

# 3 Organische chemie

## Hout: biobrandstof van de toekomst?

### Praktijk

- 1 a  $2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$   
 $\text{CH}_4(\text{g}) + 2 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$   
 $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + 3 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{CO}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$   
 $2 \text{CO}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{CO}_2(\text{g})$
- b Een auto met een verbruik van 1 liter benzine voor 15 kilometer verbruikt voor een actieradius van 500 kilometer  $\frac{500}{15} = 33,3 \text{ L}$ .
- Dit betekent dat deze auto  $\frac{33,3}{36,5} \times 100 = 91 \text{ kg}$  hout zou moeten meenemen voor dezelfde afstand.
- c Bijvoorbeeld:
- 1 Een houtvergasser met voldoende capaciteit is een grote en zware installatie die niet gemakkelijk op een kleine auto past.
  - 2 Het duurt een behoorlijke tijd voordat de houtvergassing is opgestart, zodat het enige tijd duurt voordat de auto rijklar is. Dat maakt het gebruik van een houtvergasser niet erg praktisch.
  - 3 Een houtvergasser stinkt behoorlijk en stoot relatief veel koolstofmono-oxide en andere giftige stoffen uit.
- 2 a Redenen kunnen bijvoorbeeld zijn:
- 1 Houtblokken moeten steeds worden aangevuld, dat levert veel extra werk op. Houtsnippers en houtpellets kunnen automatisch worden gedoseerd.
  - 2 Houtsnippers en houtpellets zijn veel kleiner dan houtblokken en zullen daarom per kilogram een veel groter contactoppervlak hebben. Ze zullen daarom veel sneller en vollediger kunnen verbranden.
  - 3 Houtsnippers en houtpellets zijn gemakkelijker in een voorraadsilo te storten.
- b 1 De schraapinstallatie zorgt voor het schoonhouden van de verticale wanden van de ketel. Op deze manier kan hout met een rendement van 90-95% worden verbrand.
- 2 De schraapinstallatie zorgt voor het verminderen van de roetuitstoot en andere vervuilende gassen door deze continue naar de asla af te voeren.
- c Gemiddeld is de massa van de drie houtmonsters  $\frac{7,8 + 7,3 + 8,0}{3} = 7,7 \text{ gram}$ .
- Het gemiddelde vochtgehalte is dus  $\frac{10,0 - 7,7}{7,7} \times 100 \% = 30\%$ .
- Conclusie: deze houtvoorraad is te vochtig voor een goede en schone verbranding en moet eerst nog verder worden gedroogd.
- 3 In vochtig hout zit meer vloeibaar water. Bij verbranding moet dit water worden verwarmd en verdampt. De energie die daarvoor nodig is gaat ten koste van de energieopbrengst en de temperatuur van de verbranding. Daardoor verloopt de verbranding minder volledig en ontstaan er meer vervuilende producten.

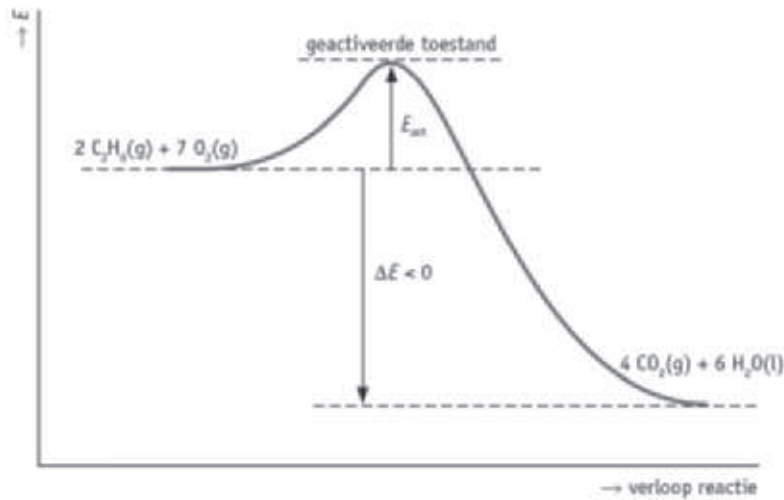
- 4
- a Men wil bereiken dat het gebruik van fossiele brandstoffen afneemt om daarmee de CO<sub>2</sub>-uitstoot te verminderen.
  - b Over de langere periode zullen dergelijke maatregelen CO<sub>2</sub>-neutraal zijn als de binding en de uitstoot van CO<sub>2</sub> met elkaar in evenwicht zijn gekomen en er netto geen CO<sub>2</sub> meer in de atmosfeer vrijkomt.
  - c Als de vraag naar houtpellets toeneemt, zal de prijs ervan toenemen.

# 1 Verbrandingsreacties

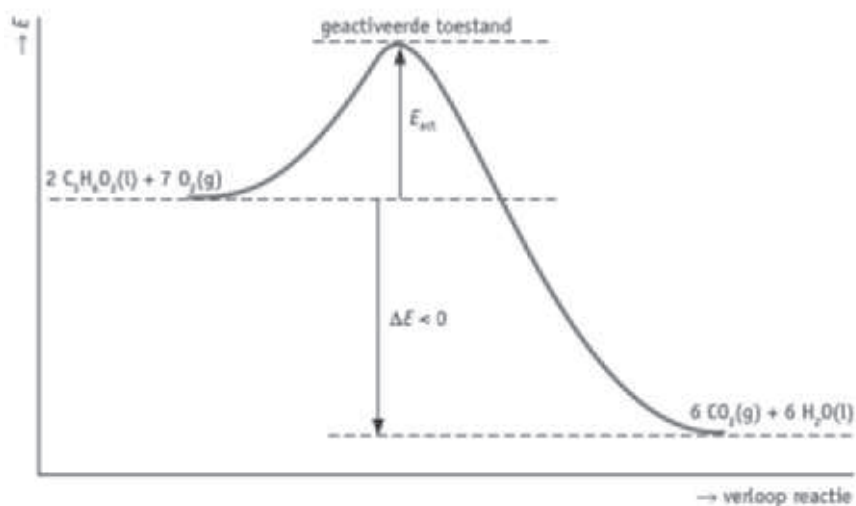
## Opdrachten

- 1
- a Chemische energie wordt omgezet in warmte en licht.
  - b Elektrische energie wordt omgezet in chemische energie.
  - c (Zon)licht wordt omgezet in chemische energie.
  - d Chemische energie wordt omgezet in warmte en arbeid.
  - e Proces a: De verbranding van aardgas is een exotherm proces dat met een vlam moet worden aangestoken. Er is dus activeringsenergie nodig om de verbranding te starten: diagram a.  
Proces b: De elektrolyse van vloeibaar natriumchloride is een endotherm proces. Waarschijnlijk is er extra energie ( $E_{\text{act}}$ ) nodig om het proces te starten. Deze wordt geleverd door de elektrische spanning iets te verhogen: diagram b.  
Proces c: Fotosynthese is een endotherm proces en er is activeringsenergie nodig om dit proces op gang te brengen: diagram b.  
Proces d: Bij de explosie van benzinedamp komt energie vrij. Het is een exotherm proces dat door een vonkje van een bougie voldoende activeringsenergie heeft voor de start van de explosie: diagram a.
- 2
- a Er worden tussen de alcoholmoleculen vanderwaalsbindingen en waterstofbruggen verbroken, terwijl er geen nieuwe worden gevormd. Dit kost energie. Het is dus een endotherm proces.
  - b De ontleding van water verloopt alleen wanneer er elektrische energie wordt toegevoerd. Het is dus een endotherm proces.
  - c Bij het verbranden van hout komt warmte en licht vrij. Het is dus een exotherm proces.
  - d Stollen is het omgekeerde proces van smelten, waarbij juist bindingen minder sterk worden en waarvoor energie nodig is. Bij het stollen komen de moleculen dichter bij elkaar en gaan weer op een vaste plaats zitten. De vanderwaalsbindingen zijn dus sterker geworden. Dit proces is exotherm.

- 3 a  $2 \text{C}_2\text{H}_6(\text{g}) + 7 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 4 \text{CO}_2(\text{g}) + 6 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$   
 b  $2 \text{C}_3\text{H}_8(\text{l}) + 7 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 6 \text{CO}_2(\text{g}) + 6 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$   
 c ethaan bij kamertemperatuur:



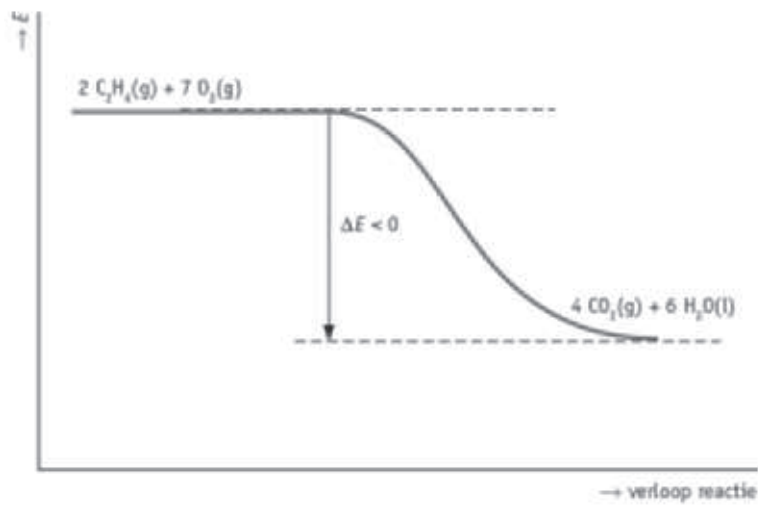
propaanzuur bij kamertemperatuur:



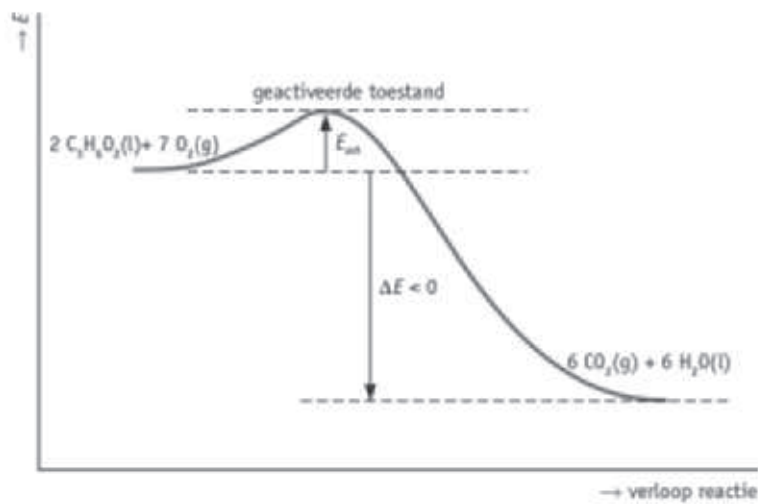
In deze energiediagrammen bij kamertemperatuur is zichtbaar dat propaanzuur een hogere activeringsenergie nodig heeft om de reactie te laten verlopen.

- d Propaanzuur heeft een kookpunt van 414 K, ethaan kookt bij 185 K (Binas tabel 42B). Ethaan is dus al een gas bij kamertemperatuur. Daardoor is er bij kamertemperatuur meer energie nodig om propaanzuur op te warmen en in de gasfase te brengen en zal de activeringsenergie voor deze verbranding hoger zijn.

e ethaan bij 472 °C:



propaanzuur bij 472 °C:



In deze energiediagrammen bij 472 °C is zichtbaar dat propaanzuur wel een activeringsenergie nodig heeft om de reactie te laten verlopen en ethaan niet.

- 4 a  $V = n \cdot V_m$ ;  $V = 2,0 \text{ mol} \times 24,5 \text{ L mol}^{-1} = 49 \text{ L}$   
 b  $V = 2,0 \times 24,5 = 49 \text{ L}$   
 c  $V = 8,9 \cdot 10^{-1} \times 24,5 = 22 \text{ L}$   
 d  $V = 8,9 \cdot 10^{-1} \times 24,5 = 22 \text{ L}$

- 5 a  $n = \frac{V}{V_m} = \frac{5,0 \text{ dm}^3}{24,5 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}} = 0,20 \text{ mol}$   
 b  $n = \frac{5,0}{24,5} = 0,20 \text{ mol}$   
 c  $n = \frac{6,98 \cdot 10^3}{24,5} = 285 \text{ mol}$   
 d  $n = \frac{6,98 \cdot 10^3}{24,5} = 285 \text{ mol}$

$$6 \quad a \quad n = \frac{V}{V_m} = \frac{3,76 \cdot 10^{-3} \text{ L}}{24,5 \text{ L mol}^{-1}} = 1,5347 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

$$M(\text{HCl}) = 36,461 \text{ g mol}^{-1} \text{ (Binas tabel 98)}$$

$$m = n \cdot M = 1,5347 \cdot 10^{-4} \times 36,461 = 5,60 \cdot 10^{-3} \text{ g}$$

$$b \quad n = \frac{V}{V_m} = \frac{5,7}{22,4} = 0,2545 \text{ mol}$$

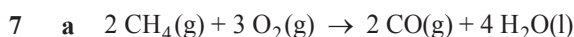
$$M(\text{F}_2) = 2 \times 19,00 = 38,00 \text{ g mol}^{-1}$$

$$m = n \cdot M = 0,2545 \times 38,00 = 9,7 \text{ g}$$

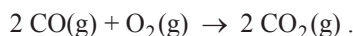
$$c \quad n = \frac{V}{V_m} = \frac{10,0 \cdot 10^3}{24,5} = 4,0816 \cdot 10^2 \text{ mol}$$

$$M(\text{O}_3) = 3 \times 16,00 = 48,00 \text{ g mol}^{-1}$$

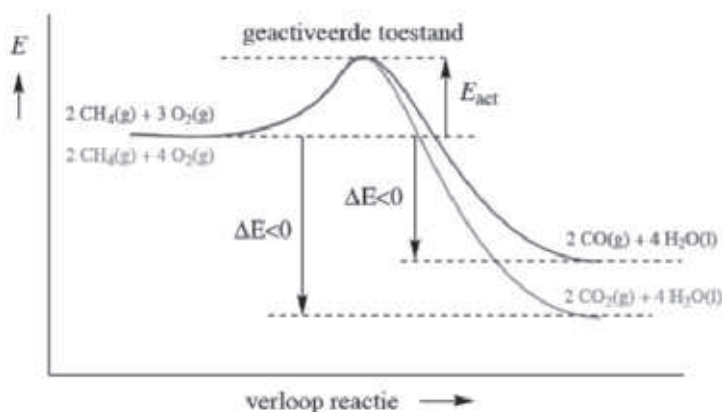
$$\text{massa} = 4,0816 \cdot 10^2 \times 48,00 = 1,96 \cdot 10^4 \text{ g}$$



b Dat geldt ook voor koolstofmono-oxide, want ook CO(g) kan nog verbrand worden:



c



d Om koolstofmono-oxidevergiftiging te voorkomen, is het belangrijk altijd te zorgen voor voldoende en goede ventilatie. Een koolstofmono-oxidemelder kan waarschuwen wanneer er toch een gevaarlijke concentratie CO(g) ontstaat.

\*8 a Het molair volume bij dezelfde temperatuur en druk is voor alle gassen hetzelfde.

$V = n \cdot V_m$ , de omrekenfactor van volume naar mol, is voor elk gas gelijk.

Volumeverhouding en molverhouding zijn bij gassen daardoor aan elkaar gelijk.

$$b \quad \text{In } 1,0 \text{ dm}^3 \text{ lucht bevindt zich } n = \frac{V}{V_m} = \frac{1,0}{24,5} = 0,04082 \text{ mol gassen. Daarvan is } 20,9 \text{ vol\% zuurstof.}$$

$$\text{In } 1 \text{ dm}^3 \text{ lucht bevindt zich dus } \frac{20,9}{100} \times 0,04082 = 8,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol zuurstof.}$$

c Als  $2,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  aardgas per uur wordt verstoekt, wordt er  $2,1 \cdot 10^6 \times 0,80 = 1,68 \cdot 10^6 \text{ m}^3 = 1,68 \cdot 10^9 \text{ dm}^3$  methaan per uur verstoekt.

$$\text{Dat komt bij } T = 298 \text{ K, } p = p_0 \text{ overeen met } n = \frac{V}{V_m} = \frac{1,68 \cdot 10^9}{24,5} = 6,857 \cdot 10^7 \text{ mol methaan.}$$



Er is dus  $2 \times 6,857 \cdot 10^7 \text{ mol} = 1,37 \cdot 10^8 \text{ mol O}_2(\text{g})$  nodig.

$$\text{In } 1 \text{ dm}^3 \text{ lucht zit } 8,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol O}_2(\text{g}), \text{ dus is er } \frac{1,37 \cdot 10^8}{8,5 \cdot 10^{-3}} = 1,6 \cdot 10^{10} \text{ dm}^3 = 1,6 \cdot 10^7 \text{ m}^3 \text{ lucht nodig.}$$

\*9 a De stookwaarde van steenkool is  $29 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1}$ , die van hout  $16 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1}$ .

Dit betekent dat voor dezelfde hoeveelheid energie er een factor  $\frac{29 \cdot 10^6}{16 \cdot 10^6} = 1,8 \times$

zo veel massa aan hout moet worden opgeslagen.

De dichtheid van steenkool is  $1,6 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ , die van vurenhout  $0,58 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ .

Dat betekent dat voor dezelfde massa hout er een factor  $\frac{1,6 \cdot 10^3}{0,58 \cdot 10^3} = 2,8 \times$

zo veel volume aan hout moet worden opgeslagen.

Voor dezelfde hoeveelheid energie moet dus  $1,8 \times 2,8 = 5,0$  maal zo veel volume aan vurenhout worden opgeslagen voor dezelfde hoeveelheid opgewekte elektrische energie. Het volume van het opslagterrein moet dus  $5 \times$  zo groot zijn in vergelijking met steenkool.

b Mogelijke voordelen:

- Er wordt minder steenkool verstoekt.
- Biomassa is in principe een duurzame brandstof.
- Het verbranden van hout is minder vervuilend dan steenkool, tenzij de steenkoolcentrale van een schoon werkend type is.

Mogelijke nadelen:

- Steenkoolcentrales blijven langer in stand, waardoor de bouw van meer duurzame energiecentrales mogelijk zal worden uitgesteld.
- Door het verstoken van hout ontstaat een  $\text{CO}_2$ -schuld en komt er gedurende de eerste veertig jaar meer  $\text{CO}_2(\text{g})$  vrij dan er wordt gebonden.
- De opslagterreinen van energiecentrales moeten flink worden uitgebreid.

c 1,0 kg hout met een vochtgehalte van 30 % betekent dat

$$\frac{x \text{ kg water}}{1,0 \text{ kg vochtig hout} - x \text{ kg water}} \times 100\% = 30\% .$$

De hoeveelheid water in dit hout is dus  $x = \frac{30}{130} \times 1,0 = 0,23 \text{ kg water}$  .

Om 0,23 kg water te verdampen is  $0,23 \text{ kg} \times 2,26 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1} = 0,52 \cdot 10^6 \text{ J}$  nodig.

Om deze hoeveelheid te verwarmen van 20 naar  $800 \text{ }^\circ\text{C}$  is

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 4,18 \cdot 10^3 \times 0,23 \times (800 - 20) = 0,75 \cdot 10^6 \text{ J nodig.}$$

In totaal is dat dus  $0,52 \cdot 10^6 + 0,75 \cdot 10^6 = 1,27 \cdot 10^6 \text{ J}$ .

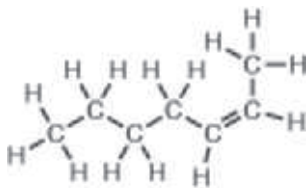
De volledige verbranding van  $1,0 - 0,23 = 0,77 \text{ kg}$  droog hout levert  $0,77 \times 16 \cdot 10^6 = 12,3 \cdot 10^6 \text{ J}$ .

hierbij gaat dus  $\frac{1,27 \cdot 10^6}{12,3 \cdot 10^6} \times 100\% = 10\%$  energie verloren.

## 2 Organische verbindingen

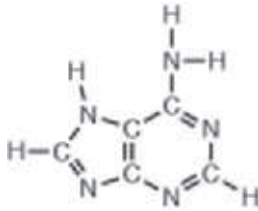
### Opdrachten

10 a Als alle ontbrekende H-atomen worden toegevoegd, wordt de structuurformule:



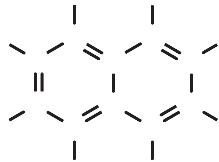
De molecuulformule is dus:  $\text{C}_7\text{H}_{14}$ .

- b Het N-atoom heeft een covalentie van 3 en het C-atoom een covalentie van 4. Dit betekent dat er, naast de twee H-atomen die al zijn aangegeven, nog drie H-atomen moeten worden toegevoegd. De complete structuurformule is dan:



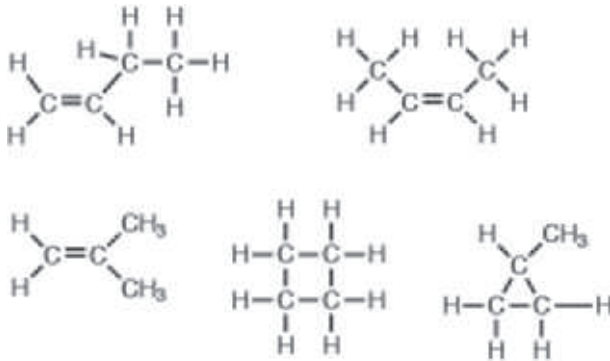
De molecuulformule is dus  $C_5H_5N_5$ .

- c Ieder hoekpunt is een C-atoom, de atoombindingen van de H-atomen zijn niet zichtbaar. Volgens de regels van de covalentie moet ieder C-atoom vier bindingen hebben. Dit betekent dat er nog acht H-atomen moeten worden toegevoegd. De complete structuurformule is dan:




De molecuulformule is dus  $C_{10}H_8$ .

11



- 12 a Propaan heeft drie koolstofatomen en acht waterstofatomen. Met  $n = 3$  kun je berekenen dat er  $2 \times 3 + 2 = 8$  waterstofatomen in een molecuul propaan zijn gebonden.
- b  $C_nH_{2n}$   
 c  $C_nH_{2n-2}$   
 d  $C_nH_{2n-2}$   
 e  $C_nH_{2n-2}$

- \*13 a  $C_8H_{18}(l)$
- b Iso-octaan,  $C_8H_{18}(l)$ , heeft een grotere molecuulmassa dan heptaan,  $C_7H_{16}(l)$ , maar de iso-octaanmoleculen ondervinden kennelijk even sterke onderlinge vanderwaalskrachten als heptaanmoleculen doordat iso-octaan een vertakte koolstofketen heeft.
- c De langgerekte heptaanmoleculen kunnen gemakkelijker in contact komen met zuurstofmoleculen in de lucht waardoor de verbranding gemakkelijker kan plaatsvinden dan bij iso-octaan. In iso-octaan zit immers een aantal C-atomen verscholen achter andere C-atomen.

-  **14** Onverzadigd betekent dat er dubbele bindingen in voor moeten komen. Alifatisch geeft aan dat er geen benzeenring aanwezig is. Het juiste antwoord is dus antwoord B.
- \*15 a** Glucose heeft de molecuulformule  $C_6H_{12}O_6(s)$ . Bij de koppeling van  $n$  moleculen glucose zijn dan  $n$  moleculen water vrijgekomen, die afkomstig zijn uit de glucosemoleculen. De molecuulformule van hout is dan  $(C_6H_{10}O_5)_n(s)$ .
- b**  $(C_6H_{10}O_5) (s) + 6n O_2(g) \rightarrow 5n H_2O(l) + 6n CO_2(g)$

## 3 Systematische naamgeving

### Opdrachten

- 16** De zij-keten wordt dan onderdeel van de hoofdketen. De hoofdketen wordt dus met één C-atoom verlengd.
- 17 a** **Stap 1 stamnaam:** De langste keten waarin alle bijzondere groepen zitten bevat vijf C-atomen. Er zijn geen dubbele/drievoudige bindingen tussen koolstofatomen, dus de uitgang is *-aan-*. De stamnaam is dus *-pentaan-*.  
**Stap 2 achtervoegsel, voorvoegsels en numerieke voorvoegsels:** Er zijn twee takken die uit één C-atoom bestaan, het voorvoegsel wordt dan *-dimethyl-*. Er is één karakteristieke groep (-OH), het achtervoegsel wordt dan *-ol-*.  
**Stap 3 nummering:** De richting van de nummering wordt zodanig gekozen dat de karakteristieke groep (-OH) het laagste plaatsnummer krijgt.  
**Stap 4 plaatsnummers:** Op basis van de gekozen nummeringsrichting worden de plaatsnummers van de voor- en achtervoegsels: *3,4-dimethyl- en 2-ol*.  
**Stap 5 systematische naam:** De systematische naam met de juiste leestekens wordt dan: *3,4-dimethylpentaan-2-ol*
- b** **Stap 1 stamnaam:** De langste keten waarin alle bijzondere groepen zitten bevat vijf C-atomen. De stam is dus *-pent-*. Er zijn twee dubbele bindingen tussen koolstofatomen, dus de uitgang is *-dieen-*. De stamnaam is dus *-pentadieen-*.  
**Stap 2 achtervoegsel, voorvoegsels en numerieke voorvoegsels:** Er is één tak die uit één C-atoom bestaat, dus het voorvoegsel wordt *-methyl-*.  
**Stap 3 nummering:** De richting van de nummering wordt zodanig gekozen dat de dubbele bindingen de laagste plaatsnummers krijgen.  
**Stap 4 plaatsnummers:** Op basis van de gekozen nummeringsrichting worden de plaatsnummers van de voorvoegsel en de uitgang *4-methyl- en -1,3-dieen*.  
**Stap 5 systematische naam:** De systematische naam met de juiste leestekens wordt dan: *4-methylpenta-1,3-dieen*.
- c** **Stap 1 stamnaam:** De langste keten waarin alle bijzondere groepen zitten bevat zes C-atomen. Er is één drievoudige binding tussen koolstofatomen, dus de stamnaam is *-hexyn-*.  
**Stap 2 achtervoegsel, voorvoegsels en numerieke voorvoegsels:** Er is een aminogroep als karakteristieke groep, dus het achtervoegsel wordt *-amine*. Er is één tak die uit één C-atoom bestaat, de naam hiervan wordt *-methyl-*.  
**Stap 3 nummering:** De richting van de nummering wordt zodanig gekozen dat het achtervoegsel het laagste plaatsnummer krijgt.  
**Stap 4 plaatsnummers:** Op basis van de gekozen nummeringsrichting worden de plaatsnummers van het voorvoegsel, uitgang en achtervoegsel *3-methyl-, -5-yn en -3-amine*.  
**Stap 5 systematische naam:** De systematische naam met de juiste leestekens wordt dan: *3-methylhex-5-yn-3-amine*



**d Stap 1 stamnaam:** De langste keten waarin alle bijzondere groepen zitten bevat vier C-atomen. Er zijn geen dubbele bindingen, dus de stamnaam wordt *-butaan-*.

**Stap 2 achtervoegsel, voorvoegsels en numerieke voorvoegsels:** Er zijn twee karakteristieke groepen waarvan de COOH-groep het hoogste in Binas tabel 66D staat. Het achtervoegsel is dus *-zuur*. De voorvoegsels worden dan *hydroxy-* en *methyl-*.

**Stap 3 nummering:** De richting van de nummering wordt zodanig gekozen dat het achtervoegsel het laagste plaatsnummer krijgt.

**Stap 4 plaatsnummers:** Op basis van de gekozen nummeringsrichting worden de plaatsnummers van het voorvoegsel en het achtervoegsel *3-hydroxy*, *2-methyl* en *-zuur*.

**Stap 5 systematische naam:** De systematische naam met de juiste leestekens wordt dan: *3-hydroxy-2-methyl-butaanzuur*.

**e Stap 1 stamnaam:** Deze cyclische verbinding bevat vijf C-atomen. