomt, betekent dit dat er  $4 \cdot 0,44 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1} = 1,76 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$  aan warmte verbruikt wordt voor de verdamping van water. Omgerekend zou de berekening van de verbrandingswarmte van propaan uit de stookwaarden dus  $21,02 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1} + 1,76 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1} = 22,78 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$  zijn. Deze waarde klopt beter. Ook is de temperatuur in Binas tabel 56 anders ( $298 \text{ K}$ ) dan in Binas tabel 28B ( $273 \text{ K}$ ).
- +10 a reactievergelijking is:  $6\text{CO}_2(\text{g}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s}) + 6\text{O}_2(\text{g})$   
 b Omdat deze reactie omgekeerd is aan de verbranding van glucose, is de reactiewarmte = negatieve verbrandingswarmte =  $+28,16 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1} = \Delta H_r^0$ .  
 $-\Delta H_r^0 = \sum n\Delta H_f^0 \text{ producten} - \sum n\Delta H_f^0 \text{ uitgangsstoffen} = (\text{vormingswarmte 1 mol glucose} + \text{vormingswarmte 6 mol O}_2) - (\text{vormingswarmte 6 mol CO}_2 + \text{vormingswarmte 6 mol H}_2\text{O})$   
 $-\Delta H_r^0 = 28,16 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1} = (\times \text{ J mol}^{-1} + 6 \cdot 0 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}) - (6 \cdot -3,935 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1} + 6 \cdot -2,86 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1})$  dus  
 $-\times \text{ J mol}^{-1} = (0 + 6 \cdot -3,935 + 6 \cdot -2,86 + 28,16) \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$  dus  
 $-\times = -12,61 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ , dus de vormingswarmte van glucose =  $-12,61 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1} = -1,261 \text{ MJ mol}^{-1}$

## 2 Reactiewarmte en rendement meten

- 11 a De temperatuur in de calorimeter is toegenomen, dus de reagerende stoffen hebben warmte afgestaan. Het is dus een exotherm proces.  
 b De stoffen hebben warmte afgestaan, dus hun chemische energie is afgenomen.  
 c In molaire enthalpieverandering of molaire reactiewarmte, omdat er bij constante druk wordt gemeten.  
 d  $\text{J mol}^{-1}$

- 12 De waterstofbruggen tussen de watermoleculen zijn relatief sterk en talrijk. Daardoor is relatief veel energie nodig om ze te verbreken en water te laten verdampen.

- 13 a In het mengsel is aanwezig:  $2,06 \cdot 10^{-2} \text{ mol Mg(s)}$  en  $100,0 \cdot 10^{-3} \text{ L} \cdot 1,00 \text{ mol L}^{-1} = 1,00 \cdot 10^{-1} \text{ mol H}^+$ -ionen. Mg(s) en  $\text{H}^+$ -ionen zijn aanwezig in een verhouding van  $2,06 \cdot 10^{-2} : 1,00 \cdot 10^{-1} = 1 : 4,85$ . In de reactievergelijking reageert Mg(s) en  $\text{H}^+$  in een verhouding van 1:2. De  $\text{H}^+$ -ionen zijn dus in overmaat aanwezig.

b massa van de oplossing  $m = \text{massa zoutzuur} + \text{toegevoegde Mg(s)} = 100,0 \text{ mL} \cdot 1,05 \text{ g mL}^{-1} + 0,500 \text{ g} = 105,5 \text{ g}$

c  $45,0 \text{ }^\circ\text{C} - 22,4 \text{ }^\circ\text{C} = 22,6 \text{ }^\circ\text{C}$ . Dit is ook  $\Delta T$  in Kelvin.

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

$$= 4,20 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 105,5 \text{ g} \cdot 10^{-3} \text{ kg g}^{-1} \cdot 22,6 \text{ K}$$

$$= 1,00 \cdot 10^4 \text{ J}$$

$$\text{d } 0,500 \text{ g Mg} = \frac{0,500 \text{ g}}{24,31 \text{ g mol}^{-1}} = 2,06 \cdot 10^{-2} \text{ mol Mg(s)}$$

Bij de reactie van 1 mol Mg(s) komt dus vrij:

$$\frac{1,00 \cdot 10^4 \text{ J}}{2,06 \cdot 10^{-2} \text{ mol}} = 4,86 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$$

Omdat het een exotherme reactie is en de stoffen dus chemische energie verliezen, is de reactiewarmte van 1 mol Mg(s):  $-4,86 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$

- 14 a  $\text{NH}_4\text{Cl(s)} \rightarrow \text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq})$   
 b Dit is een endotherm proces, omdat de temperatuur van de oplossing is gedaald.

