

Duurzaamheid

7.1 Fossiele brandstoffen

A 1

- a** Aardgas bestaat voornamelijk uit methaan.
b De verbrandingswarmte van aardgas is de hoeveelheid warmte die vrijkomt bij de verbranding van 1 kg of 1 m³ aardgas.

A 2

- a** Gefractioneerde destillatie, de aardolie wordt gescheiden in een aantal fracties, mengsels van stoffen met een kookpunt binnen bepaalde grenzen.
b Nee, de aanwezige verbindingen in aardolie worden niet ontleed. Destillatie is geen chemische reactie.
c Tijdens het kraken worden van grote moleculen kleinere moleculen gemaakt. Er worden dus atoombindingen verbroken. Het kraken is wel een chemische reactie.
d Bij kraken worden er atoombindingen verbroken om kleinere koolwaterstofmoleculen te maken uit grote koolwaterstofmoleculen. Bij reformen worden de koolwaterstofmoleculen omgezet in andere koolwaterstofmoleculen die niet per se kleiner zijn.

A 3

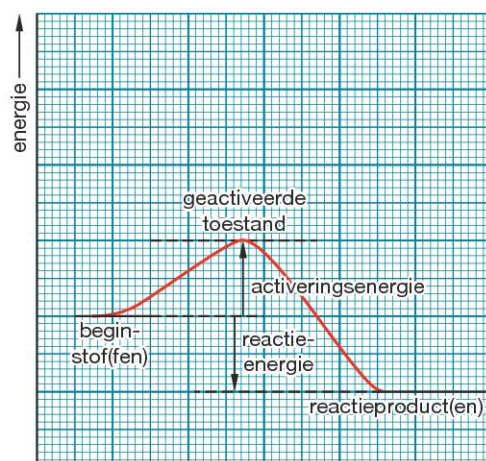
Bijvoorbeeld gevelisolatie (spouwmuurisolatie), dubbele beglazing, hoogrendementsketels voor de centrale verwarming en auto's met zuinige motoren.

B 4

- a** $C_{10}H_{22} \rightarrow C_7H_{14} + C_3H_8$
b $H_3C-(CH_2)_8-CH_3 \rightarrow H_2C=CH-(CH_2)_4-CH_3 + H_3C-CH_2-CH_3$
c decaan $\rightarrow$ 1-buteen + hexaan
 $C_{10}H_{22} \rightarrow C_4H_8 + C_6H_{14}$
 $H_3C-(CH_2)_8-CH_3 \rightarrow H_2C=CH-CH_2-CH_3 + H_3C-(CH_2)_4-CH_3$

B 5

- a** $2 C_8H_{18} (l) + 25 O_2 (g) \rightarrow 16 CO_2 (g) + 18 H_2O (l)$
b De verbranding is exotherm, want er moet energie vrijkomen om de auto te laten rijden.
c Zie figuur 7.1.



7.1

d Stap 1: reactievergelijking zie a.

Stap 2: massa benzine omrekenen naar mol.

1,00 L benzine met een dichtheid van $0,72 \text{ kg L}^{-1}$ heeft een massa van $7,2 \cdot 10^2 \text{ g}$.

Molaire massa van $\text{C}_8\text{H}_{18} = 8 \times 12,01 + 18 \times 1,008 = 114,22 \text{ g mol}^{-1}$.

$$7,2 \cdot 10^2 \text{ g benzine} \triangleq \frac{7,2 \cdot 10^2 \text{ g}}{114,22 \text{ g mol}^{-1}} = 6,30 \text{ mol C}_8\text{H}_{18}$$

Stap 3: de molverhouding $\text{C}_8\text{H}_{18} : \text{O}_2 = 2 : 25$

Stap 4: het aantal mol O_2 dat nodig is: $\frac{6,30}{2} \times 25 = 78,8 \text{ mol O}_2$.

Stap 5: mol omrekenen naar dm^3 lucht, $V_m = 24,5 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$ ($T = 298 \text{ K}$).

$$24,5 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \times 78,8 \text{ mol} = 1,93 \cdot 10^3 \text{ dm}^3 \text{ O}_2$$

Volumepercentage zuurstof in lucht is 21%.

$$\text{Nodig voor de verbranding} \frac{1,93 \cdot 10^3}{21} \times 100\% = 9,2 \cdot 10^3 \text{ dm}^3 \text{ lucht.}$$

e Stap 3: de molverhouding $\text{C}_8\text{H}_{18} : \text{CO}_2 = 2 : 16$

Stap 4: het aantal mol CO_2 dat ontstaat is dan: $\frac{6,30}{2} \times 16 = 50,4 \text{ mol CO}_2$.

Stap 5: het aantal mol CO_2 omrekenen naar liter met het molair volume

$$V_m = 24,5 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$$

$$24,5 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \times 50,4 \text{ mol} = 1,2 \cdot 10^3 \text{ dm}^3 \text{ CO}_2$$

C 6

a Het volume van het wegdek is gelijk aan $1,0 \text{ m} \times 1,0 \text{ m} \times 0,23 \text{ m} = 0,23 \text{ m}^3$.

De massa hiervan is dan $0,23 \text{ m}^3 \times 2400 \text{ kg m}^{-3} = 5,52 \cdot 10^2 \text{ kg}$.

Om dezelfde massa aan CO_2 te verkrijgen is $\frac{5,52 \cdot 10^2 \text{ kg}}{1,986 \text{ kg m}^{-3}} = 2,8 \cdot 10^2 \text{ m}^3 \text{ CO}_2$ nodig.

b Het verschil in ppm is $400 - 280 = 120 \text{ ppm}$. $1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg} = 10^{-6} \text{ kg CO}_2$ per kg lucht, dus $120 \text{ ppm} = 120 \cdot 10^{-6} \text{ kg CO}_2$.

Dit komt overeen met $5,15 \cdot 10^{18} \text{ kg} \times 120 \cdot 10^{-6} = 6,18 \cdot 10^{14} \text{ kg CO}_2$.

De hoeveelheid Co2ncrete die je hiermee kunt produceren is dan gelijk aan:

$$\frac{6,18 \cdot 10^{14} \text{ kg}}{2400 \text{ kg m}^{-3}} = 2,58 \cdot 10^{11} \text{ m}^3 \text{ wegdek.}$$

c 1 km wegdek heeft een volume van $1,0 \cdot 10^3 \text{ m} \times 1,0 \text{ m} \times 0,23 \text{ m} = 230 \text{ m}^3$.

$$\frac{2,58 \cdot 10^{11} \text{ m}^3}{230 \text{ m}^3 \text{ km}^{-1}} = 1,12 \cdot 10^9 \text{ km wegdek.}$$

C 7

a Benzine is een vloeistof en heeft dus een veel grotere dichtheid dan aardgas. In een m^3 benzine bevinden zich veel meer moleculen dan in een m^3 aardgas.

b De verbrandingswarmte van aardgas is $3,2 \cdot 10^7 \text{ J m}^{-3} = 3,2 \cdot 10^4 \text{ J dm}^{-3}$.

Het volume van 1,00 mol aardgas is $22,4 \text{ dm}^3$.

volume aardgas (dm^3)	22,4	1,00
verbrandingswarmte (joule)	x	$3,2 \cdot 10^4$

De verbrandingswarmte per mol is dan: $\frac{3,2 \cdot 10^4 \text{ J} \times 22,4 \text{ dm}^3}{1,00 \text{ dm}^3} = 7,2 \cdot 10^5 \text{ J} = 7,2 \cdot 10^2 \text{ kJ}$.

c Aardgas is een mengsel dat ook onbrandbare componenten bevat, met name stikstof. Hierdoor neemt de verbrandingswarmte per m^3 aardgas af.

C 8 ★

- a** Er wordt gebruikgemaakt van een verschil in oplosbaarheid, de scheidingsmethode is dus extractie.
- b** In stap 1 worden 3 mol O_2 gebruikt voor 2 mol H_2S , daarbij ontstaan 2 mol SO_2 . Deze 2 mol SO_2 reageren in stap 2 met 4 mol H_2S . Totaal worden er dus $2 + 4 = 6$ mol H_2S omgezet en hiervoor zijn 3 mol O_2 nodig.
Per 1,0 mol H_2S is dus $3,0 / 6,0 = 0,5$ mol O_2 nodig.
- c** 90% van $5,0 \cdot 10^5$ ton $= 4,5 \cdot 10^5$ ton SO_2 wordt verwijderd.
Dit komt overeen met $4,5 \cdot 10^5 \times 10^6$ g $SO_2 = 4,5 \cdot 10^{11}$ g SO_2 .
De molaire massa van $SO_2 = 64,06$ g mol^{-1} .

$$4,5 \cdot 10^{11} \text{ g } SO_2 \triangleq \frac{4,5 \cdot 10^{11} \text{ g}}{64,06 \text{ g } mol^{-1}} = 7,0 \cdot 10^9 \text{ mol } SO_2.$$

Molverhouding $SO_2 : SO_3 : CaCO_3 = 1 : 1 : 1$

Er is dus $7,0 \cdot 10^9$ mol $CaCO_3$ nodig. Molaire massa $CaCO_3 = 100,09$ g mol^{-1} .

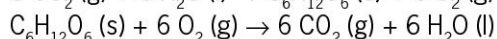
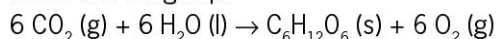
$7,0 \cdot 10^9 \text{ mol} \times 100,09 \text{ g } mol^{-1} = 7,0 \cdot 10^{11} \text{ g } CaCO_3$.

Jaarlijks is er dus $7,0 \cdot 10^5$ ton $CaCO_3$ nodig.

7.2 Biobrandstoffen

A 9

De koolstofkringloop is een elementenkringloop. Er wordt in deze kringloop gekeken naar het element koolstof in een aantal opeenvolgende processen die samen een kringloop vormen. De fotosynthese en daaropvolgend de verbranding van de gevormde glucose vormt een kringloop.



Het element koolstof uit CO_2 zit na de fotosynthese in glucose, $C_6H_{12}O_6$. Na verbranding van glucose komt koolstof als CO_2 weer in de atmosfeer.

A 10

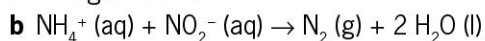
- a** De CO_2 die planten hebben opgenomen voordat ze fossiliseerden, is miljoenen jaren geleden uit de lucht verdwenen. Wanneer we nu aardolie verbranden, komt al de CO_2 versneld in de atmosfeer. Maar die hoeveelheden zijn te groot om weer te worden gebruikt voor de fotosynthese. Daardoor neemt de concentratie CO_2 in de atmosfeer toe. Het gebruik van aardolie en steenkool is dus niet CO_2 -neutraal.
- b** Planten en bomen nemen tijdens hun groei CO_2 op uit de lucht en zetten dat via fotosynthese om in bouwstoffen. De zon fungeert daarbij als energiebron. Als de biomassa daarna wordt verbrand, komt het CO_2 vrij. Er is dus sprake van een kringloop waarin de totale hoeveelheid CO_2 gelijk blijft. Dit noem je CO_2 -neutraal.

A 11

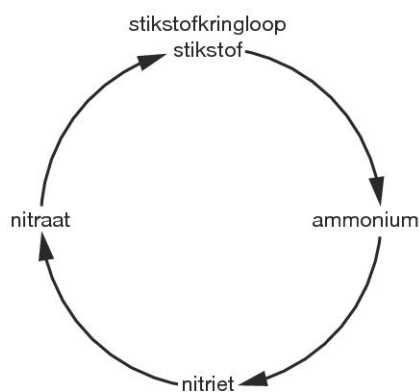
- a** $C_6H_5O_6R_3 + 3 CH_3OH \rightarrow C_3H_8O_3 + 3 C_2H_3O_2R$
- b** Bij de eerste generatie biobrandstoffen wordt de brandstof geproduceerd uit voedselgewassen, voor de tweede generatie biobrandstoffen wordt organisch afval zoals houtsnippers, stro, afgewerkt frituurvet enzovoort als grondstof gebruikt.
- c** Nieuwe ontwikkelingen in de productie van tweede generatie biobrandstoffen worden derde generatie biobrandstoffen genoemd. Bijvoorbeeld het gebruik van algen of zeewier als grondstof.
- d** Factoren zijn bijvoorbeeld:
- 1 De ideale algensoort is nog niet gevonden.
 - 2 De lage opbrengst bij de tot nu toe gebruikte algen.
 - 3 De hoge kosten bij het scheiden van de olie en de algen.
 - 4 De opschaling naar grootschalige productie is moeilijk.

B 12

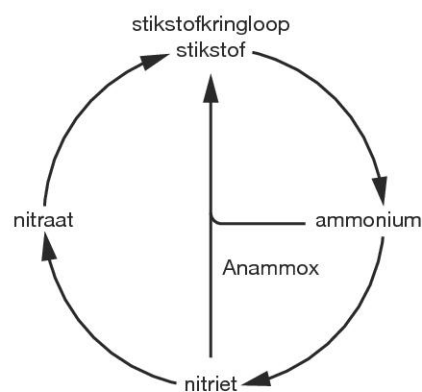
a Zie figuur 7.2a.



c Zie figuur 7.2b.



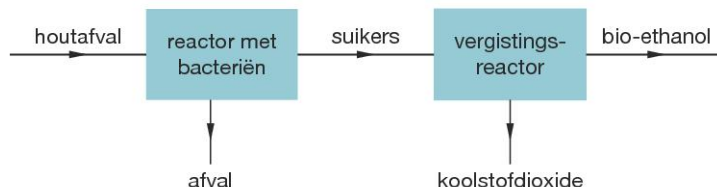
7.2a



7.2b

B 13

Zie figuur 7.3.

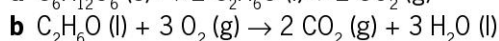
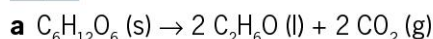


7.3

B 14

a De planten in de kassen gebruiken de CO_2 voor de groei. Ze zetten dit via de fotosynthese om in glucose. Extra CO_2 betekent dus meer glucose en dus meer groei.

b Dit levert maar een beperkte bijdrage aan het verminderen van de CO_2 -uitstoot, want de CO_2 -uitstoot is veel groter dan er aan kassen beschikbaar is. Je kunt ook niet te veel CO_2 in de kassen brengen, want dan verstoort je het groeiproces te veel.

B 15**C 16**

a Koolzaadolie bevat 42 massa-% olie. Uit 150 ton koolzaad krijg je $\frac{42}{100} \times 150 \text{ ton} = 63 \text{ ton}$ ruwe olie.

b Er wordt 15 massa-% afval verwijderd, dus er blijft 85 massa-% glyceryltri-ester over.

Dit is $\frac{85}{100} \times 63 \text{ ton} = 53,6 \text{ ton}$ glyceryltri-ester.

c Reken 53,6 ton glyceryltri-ester om naar mol. $53,6 \text{ ton} = 53,6 \cdot 10^3 \text{ kg} = 53,6 \cdot 10^6 \text{ g}$ glyceryltri-ester.

Molaire massa $\text{C}_{57}\text{H}_{104}\text{O}_6$ is $885,40 \text{ g mol}^{-1}$

$$53,6 \cdot 10^6 \text{ g} \triangleq \frac{53,6 \cdot 10^6 \text{ g}}{885,40 \text{ g mol}^{-1}} = 6,05 \cdot 10^4 \text{ mol } \text{C}_{57}\text{H}_{104}\text{O}_6$$

Molverhouding $\text{C}_{57}\text{H}_{104}\text{O}_6$: biodiesel = 1 : 3 (zie de reactievergelijking)

Er ontstaat $3 \times 6,05 \cdot 10^4 \text{ mol} = 18,2 \cdot 10^4 \text{ mol}$ biodiesel.

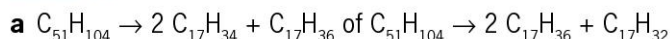
d Reken het aantal mol biodiesel om naar het aantal gram biodiesel. De molaire massa $\text{C}_{19}\text{H}_{36}\text{O}_2$ is $296,48 \text{ g mol}^{-1}$.

$$18,2 \cdot 10^4 \text{ mol} \times 296,48 \text{ g mol}^{-1} = 5,4 \cdot 10^7 \text{ g} = 5,4 \cdot 10^4 \text{ kg} \text{ biodiesel}$$

De dichtheid is $0,875 \text{ kg L}^{-1}$.

$$\text{Er is } \frac{5,4 \cdot 10^4 \text{ kg}}{0,875 \text{ kg L}^{-1}} = 6,2 \cdot 10^4 \text{ L biodiesel gemaakt.}$$

C 17 ★



b De auto gebruikt 1,0 liter diesel per 20 km.

gereden afstand (km)	20	30 000
gebruikte diesel (L)	1,0	x

$$x = \frac{30\,000 \text{ km} \times 1,0 \text{ L}}{20 \text{ km}} = 1500 \text{ L diesel nodig.}$$

1,0 ton wilgenhout levert 150 L groene diesel, er is dus 10 ton wilgenhout nodig voor 1500 L groene diesel.

Per hectare wordt 11 ton wilgenhout geproduceerd.

wilgenhout (ton)	11	10
oppervlakte grond (hectare)	1,0	x

$$x = \frac{1,0 \times 10}{11} = 0,91 \text{ hectare wilgenhout}$$

c Reken het aantal liter groene diesel om naar het aantal mol groene diesel. Eerst reken je de massa uit van 150 L groene diesel. De dichtheid van groene diesel = $0,79 \text{ kg L}^{-1}$.

$$150 \text{ L} \times 0,79 \text{ kg L}^{-1} = 118,5 \text{ kg} = 1,19 \cdot 10^5 \text{ g diesel}$$

De molaire massa van groene diesel ($\text{C}_{14}\text{H}_{30}$) = $198,38 \text{ g mol}^{-1}$.

$$1,19 \cdot 10^5 \text{ g diesel} \triangleq \frac{1,19 \cdot 10^5 \text{ g}}{198,38 \text{ g mol}^{-1}} = 5,97 \cdot 10^2 \text{ mol diesel}$$

Molverhouding diesel : CO_2 = $2 : 28 = 1 : 14$

$$5,97 \cdot 10^2 \text{ mol diesel levert } 14 \times 5,97 \cdot 10^2 = 8,36 \cdot 10^3 \text{ mol CO}_2.$$

$$\text{Dit komt overeen met } 8,36 \cdot 10^3 \text{ mol} \times 44,01 \text{ g mol}^{-1} = 3,7 \cdot 10^2 \text{ kg CO}_2.$$

d De CO_2 die bij verbranding van de groene diesel vrijkomt is in de jaren voor de wilgenkap tijdens het groeien van de wilgen opgenomen uit de atmosfeer, in tegenstelling tot de CO_2 die vrijkomt bij de verbranding van fossiele brandstoffen. Die is miljoenen jaren geleden opgenomen uit de atmosfeer.

C 18

a Andere voorwaarden zijn bijvoorbeeld:

- 1 Andere (voedsel)gewassen mogen niet worden verdrongen door de plant die biodiesel oplevert.
- 2 Er moet worden geïnvesteerd in het efficiënt telen van de plant.
- 3 Er moet een marktketen worden opgezet tussen de boeren, de bedrijven die de teelt omzetten in biodiesel en de bedrijven die van de biodiesel gebruikmaken.
- 4 De omzetting van plant of teelt tot biodiesel mag niet te ingewikkeld zijn om economisch rendabel te zijn.

b Overheden kunnen bijvoorbeeld belastingvoordelen aanbieden aan ondernemingen die gebruikmaken van duurzame energiebronnen of subsidies verschaffen voor de aanschaf van biobrandstoffen.

c Overheden kunnen biobrandstoffen subsidiëren, waardoor het gebruik ervan voor de consument goedkoper wordt.

d Een vat olie bevat 159 liter.

$$1,3 \text{ miljoen vaten komt dan overeen met } 1,3 \cdot 10^6 \times 159 = 2,1 \cdot 10^8 \text{ L olie} = 2,1 \cdot 10^5 \text{ m}^3 \text{ olie.}$$

De dichtheid van aardolie is $0,91 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$.

$$2,1 \cdot 10^5 \text{ m}^3 \text{ olie} \triangleq \frac{2,1 \cdot 10^5 \text{ m}^3}{0,91 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}} = 2,3 \cdot 10^5 \text{ kg olie}$$

De verbrandingswarmte van aardolie is $42,70 \text{ MJ kg}^{-1}$. Bij het verbranden van deze hoeveelheid olie komt $2,3 \cdot 10^5 \text{ kg} \times 42,70 \text{ MJ kg}^{-1} = 9,7 \cdot 10^6 \text{ MJ}$ aan warmte vrij. De verbrandingswarmte van biodiesel is $38,68 \text{ MJ kg}^{-1}$. Om dezelfde hoeveelheid

warmte te produceren uit biodiesel is $\frac{9,7 \cdot 10^6 \text{ MJ}}{38,68 \text{ MJ kg}^{-1}} = 2,5 \cdot 10^5 \text{ kg}$ biodiesel nodig.

De dichtheid van biodiesel is $0,88 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$.

$2,5 \cdot 10^5 \text{ kg} \times 0,88 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3} = 2,2 \cdot 10^8 \text{ m}^3$ biodiesel = $2,2 \cdot 10^8 \text{ L}$ biodiesel.

Dit komt overeen met $\frac{2,2 \cdot 10^8}{159} = 1,4 \cdot 10^6$ vaten biodiesel.

- e** Slechts 15% van het oliegebruik in de transportsector is al een enorme hoeveelheid olie. We zouden wereldwijd jatropha moeten telen om genoeg biodiesel te produceren om dit te vervangen. Jatropha op zichzelf is dus waarschijnlijk geen oplossing.

7.3 Duurzame ontwikkelingen

A 19

- a** Een duurzame grondstof is een grondstof die je steeds opnieuw (op korte termijn) kunt produceren.
- b** Recyclen is het omzetten van een grondstof of product aan het eind van zijn gebruik in een nieuwe grondstof of een nieuw product.
- c** Bij upcyclen is het gerecyclede product van gelijke of betere kwaliteit dan het oorspronkelijke product. Bij downcyclen is het gerecyclede product juist van slechtere kwaliteit dan het oorspronkelijke product.
- d** De C2C-filosofie stelt dat elke grondstof na gebruik in het ene product weer kan worden gebruikt in een ander product zonder verlies van kwaliteit.

A 20

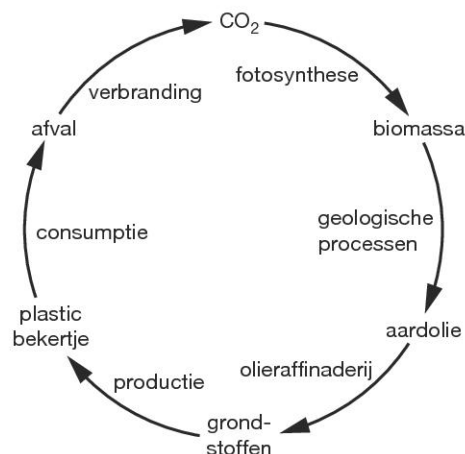
Eigen antwoord

A 21

- a** De atomeconomie is het percentage van de massa van de atomen van de beginstoffen dat terugkomt in het reactieproduct.
- b** Het rendement is het percentage van de beginstoffen dat wordt omgezet in reactieproduct.

B 22

- a** Zie figuur 7.4.
- b** Het bekertje wordt verbrand. Een hoogwaardige kunststof gaat als afval verloren.
- c** Je moet het afval niet verbranden, maar verzamelen en opnieuw in het productieproces gebruiken, dus recyclen, daardoor wordt de kringloop ook een stuk korter.



7.4

B 23

Nee, de elektriciteit die ze gebruiken wordt (vooralsnog) opgewekt in centrales die een grote hoeveelheid CO₂ uitstoten. Tenzij die centrale volledig op biomassa wordt gestookt.

B 24

- a** De dichtheid van de vloeistof moet groter zijn dan 0,91 g cm⁻³, maar kleiner zijn dan 1,05 g cm⁻³.
- b** Uitgaande van het gegeven dat de vraag sterk lager ligt dan het aanbod:
- De prijs gaat omhoog, omdat er te weinig afzet is, dat wil zeggen te weinig inkomsten, terwijl inkoop en proceskosten hetzelfde blijven.
 - De voorraad gerecyclede materialen neemt toe, omdat er te weinig afzet is.
 - De kosten gaan relatief omhoog, omdat de afzet te laag is. De proceskosten blijven hetzelfde, maar met te weinig inkomsten gaan de proceskosten relatief omhoog.

B 25

- a** De molecuulmassa van het gewenste product (maleïnezuuranhydride) is:
 $4 \times 12,01 + 3 \times 16,00 + 2 \times 1,008 = 98,056 \text{ u}$
 De molecuulmassa's van de beginstoffen zijn: 78,114 u (benzeen) en 32,00 u (zuurstof).

$$\text{Atoomeconomie} = \frac{m_{\text{gewenst product}}}{m_{\text{beginstoffen}}} \times 100\% = \frac{2 \times 98,056 \text{ u}}{2 \times 78,114 \text{ u} + 9 \times 32,00 \text{ u}} \times 100\% = 44,15\%$$

- b** Reken benzeen om naar mol.
 $100 \text{ kg benzeen} = 100 \cdot 10^3 \text{ g benzeen}$
 Molaire massa van benzeen is 78,114 g mol⁻¹.

$$100 \text{ kg benzeen} \triangleq \frac{100 \cdot 10^3 \text{ g}}{78,114 \text{ g mol}^{-1}} = 1,28 \cdot 10^3 \text{ mol C}_6\text{H}_6$$

Molverhouding C₆H₆ : C₄H₂O₃ = 2 : 2

Er ontstaat dus 1,28 · 10³ mol C₄H₂O₃.

Omrekenen naar aantal kg C₄H₂O₃. De molaire massa C₄H₂O₃ is 98,056 g mol⁻¹.

Theoretisch kan er ontstaan: 1,28 · 10³ mol × 98,056 g mol⁻¹ = 1,26 · 10⁵ g C₄H₂O₃ = 1,26 · 10² kg C₄H₂O₃.

$$\text{Rendement} = \frac{\text{praktische opbrengst}}{\text{theoretische opbrengst}} \times 100\% = \frac{85 \text{ kg}}{126 \text{ kg}} \times 100\% = 67\%$$

- c** Deze productie is niet erg duurzaam, omdat ze een lage atoomeconomie en een matig rendement heeft. Dat betekent dat er maar weinig van de massa van de beginstoffen terugkomt in het gewenste product en dat niet alle beginstoffen worden omgezet in reactieproduct. Het proces levert daardoor veel afval op.

B 26 ★

- a** De molecuulmassa van het gewenste product (fenol) is:
 $6 \times 12,01 + 16,00 + 6 \times 1,008 = 94,108 \text{ u}$
 De molecuulmassa's van de beginstoffen zijn 78,108 u (benzeen), 98,079 u (zwavelzuur) en 39,997 u (natriumhydroxide). De atoomeconomie van proces 1 is:

$$\text{Atoomeconomie} = \frac{m_{\text{gewenst product}}}{m_{\text{beginstoffen}}} \times 100\% = \frac{94,108 \text{ u}}{78,108 \text{ u} + 98,079 \text{ u} + 2 \times 39,997 \text{ u}} \times 100\% = 36,73\%$$

De molecuulmassa's van de beginstoffen in proces 2 zijn 92,134 u (methylbenzeen) en 32,00 u (zuurstof).

De atoomeconomie van proces 2 is:

$$\text{Atoomeconomie} = \frac{m_{\text{gewenst product}}}{m_{\text{beginstoffen}}} \times 100\% = \frac{94,108 \text{ u}}{92,134 \text{ u} + 2 \times 32,00 \text{ u}} \times 100\% = 60,28\%$$

- b** De massa van natriumsulfiet is 126,04 u, dit is nu ook een gewenst product.
De atomeconomie van proces 1 is dan:

$$\text{Atoomeconomie} = \frac{m_{\text{gewenst product}}}{m_{\text{beginstoffen}}} \times 100\% = \frac{94,108 \text{ u} + 126,04 \text{ u}}{78,108 \text{ u} + 98,079 \text{ u} + 2 \times 39,997 \text{ u}} \times 100\% = 85,93\%$$

B 27



- b** De molecuulmassa van furaandicarbonzuur (gewenst product) is:

$$6 \times 12,01 + 4 \times 1,008 + 5 \times 16,00 = 156,092 \text{ u}$$

Beginstoffen: glucose molecuulmassa 180,156 u en zuurstof molecuulmassa 32,00 u

$$\text{Atoomeconomie} = \frac{m_{\text{gewenst product}}}{m_{\text{beginstoffen}}} \times 100\% = \frac{2 \times 156,092 \text{ u}}{2 \times 180,156 \text{ u} + 32,00 \text{ u}} \times 100\% = 79,58\%$$

C 28

- a** Voorbeelden van een goed antwoord:

- LDPE, want dat is soepel en minder breekbaar.
- LDPE, want HDPE moet je niet voor draagtassen gebruiken omdat het een stijf materiaal is dat niet goed is bestand tegen stoten.

- b** Nee, want zowel bij upcyclen als downcyclen krijgt het afval een nieuwe toepassing. Als je de instaptekst leest is er waarschijnlijk wel sprake van upcyclen als je kijkt naar de nieuwe producten die worden gemaakt.

- c** Er ontstaan uit 8 C-atomen van C_8H_8 8 moleculen CO_2 .

- d** Massa omrekenen naar mol. De massa van het wegwerpbekertje is 2,8 g en de molaire massa van styreen is $104,1 \text{ g mol}^{-1}$.

$$\frac{2,8 \text{ g}}{104,1 \text{ g mol}^{-1}} = 2,7 \cdot 10^{-2} \text{ mol styreen is in een bekertje verwerkt.}$$

- e** 50 bekertjes bevatten $50 \times 2,69 \cdot 10^{-2} = 1,34 \text{ mol styreen}$.

Molverhouding styreen : $\text{CO}_2 = 1 : 8$

Er ontstaat $8 \times 1,34 = 10,8 \text{ mol CO}_2$.

$$10,8 \text{ mol} \times 24,5 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} = 2,6 \cdot 10^2 \text{ dm}^3 \text{ CO}_2$$

- f** Voor de recycling moeten de plastics (per vrachtauto) worden vervoerd. Daarbij komt koolstofdioxide vrij. Bij het recyclen van plastics wordt energie gebruikt en bij de productie van die energie komt ook koolstofdioxide vrij.

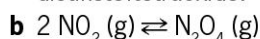
7.4 Evenwichten

A 29

Wanneer bij een dynamisch evenwicht twee tegengestelde reacties verlopen met dezelfde snelheid noem je dat een chemisch evenwicht.

B 30

- a** Het bruine stikstofdioxide wordt voor een deel omgezet in het kleurloze distikstoftetraoxide.



c $K = \frac{[\text{N}_2\text{O}_4]}{[\text{NO}_2]^2}$

- d** Nee, want de evenwichtsconstante is afhankelijk van de temperatuur. Bij een andere temperatuur is de samenstelling van het mengsel anders en dus is de kleur anders.

B 31

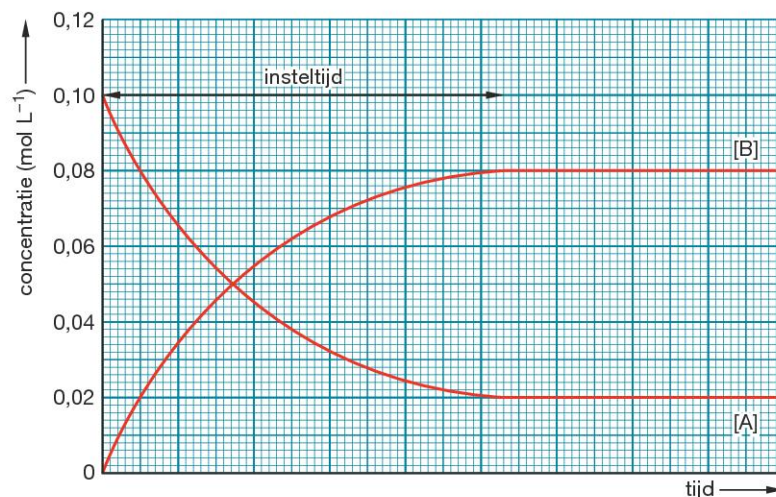
- a** Bij een homogeen evenwicht zijn alle stoffen die bij het evenwicht zijn betrokken in dezelfde toestand, ze zijn allemaal opgelost in water of allemaal gasvormig. Bij een heterogeen evenwicht is dat niet het geval.
- b** Nee, het is geen chemisch evenwicht, want er verloopt geen chemisch reactie. Het is wel een verdelingsevenwicht.
- c** Bijvoorbeeld:
 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 (\text{s}) \rightleftharpoons 3 \text{Ca}^{2+} (\text{aq}) + 2 \text{PO}_4^{3-} (\text{aq})$, of:
 $\text{PbSO}_4 (\text{s}) \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} (\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-} (\text{aq})$

B 32

- a** In een tabel:

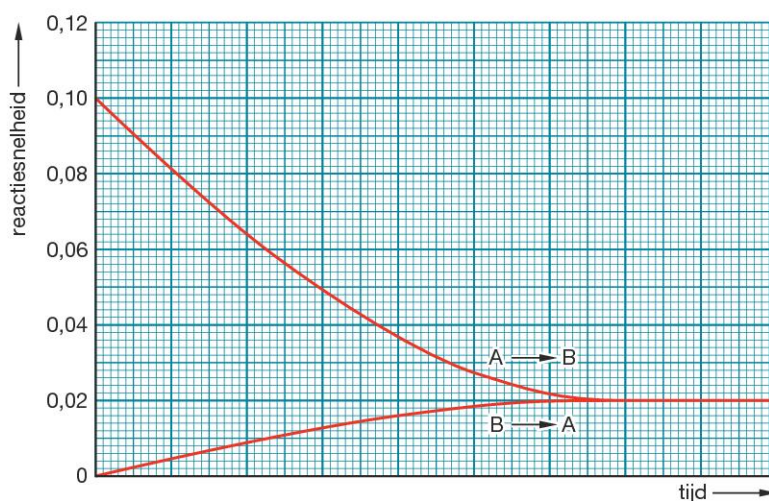
	A	B
t_0	1,0 mol	0 mol
omgezet	-0,80 mol	+0,80 mol
t_{ev}	0,20 mol	0,80 mol
$[\dots]_{\text{ev}}$	0,020 mol L ⁻¹	0,080 mol L ⁻¹

Het volume van het vat is 10 dm³, voor de concentratie in mol L⁻¹ moet je het aantal mol A en B, dat op t_{ev} aanwezig is nog delen door 10. Zie voor het diagram figuur 7.5.



7.5

- b** Zie figuur 7.6.



7.6

B 33

$$\mathbf{a} \quad K = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2 [\text{O}_2]}$$

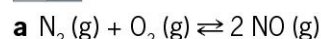
$$\mathbf{b} \quad K = \frac{[\text{Co}^{2+}]}{[\text{Ni}^{2+}]}$$

$$\mathbf{c} \quad K = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3}$$

$$\mathbf{d} \quad K = \frac{[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+]}{[\text{Ag}^+][\text{NH}_3]^2}$$

$$\mathbf{e} \quad K = \frac{[\text{Fe}^{2+}]^2 [\text{Sn}^{4+}]}{[\text{Fe}^{3+}]^2 [\text{Sn}^{2+}]}$$

$$\mathbf{f} \quad K = [\text{Pb}^{2+}][\text{I}^-]^2$$

B 34

b Door samenpersen wordt de concentratie van de twee reagerende stoffen vergroot en neemt het aantal effectieve botsingen per tijdseenheid toe, dus neemt de reactiesnelheid toe. Daardoor wordt de insteltijd van het evenwicht korter.

c Een katalysator toevoegen, deze versnelt de reactie(s) en bekort de insteltijd van het evenwicht.

B 35

In de evenwichtstoestand geldt $K = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2 [\text{O}_2]} = 13$.

$$\mathbf{a} \quad \frac{(0,20)^2}{(0,20)^2 \times 0,20} = 5,0 < K$$

De breuk zal in waarde moeten toenemen, er zal meer SO_3 worden gevormd (grotere noemer, de teller wordt automatisch kleiner) dus een nettoreactie naar rechts.

$$\mathbf{b} \quad \frac{(0,20)^2}{(0,10)^2 \times 0,20} = 20 > K$$

De breuk zal in waarde moeten afnemen, er zal meer SO_3 worden omgezet (meer SO_2 en O_2 worden gevormd). De nettoreactie verloopt naar links tot er evenwicht is bereikt.

B 36

a Daar is geen uitspraak over te doen. De evenwichtsconstante is onbekend en dus ook de evenwichtsligging. En omdat ook de temperatuur ontbreekt, is de waarde van K niet over te nemen of te schatten met behulp van Binas tabel 51.

b Op $t = t_0$ geldt: $[\text{N}_2] = [\text{H}_2]$.

Aangezien N_2 en H_2 reageren in de molverhouding 1 : 3, zal op elk moment na t_0 gelden dat $[\text{N}_2] > [\text{H}_2]$. Door de coëfficiënt 3 voor de H_2 , neemt $[\text{H}_2]$ driemaal zo snel af als de $[\text{N}_2]$.

B 37

a Het volume is $1,0 \text{ dm}^3 = 1,0 \text{ L}$ dan is $[\text{N}_2\text{O}_4] = 0,40 - 0,20 = 0,20 \text{ mol L}^{-1}$.
 $[\text{NO}_2] = 2 \times 0,20 \text{ mol} = 0,40 \text{ mol L}^{-1}$

$$\text{De concentratiebreuk is: } \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} = \frac{(0,40)^2}{0,20} = 0,80$$

De waarde van de concentratiebreuk is niet gelijk aan 2,0, er is dus nog geen evenwicht.

b Als er evenwicht is, heeft x mol N_2O_4 gereageerd. Je kunt dan de volgende tabel maken:

	$[\text{N}_2\text{O}_4]$	$[\text{NO}_2]$
t_0	0,40	0
omgezet	x	$+2x$
t_{ev}	$0,40 - x$	$2x$

Ingevuld in de concentratiebreuk geeft dit ($V = 1,0 \text{ dm}^3$):

$$K = \frac{(2x)^2}{(0,40 - x)} = 2,0$$

$$4x^2 = 2,0 (0,40 - x)$$

$$4x^2 = 0,80 - 2x$$

$$4x^2 + 2x - 0,80 = 0$$

Deze tweedegraadsvergelijking in x kun je oplossen met de abc-formule. De uitkomst is

$$x = 0,26, \text{ dus } [\text{N}_2\text{O}_4]_{\text{ev}} = (0,40 - 0,26) \text{ mol L}^{-1} = 0,14 \text{ mol L}^{-1} \text{ en}$$

$$[\text{NO}_2]_{\text{ev}} = 2 \times 0,26 \text{ mol L}^{-1} = 0,52 \text{ mol L}^{-1}.$$

B 38

Omgezet: 60% van $0,10 \text{ mol H}_2 = 0,60 \times 0,10 \text{ mol H}_2 = 0,060 \text{ mol H}_2$. Dus ook omgezet $0,060 \text{ mol Cl}_2$.

	$\text{H}_2 \text{ (mol)}$	$\text{Cl}_2 \text{ (mol)}$	HCl (mol)
t_0	0,10	0,10	0
omgezet	-0,060	-0,060	$+(2 \times 0,060) = 0,120$
t_{ev}	$0,10 - 0,060$	$0,10 - 0,060$	0,120

Het volume van het vat is $2,0 \text{ dm}^3$.

$$[\text{H}_2] = \frac{(0,10 - 0,060) \text{ mol}}{2,0 \text{ L}} = 0,020 \text{ mol L}^{-1} = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$$

$[\text{Cl}_2] = [\text{H}_2]$, want de beginhoeveelheid in mol is gelijk én de molverhouding $\text{H}_2 : \text{Cl}_2 = 1 : 1$.

$$[\text{HCl}] = \frac{0,120 \text{ mol}}{2,0 \text{ L}} = 0,060 \text{ mol L}^{-1} = 6,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$$

C 39

a Extractie. Heptaan + trioctylamine extraheert het melkzuur uit de waterige oplossing.

b Er is hier sprake van een verdelingsevenwicht en K noem je dan de verdelingsconstante.

c Als $K = 0,6$ is de waarde van de onderstaande concentratiebreuk:

$$\frac{[\text{melkzuur}]_{\text{heptaan-trioctylamine}}}{[\text{melkzuur}]_{\text{water}}} = 0,6 = \frac{6}{10}$$

$$\text{In de waterlaag zit dan nog } \frac{10}{6 + 10} = 0,625 = 0,6 \text{ deel van het melkzuur.}$$

d De heptaan + trioctylaminelaag aftappen en opnieuw heptaan + trioctylamine toevoegen. Het nog in de waterlaag aanwezige melkzuur zal zich weer gaan verdelen over het water en het heptaan + trioctylamine. Na een paar keer zal vrijwel al het melkzuur uit de waterlaag zijn gehaald.

C 40 ★

a De evenwichtsvoorwaarde is: $K = \frac{[\text{H}_2][\text{CO}]}{[\text{H}_2\text{O}]}$

	$[\text{H}_2\text{O}]$	$[\text{H}_2]$	$[\text{CO}]$
t_0	1,0	0	0
omgezet	$-x$	$+x$	$+x$
t_{ev}	$1,0 - x$	x	x

Ingevuld in de concentratiebreuk geeft dit ($V = 1,0 \text{ dm}^3$):

$$K = \frac{x^2}{(1,0 - x)} = 0,30$$

$$x^2 = 0,30 (1,0 - x)$$

$$x^2 = 0,30 - 0,30x$$

$$x^2 + 0,30x - 0,30 = 0$$

Deze tweedegraadsvergelijking in x kun je oplossen met de abc-formule. De uitkomst is $x = 0,42$, dus $[\text{H}_2\text{O}]_{\text{ev}} = (1,0 - 0,42) \text{ mol L}^{-1} = 0,58 \text{ mol L}^{-1}$, $[\text{H}_2]_{\text{ev}} = 0,42 \text{ mol L}^{-1}$ en $[\text{CO}]_{\text{ev}} = 0,42 \text{ mol L}^{-1}$.

- b** Van de 1,0 mol die aanwezig was wordt 0,42 mol omgezet. Het rendement is dan:

$$\frac{0,42}{1,0} \times 100\% = 42\%$$

- c** Slechts 42% van de beginstoffen wordt omgezet in reactieproduct. Hoewel de theoretische atomeconomie 100% is, is de atomeconomie in de praktijk dus veel lager.

7.5 Evenwichten beïnvloeden

A 41

De evenwichtsvoorwaarde is: $K = \frac{[\text{B}]^2}{[\text{A}]}$

- a** $[\text{A}]$ neemt toe, waardoor de reactie naar rechts tijdelijk sneller verloopt dan die naar links. Het evenwicht verschuift naar rechts en $[\text{B}]$ neemt toe.
- b** Omgekeerde van situatie a: $[\text{A}]$ neemt af, waardoor de reactie naar links tijdelijk sneller verloopt dan die naar rechts. Het evenwicht verschuift naar links en $[\text{A}]$ neemt toe.
- c** Bij volumeverkleining verschuift het evenwicht naar links, omdat daar in de vergelijking minder gasdeeltjes staan dan rechts. $[\text{A}]$ neemt toe. Je kunt het ook beredeneren met de evenwichtsvoorwaarde. Stel het volume wordt $2\times$ zo klein, dan worden de concentraties van de stoffen $2\times$ zo groot. De teller in de evenwichtsvoorwaarde wordt $4\times$ zo groot en de noemer $2\times$. Het evenwicht verschuift naar links.
- d** Een katalysator verhoogt de reactiesnelheid naar rechts en naar links evenveel. Het evenwicht verschuift niet.
- e** Bij temperatuurverlaging verschuift het evenwicht naar de kant van de exotherme reactie. In dit geval naar rechts; $[\text{A}]$ neemt af.

B 42

$$\text{a } K = \frac{[\text{PCl}_5]}{[\text{PCl}_3][\text{Cl}_2]}$$

- 1 $[\text{PCl}_3]$ neemt plotseling toe, waardoor de reactie naar rechts tijdelijk sneller verloopt dan die naar links. Het evenwicht verschuift naar rechts en $[\text{PCl}_5]$ neemt toe.
 - 2 Verschuiving naar links, omdat de reactie naar rechts niet meer kan verlopen; $[\text{PCl}_5]$ neemt af.
 - 3 Bij temperatuurverhoging verschuift het evenwicht naar de endotherme kant. In dit geval naar links; $[\text{PCl}_5]$ neemt af.
 - 4 Bij volumeverkleining verschuift het evenwicht naar rechts, omdat daar in de vergelijking minder gasdeeltjes staan dan links. $[\text{PCl}_5]$ neemt toe. Je kunt het ook beredeneren met de evenwichtsvoorwaarde. Stel het volume wordt $2\times$ zo klein, dan worden de concentraties van de stoffen $2\times$ zo groot. De teller in de evenwichtsvoorwaarde wordt $2\times$ zo groot en de noemer $4\times$. Het evenwicht verschuift naar rechts.
 - 5 Het toevoegen van He-gas bij constant volume heeft geen invloed op de $[\text{PCl}_5]$. He-gas neemt geen deel aan de reactie en heeft daarom geen invloed op de concentratiebreuk.
- b** Alleen in geval 3 zal de waarde van de evenwichtsconstante veranderen. Hier neemt de temperatuur toe en K is temperatuurafhankelijk.

B 43

- a** 85% van 0,100 mol Cl_2 wordt omgezet, dat is: $0,85 \times 0,100 = 0,085$ mol Cl_2 .
 0,085 mol Cl_2 reageert met $2 \times 0,085 = 0,170$ mol NO, $V = 1,0 \text{ dm}^3$.

	[NO]	[Cl ₂]	[NOCl]
t_0	0,200	0,100	0
omgezet	-0,170	-0,085	+0,170
t_{ev}	0,200 - 0,170	0,100 - 0,085	0,170

$$K = \frac{[\text{NOCl}]^2}{[\text{NO}]^2 [\text{Cl}_2]} = \frac{(0,170)^2}{(0,030)^2 \times 0,015} = 2,1 \cdot 10^3$$

- b** De reactie naar rechts is exotherm. Bij temperatuursverhoging is de endotherme reactie tijdelijk in het voordeel. Het evenwicht zal dus naar links verschuiven, er wordt dan minder dan 85% van het Cl_2 omgezet.
- c** Toevoegen van NO vergroot de noemer van de concentratiebreuk. Om de concentratiebreuk weer gelijk te maken aan K zal de reactie naar rechts tijdelijk in het voordeel zijn, het evenwicht verschuift dus naar rechts. Toevoegen van NO heeft geen invloed op de waarde van K, omdat K alleen verandert bij een temperatuurverandering.

B 44

a $K = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]}$

- b** 1 Door het toevoegen van N_2O_4 wordt de noemer van de concentratiebreuk groter. Om de concentratiebreuk weer gelijk te maken aan K zal de reactie naar rechts tijdelijk in het voordeel zijn, het evenwicht verschuift dus naar rechts.
- 2 Verwijderen van NO_2 betekent dat de teller kleiner wordt. Om de concentratiebreuk weer gelijk te maken aan K zal de reactie naar rechts tijdelijk in het voordeel zijn, het evenwicht verschuift dus naar rechts.
- 3 Bij verkleinen van het volumevat worden de concentraties van de stoffen groter. De teller zal groter worden (staat in het kwadraat) en de reactie naar links zal dus tijdelijk in het voordeel zijn. Het evenwicht verschuift naar links.
- 4 Toevoegen van een katalysator heeft geen invloed op de ligging van het evenwicht. De snelheid van beide reacties neemt toe, alleen de insteltijd van het evenwicht wordt korter.
- 5 De reactie naar rechts is endotherm, dus de reactie naar links is exotherm. Bij verlagen van de temperatuur is de exotherme reactie tijdelijk in het voordeel. Het evenwicht verschuift naar links. Bij temperatuurverandering verandert de waarde van K.

B 45

- a** NaHCO_3 en Na_2CO_3 zijn vaste stoffen en staan dus niet in de evenwichtsvoorwaarde.
 $K = [\text{CO}_2] [\text{H}_2\text{O}]$
- b** Als er evenwicht is heeft x mol NaHCO_3 gereageerd. Daaruit ontstaat 0,5x mol CO_2 en 0,5x mol H_2O .

	[CO ₂]	[H ₂ O]
t_0	0	0
omgezet	+0,5x	+0,5x
t_{ev}	0,5x	0,5x

$$K = 0,5x \times 0,5x = 2,4 \cdot 10^{-4}$$

$$0,25 x^2 = 2,4 \cdot 10^{-4}$$

$$x^2 = 9,6 \cdot 10^{-4}$$

$$x = 3,1 \cdot 10^{-2}$$

$$[\text{CO}_2] = [\text{H}_2\text{O}] = 0,5 \times 3,1 \cdot 10^{-2} = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$$

- c** Als je het vat opent verdwijnen de CO_2 en de waterdamp en zal het evenwicht snel naar rechts aflopen.

B 46

$$a \quad K = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2[\text{O}_2]}$$

- b** In Binas tabel 51 zie je dat de waarde van K afneemt als de temperatuur toeneemt, dus de hoeveelheid SO_3 in het evenwichtsmengsel wordt kleiner bij verhogen van de temperatuur. Het evenwicht verschuift naar links. Het ontstaan van zwaveltrioxide is dus een exotherme reactie.

C 47

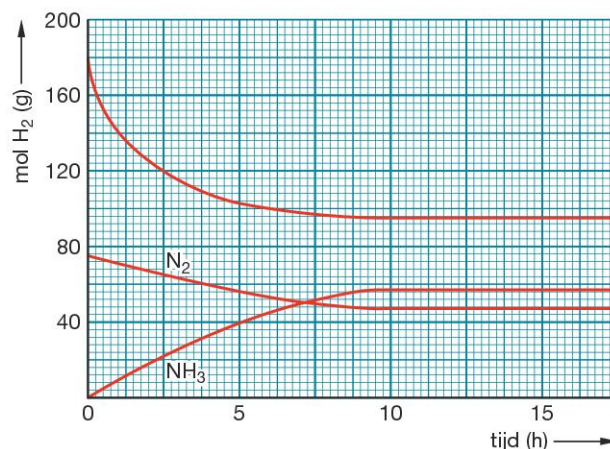
- a** $\text{N}_2(\text{g}) + 3 \text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NH}_3(\text{g})$
- b** In Binas tabel 51 zie je dat de waarde van K afneemt als de temperatuur toeneemt, dus de hoeveelheid NH_3 in het evenwichtsmengsel wordt kleiner bij verhogen van de temperatuur. Het evenwicht verschuift naar links. De reactie naar links is de endotherme reactie.
- c** Bij lage temperatuur is de reactiesnelheid te laag en duurt het te lang voor er een behoorlijke hoeveelheid NH_3 wordt gevormd.
- d** Bij $t = 10$ uur is er evenwicht bereikt.
- e** Uit het diagram is af te lezen dat er bij evenwicht van de 180 mol H_2 nog 95 mol H_2 over is. Er heeft $180 - 95 = 85$ mol H_2 gereageerd. De molverhouding $\text{N}_2 : \text{H}_2 : \text{NH}_3 = 1 : 3 : 2$.

	N_2	H_2	NH_3
t_0	75	180	0
omgezet	-28	-85	+57
t_{ev}	$75 - 28$	$180 - 85$	57

Er is nog 47 mol stikstof in het vat aanwezig.

- f** Er is 57 mol ammoniak ontstaan, zie de tabel.

- g** Zie figuur 7.7.



7.7

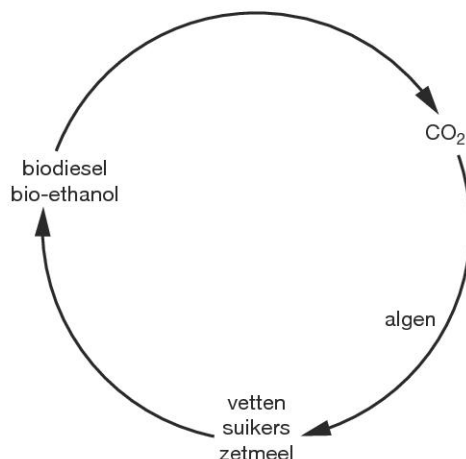
C 48 ★

- a** Bij een volumeverkleining nemen de concentraties van alle stoffen toe. Zowel de heengaande als de teruggaande reactie gaat hierdoor sneller verlopen. De insteltijd wordt daardoor korter.
- b** Aangezien er links van de evenwichtspijl even veel gasdeeltjes staan als rechts, verschuift dit evenwicht niet bij een volumeverkleining. Er is dan bij evenwicht evenveel biomethanol omgezet in benzine als voor de verkleining. Het rendement blijft gelijk. Door de volumeverkleining is wel in een kortere reactietijd het evenwicht bereikt. Dat betekent dat je in kortere tijd je opbrengst verkrijgt. Op lange termijn bekeken verkrijgt je meer opbrengst per tijdseenheid.
- c** De omzetting strookt niet met uitgangspunt 6: energie-efficiënt ontwerpen. Doordat de biomethanol eerst onder hoge druk en temperatuur omgezet moet worden in benzine, gaat er meer energie verloren dan wanneer je het biomethanol rechtstreeks als brandstof had gebruikt.

Afsluiting

1

a Zie figuur 7.8.



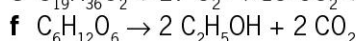
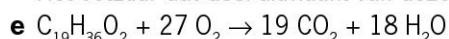
7.8

b In je tekst moet je bespreken:

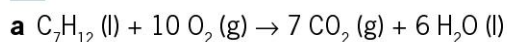
- dat algen CO_2 opnemen en hoe ze dat doen;
- dat bij verbranding van de brandstof uit algen die CO_2 weer vrijkomt;
- dat algen ook uitgestoten CO_2 opnemen van andere processen.

c Olie is een tri-ester van glycerol en vetzuren. Bij omestering reageert deze triester met methanol, een andere alcohol, waarbij glycerol en de methylester van het vetzuur ontstaan.

d In de methylester van de biodiesel zit de estergroep $-\text{COOCH}_3$. De molecuulformule van de biodiesel is $\text{C}_{19}\text{H}_{36}\text{O}_2$, na aftrekken van de estergroep blijft er een $\text{C}_{17}\text{H}_{33}$ -groep over. Het vetzuur dat deel uitmaakt van deze biodiesel is oliezuur. Zie Binas tabel 67B2.



2



b De dichtheid van benzine = $0,72 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3} = 0,72 \text{ kg L}^{-1}$. 26 liter benzine = $26 \times 0,72 = 19 \text{ kg} = 19 \cdot 10^3 \text{ g benzine}$.
Molaire massa van $\text{C}_7\text{H}_{12} = 96,17 \text{ g mol}^{-1}$.

$$19 \cdot 10^3 \text{ g benzine} \triangleq \frac{19 \cdot 10^3 \text{ g}}{96,17 \text{ g mol}^{-1}} = 198 \text{ mol benzine.}$$

Molverhouding $\text{C}_7\text{H}_{12} : \text{CO}_2 = 1 : 7$

Dit levert $7 \times 198 = 1,38 \cdot 10^3 \text{ mol CO}_2$.

Reken het aantal mol om naar het aantal kg CO_2 . Molaire massa $\text{CO}_2 = 44,01 \text{ g mol}^{-1}$.

$$1,38 \cdot 10^3 \text{ mol} \times 44,01 \text{ g mol}^{-1} = 6,07 \cdot 10^4 \text{ g CO}_2 = 61 \text{ kg CO}_2$$

c De toename van de CO_2 -concentratie leidt tot een versterkt broeikaseffect.

d $2,3 \cdot 10^8 \text{ kg C}_2\text{H}_6\text{O} = 2,3 \cdot 10^{11} \text{ g C}_2\text{H}_6\text{O}$. Molaire massa $\text{C}_2\text{H}_6\text{O} = 46,07 \text{ g mol}^{-1}$.

$$2,3 \cdot 10^{11} \text{ g C}_2\text{H}_6\text{O} \triangleq \frac{2,3 \cdot 10^{11} \text{ g}}{46,07 \text{ g mol}^{-1}} = 4,99 \cdot 10^9 \text{ mol C}_2\text{H}_6\text{O}$$

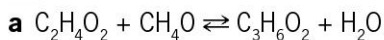
Molverhouding $\text{C}_2\text{H}_6\text{O} : \text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} = 4 : 1$

Nodig $4,99 \cdot 10^9 \text{ mol} : 4 = 1,25 \cdot 10^9 \text{ mol C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$.

Reken om naar het aantal kg suiker. Molaire massa saccharose is $342,3 \text{ g mol}^{-1}$.
 $1,25 \cdot 10^9 \text{ mol} \times 342,3 \text{ g mol}^{-1} = 4,27 \cdot 10^{11} \text{ g C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} = 4,27 \cdot 10^8 \text{ kg C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$

Per hectare wordt $1,1 \cdot 10^4 \text{ kg C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ verbouwd. Nodig is $\frac{4,27 \cdot 10^8 \text{ kg}}{1,1 \cdot 10^4 \text{ kg hectare}^{-1}} = 3,9 \cdot 10^4 \text{ hectare}$.

3



b Zwavelzuur heeft als katalysator geen invloed op de ligging van het evenwicht, maar wel op de insteltijd van het evenwicht. Beide reacties worden op dezelfde manier versneld, waardoor het evenwicht eerder tot stand komt.

c $K = \frac{[\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2][\text{CH}_4\text{O}]}$

d Maak voor de concentraties een tabel.

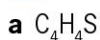
	$[\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2]$	$[\text{CH}_4\text{O}]$	$[\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2]$	$[\text{H}_2\text{O}]$
t_0	0,40	0,60	0	0
omgezet	-0,26	-0,26	+0,26	+0,26
t_{ev}	$0,40 - 0,26 = 0,14$	$0,60 - 0,26 = 0,34$	0,26	0,26

$$K = \frac{0,26 \times 0,26}{0,14 \times 0,34} = 1,4$$

e De molaire massa van methylethanoaat is $74,078 \text{ g mol}^{-1}$. Er is in het evenwichtsmengsel $0,26 \text{ mol}$ methylethanoaat aanwezig. Dit komt overeen met $0,26 \text{ mol} \times 74,078 \text{ g mol}^{-1} = 19 \text{ g}$ methylethanoaat.

f Als methylethanoaat uit het evenwichtsmengsel verdwijnt, loopt de evenwichtsreactie af naar rechts.

4



c Dit is de vanderwaalsbinding (de aantrekkingskracht tussen moleculen onderling).

d Destilleren, gebruikmaken van het verschil in kookpunt

e De dichtheid van benzine = $0,72 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3} = 0,72 \text{ kg L}^{-1}$.

$$5,1 \cdot 10^9 \text{ L benzine} = 5,1 \cdot 10^9 \times 0,72 = 3,67 \cdot 10^9 \text{ kg benzine}$$

Het zwavelgehalte is 250 ppm, dat is $250 \text{ mg} = 250 \cdot 10^{-6} \text{ kg}$ zwavel per kg benzine.

Je hebt $3,67 \cdot 10^9 \text{ kg}$ benzine.

zwavel (kg)	$250 \cdot 10^{-6}$	x
benzine (kg)	1,00	$3,67 \cdot 10^9$

$$\text{Dat bevat } x = \frac{250 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \times 3,67 \cdot 10^9 \text{ kg}}{1,00 \text{ kg}} = 9,2 \cdot 10^5 \text{ kg zwavel}$$

f Vermindering van 250 ppm naar 50 ppm is een afname van 4/5 aan zwavel.

$$4/5 \times 9,2 \cdot 10^5 = 7,34 \cdot 10^5 \text{ kg zwavel} = 7,34 \cdot 10^8 \text{ g zwavel}$$

Molaire massa zwavel (S) = $32,06 \text{ g mol}^{-1}$.

$$7,34 \cdot 10^8 \text{ g zwavel} \triangleq \frac{7,34 \cdot 10^8 \text{ g}}{32,06 \text{ g mol}^{-1}} = 2,29 \cdot 10^7 \text{ mol zwavel}$$

Molverhouding $\text{C}_4\text{H}_4\text{S} : \text{SO}_2 = 1 : 1$

Er ontstaat $2,29 \cdot 10^7 \text{ mol SO}_2$. De molaire massa van SO_2 is $64,06 \text{ g mol}^{-1}$.

Per jaar ontstaat er $2,29 \cdot 10^7 \text{ mol} \times 64,06 \text{ g mol}^{-1} = 1,5 \cdot 10^6 \text{ kg SO}_2$ minder.

5

- a** In de tuinbouw ontstaat na het oogsten van bijvoorbeeld tomaten of paprika's ook veel groenafval. Op termijn is een kleine biomassa-installatie voor de productie van methaan wellicht een mogelijkheid.
- b** Het dichthouden van de kas betekent dat schadelijke insecten niet gemakkelijk naar binnen komen. Dat voorkomt schade aan de gewassen en is kostenbesparend omdat je minder insecticiden moet kopen.
- c** Omdat verlies van waterdamp en CO_2 wordt voorkomen bespaar je fors op de waterkosten en op de kosten voor extra CO_2 .
- d** CO_2 wordt via de fotosynthese omgezet in glucose en glucose wordt weer omgezet in cellulose en zetmeel. Dit zijn stoffen die zorgen voor de groei van planten.
- e** Ze nemen CO_2 af van de industrie, die daarmee haar CO_2 -uitstoot verlaagt.
- f** 1000 volume-ppm betekent dat er per m^3 lucht in de kas $1000 \times 1,00 \text{ cm}^3 = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ CO}_2 = 1,0 \text{ dm}^3 \text{ CO}_2$ aanwezig is.
 Volume CO_2 omrekenen naar mol. $V_m = 24,5 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$, dus delen door V_m .

$$\frac{1,00 \text{ dm}^3}{24,5 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}} = 4,08 \cdot 10^{-2} \text{ mol CO}_2 \text{ in } 1,0 \text{ m}^3$$

Molaire massa CO_2 is $44,01 \text{ g mol}^{-1}$. Mol CO_2 omrekenen naar g.
 $4,08 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \times 44,01 \text{ g mol}^{-1} = 1,8 \text{ g CO}_2 \text{ per m}^3$

6

- a** De theoretische opbrengst: $0,78 \text{ kg 2-methyl-propylbenzeen} \triangleq \frac{0,78 \cdot 10^3 \text{ g}}{133,218 \text{ g mol}^{-1}} = 5,8 \text{ mol}$.

De molverhouding is 1 : 1, dus er kan ontstaan 5,8 mol ibuprofen, dit is
 $5,8 \text{ mol} \times 210,312 \text{ g mol}^{-1} = 1,22 \text{ kg ibuprofen}$.

$$\text{Rendement} = \frac{\text{praktische opbrengst}}{\text{theoretische opbrengst}} = \frac{1,00}{1,22} \times 100\% = 82\%$$

- b** De atoomeconomie is 100%, want er is maar één reactieproduct.
- c** Dit proces is erg duurzaam en/of groen, omdat het een hoog rendement en een hoge atoomeconomie heeft. Een groot deel van de beginstoffen wordt omgezet in reactieproduct en alle atomen van de beginstoffen die omgezet worden komen terug in het product.