$$\text{c } 27,6 \text{ }^\circ\text{C} - 29,8 \text{ }^\circ\text{C} = -2,2 \text{ }^\circ\text{C} = \Delta T \text{ (in K)} Q_p = c_p \cdot m \cdot \Delta T$$

$$= 4,20 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 103,5 \text{ g} \cdot 10^{-3} \text{ kg g}^{-1} \cdot 2,2$$

$$= -9,56 \cdot 10^2 \text{ J}$$

$$\text{Er is } \frac{3,5 \text{ g}}{53,49 \text{ g mol}^{-1}} = 6,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol NH}_4\text{Cl opgelost.}$$

$$\text{Dus de reactiewarmte van dit endotherme proces is } \frac{9,56 \cdot 10^2 \text{ J}}{6,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol}} = 1,5 \cdot 10^4 \text{ J mol}^{-1} .$$

- 15 a  $5,0/5,5 \cdot 100\% = 91\%$   
 b De niet nuttig gebruikte energie gaat verloren als warmte.

- 16 a  $\text{CH}_4(\text{g}) + 2 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$

b

– Bij  $T=298 \text{ K}$  en  $p=p_0$  is  $V_m = 2,45 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$ .

– In  $1,0 \text{ m}^3$  methaan zit dus  $\frac{1,0 \text{ m}^3}{2,45 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}} = 40,8 \text{ mol methaan} .$

– 1 mol methaan levert  $8,90 \cdot 10^5$  joule warmte op (Binas tabel 56).

–  $1,0 \text{ m}^3$  methaan levert dus  $40,8 \text{ mol} \times 8,90 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1} = 3,6 \cdot 10^7$  joule warmte op

c Mogelijke antwoorden zijn:

– Het Gronings aardgas is niet helemaal zuiver.

– Het water komt bij de stookwaarde in tabel 28B vrij als waterdamp.

– De omstandigheden waaronder is gemeten zijn niet helemaal vergelijkbaar.

**d** De stookwaarde van Gronings aardgas is  $32 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3}$ , ofwel  $8,9 \text{ kWh m}^{-3}$ .

De totale verbruikte energie van het Groningse aardgas =  $500\,000 \text{ m}^3$  per dag.

$$\text{Dit is } \frac{32 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3} \cdot 500\,000 \text{ m}^3}{3600 \cdot 24 \text{ seconden}} = 185 \cdot 10^6 \text{ J s}^{-1} = 185 \text{ MJ s}^{-1} = 185 \text{ MW}.$$

$$\text{Of: } \frac{8,9 \cdot 10^{-3} \text{ MWh m}^{-3} \cdot 500\,000 \text{ m}^3}{24 \text{ uur}} = 185 \text{ MW}.$$

Het nuttige vermogen is  $90 \text{ MW}$ . Het rendement is dus  $\frac{90 \text{ MW}}{185 \text{ MW}} \cdot 100\% = 49\%$ .

$$\text{e } \frac{51\%}{100\%} \cdot 1,85 \cdot 10^8 \text{ J s}^{-1} = 9,4 \cdot 10^7 \text{ J s}^{-1}$$

**f** –  $Q = c_p \cdot m \cdot \Delta T$  dus  $\Delta T = Q / (c_p \cdot m)$

– Per seconde betekent dit:  $9,4 \cdot 10^7 \text{ J} / (4,18 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 3,0 \cdot 10^3 \text{ kg}) = 7,5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

- 17** De begintemperatuur van de rivier is  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ . De temperatuurstijging is  $7,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , dus de eindtemperatuur =  $15 \text{ }^\circ\text{C} + 7,5 \text{ }^\circ\text{C} = 22,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . De centrale hoeft dus nog niet te worden stilgelegd.

$$1,00 \text{ g mL}^{-1} = 1,00 \text{ kg L}^{-1}$$

De hoeveelheid geleverde warmte per minuut bedraagt:

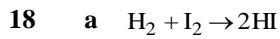
$$= 4,18 \cdot 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1} \cdot 7,5 \text{ L} \cdot 1,00 \text{ kg L}^{-1} (60 - 15)$$

$$= 1,4 \text{ MJ min}^{-1}$$

$$\text{Dit is } \frac{1,4 \text{ MJ min}^{-1}}{60 \text{ s min}^{-1}} = 23,5 \text{ kJ s}^{-1} = 23,5 \text{ kW} = \text{nuttig vermogen}.$$

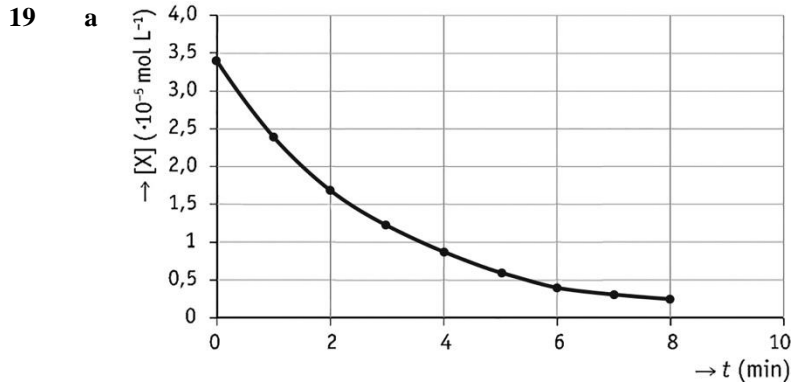
Het rendement is dus  $\frac{23,5 \text{ kW}}{25,5 \text{ kW}} \cdot 100\% = 92\%$ .

## 3 Reactiesnelheid



b  $\Delta[\text{HI}] = \frac{7,0 \text{ mol}}{5,0 \text{ L}} = 1,4 \text{ mol L}^{-1}$

$$s = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta[\text{HI}]}{\Delta t} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1,4 \text{ mol L}^{-1}}{80 \text{ sec}} = 8,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

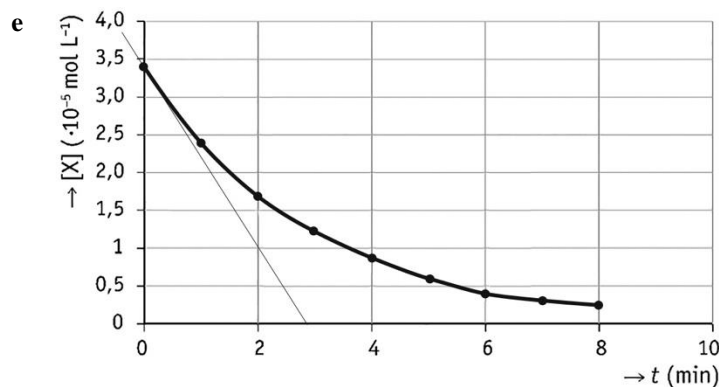


b  $s_1 = -\frac{\Delta[X]}{\Delta t} = -\frac{(1,7 - 3,4) \cdot 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}}{120 \text{ s}} = 1,4 \cdot 10^{-7} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$

c  $s_1 = -\frac{\Delta[X]}{\Delta t} = -\frac{(0,6 - 0,9) \cdot 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}}{60 \text{ sec}} = 5,0 \cdot 10^{-8} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$

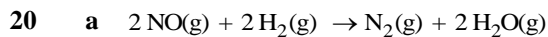
De raaklijn aan de curve in het punt bij  $t = 4,0$  minuten geeft als snelheid

$$s_3 = \frac{(2,0 - 0,0) \cdot 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}}{(6,5 - 0,0) \text{ min}} = \frac{2,0 \cdot 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}}{6,5 \cdot 60 \text{ sec}} = 5,1 \cdot 10^{-8} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

De raaklijn aan de curve in het punt bij  $t = 0$  minuten geeft als snelheid



$$s_3 = \frac{(3,4-0,0) \cdot 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}}{(2,5-0,0) \text{ min}} = \frac{3,4 \cdot 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}}{2,5 \times 60 \text{ sec}} = 2,3 \cdot 10^{-7} \text{ mol L}^{-1} \text{ s}^{-1}$$



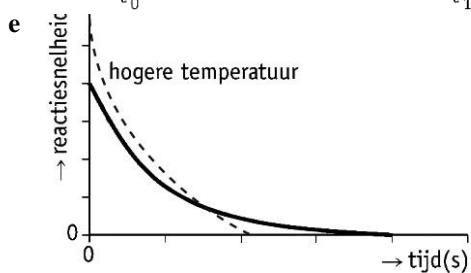
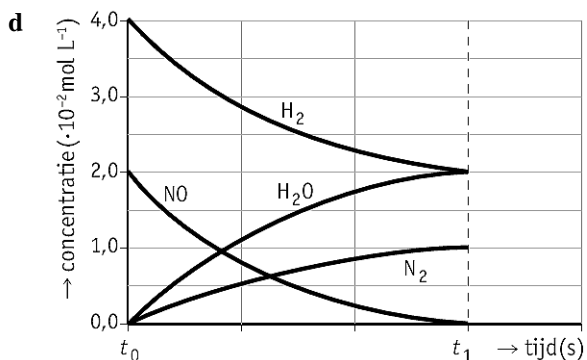
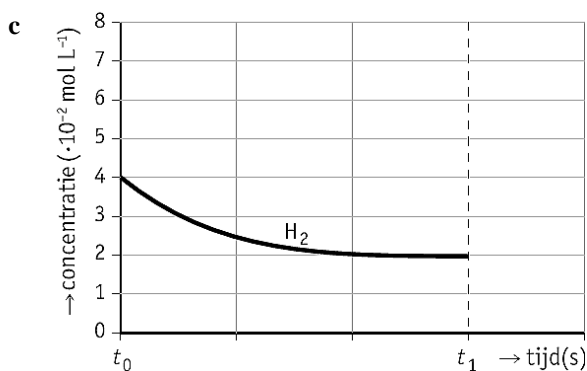
b De beginconcentratie stikstofmono-oxide is:

$$\frac{0,10 \text{ mol}}{5,0 \text{ L}} = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$$

De andere concentratieberekeningen gaan op identieke wijze.

Concentraties in mol L<sup>-1</sup>.

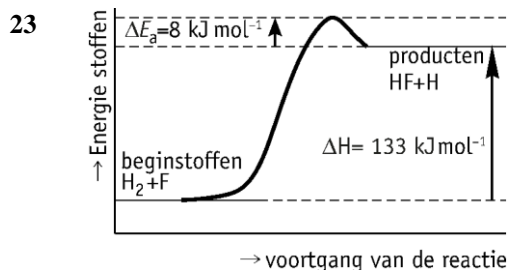
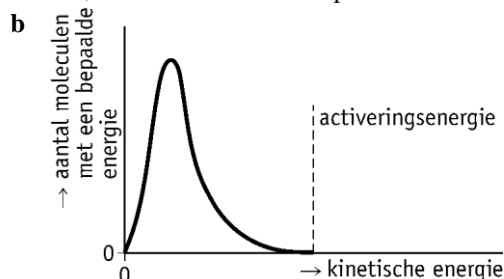
reactie	t (s)	2 NO +	2 H <sub>2</sub> →	N <sub>2</sub> +	2 H <sub>2</sub> O
begin	t <sub>0</sub>	2,0 · 10 <sup>-2</sup>	4,0 · 10 <sup>-2</sup>	0,0	0,0
Δ	t <sub>1</sub> - t <sub>0</sub>	-2,0 · 10 <sup>-2</sup>	-2,0 · 10 <sup>-2</sup>	1,0 · 10 <sup>-2</sup>	2,0 · 10 <sup>-2</sup>
eind	t <sub>1</sub>	0	2,0 · 10 <sup>-2</sup>	1,0 · 10 <sup>-2</sup>	2,0 · 10 <sup>-2</sup>



## 4 Botsende-deeltjesmodel

- 21
- De uitgangsstoffen moeten in de gelegenheid zijn op elkaar te botsen.
  - De totale energie van de uitgangsstoffen moet voldoende hoog is.
  - De ruimtelijke oriëntatie van de deeltjes tijdens de botsing moet zodanig zijn dat de benodigde atomen voor de reactie gemakkelijk overgedragen kunnen worden.

- 22 a 0%, want de reactie verloopt niet.



- 24 In het geval van het fijnverdeelde rhodium is de reactiesnelheid groter, omdat er door de grotere verdelingsgraad meer contactoppervlak is.
- 25
- a Niet juist, reactiesnelheden zijn hoger bij hogere temperaturen, omdat de kinetische of bewegingsenergie van de beginstoffen toeneemt.
- b juist
- c juist
- d Niet juist, reacties zonder en met katalysator kunnen via andere reactiemechanismen verlopen.
- 26
- a Bij iedere 10 K stijging verdubbelt de reactiesnelheid. Bij 20 K stijging wordt de reactiesnelheid dus  $2 \cdot 2 = 4 \times$  hoger. Dus zijn de aardappels bij die temperatuur na  $20/4 = 5$  minuten gaar.
- b  $\frac{170^\circ\text{C}}{10^\circ\text{C}} = 17 \cdot 10^\circ\text{C}$ , dus  $2^{17} \times$  sneller = ongeveer  $130\,000 \times$  sneller.
- 27
- a  $\text{C}_{11}\text{H}_{24}(\text{g}) \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{14}(\text{g}) + \text{C}_5\text{H}_{10}(\text{g})$
- b Dit is heterogene katalyse, omdat de katalysator zich in een andere fase bevindt dan de reagerende stoffen.
- 28 Soms is de energie niet hoog genoeg om de overgangstoestand te bereiken, of de oriëntatie van de beginstoffen is bij een botsing niet goed gericht.
- 29 Er kunnen verschillende factoren meespelen, zoals de verdelingsgraad, de concentratie of de aan- of afwezigheid van een katalysator.
- 30 Een homogene katalysator zit in dezelfde fase als de beginstoffen, zoals jodide-ionen in een oplossing van  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Een heterogene katalysator zit in een andere fase dan de beginstoffen, zoals nikkel in de productie van methanol en de katalysator in de uitlaat van een auto.

- 31 a het hoogste punt bij de eerste activeringsenergiehobbel  
 b het hoogste punt van de tweede activeringsenergiehobbel  
 c Omdat de activeringsenergie in de eerste stap het hoogst is, zal deze stap het langzaamst zijn en dus de totale reactiesnelheid bepalen.
- 32 Naarmate een stof in een heterogeen mengsel een hogere verdelingsgraad heeft, stijgt de reactiesnelheid omdat de kans op effectieve botsingen groter wordt. Als de stof heel fijn verdeeld is, kan het zelfs een explosie geven.
- 33 A: Per mol  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  is de reactiewarmte:  $(-1670 \text{ kJ mol}^{-1} + 2 \cdot 15,4 \text{ kJ mol}^{-1}) - (-822 \text{ kJ mol}^{-1} + 2 \cdot 0) = -817,2 \text{ kJ mol}^{-1}$ . Per 5,00 g  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  is dat  $5,00 \text{ g} / 159,7 \text{ g mol}^{-1} \cdot -817,2 \text{ kJ mol}^{-1} = -25,6 \text{ kJ}$ .
- 34 A: De activeringsenergie van deze endotherme reactie is  $140 \text{ kJ mol}^{-1}$ , waarna de stoffen na de reactie  $100 \text{ kJ mol}^{-1}$  meer energie hebben. Als de reactie de andere kant op gaat, wordt de activeringsenergie dus  $140 \text{ kJ mol}^{-1} - 100 \text{ kJ mol}^{-1} = 40 \text{ kJ mol}^{-1}$ .
- 35 D: vormingswarmte 1 mol NO:  $\frac{1}{2} \text{N}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{NO}(\text{g})$   
 vormingswarmte 1 mol  $\text{N}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{N}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g})$   
 in reactie 2 wordt 1 mol  $\text{N}_2\text{O}(\text{g})$  gevormd uit 2 mol NO(g), dus  
 vormingswarmte 1 mol  $\text{N}_2\text{O}(\text{g}) = \text{reactiewarmte } 2 - 2 \text{ reactiewarmte } 1$ .
- 36 C: concentratieverandering per tijdseenheid.
- 37 a De vormingswarmte van grafiet is 0 en van diamant verwaarloosbaar ten opzichte van de andere stoffen. Dat leidt tot de volgende berekening:  
 Per mol C is de reactiewarmte:  
 $(4 \cdot -4,11 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1} + 0 \text{ J mol}^{-1}) - (-1,28 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1} + 4 \cdot 0) = -15,2 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ .
- b Voorbeelden van goede antwoorden zijn:  
 – Bij een hogere temperatuur bereiken meer moleculen de benodigde activeringsenergie waardoor de reactie sneller zal verlopen.  
 – Deze reactie heeft waarschijnlijk een hoge activeringsenergie waardoor deze bij hogere temperatuur beter verloopt.
- 38 **eindopdracht – PVC**  
 a Voorbeelden van juiste antwoorden zijn:  
 –  $\text{CuO}$  wordt omgezet in reactie 1 en (in dezelfde hoeveelheid) gevormd in reactie 2.  $\text{CuCl}$  wordt gevormd in reactie 1 en (in dezelfde hoeveelheid) omgezet in reactie 2. (Dus de vormingswarmten en ontledingswarmten van deze stoffen vallen tegen elkaar weg.)  
 – De vergelijking van het totale proces is:  $4 \text{HCl} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{Cl}_2$ .  
 –  $\text{CuO}$  en  $\text{CuCl}$  dienen als katalysator bij deze reacties.  
 b De reactievergelijking van het proces is  $4 \text{HCl} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O} + 2 \text{Cl}_2$ . De reactiewarmte is dan:  
 $2 \cdot (-2,42 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}) - 4 \cdot (-0,923 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}) = -1,15 \cdot 10^5 \text{ J}$  per 4 mol HCl.  
 De reactiewarmte is negatief, de reactie is dus exotherm.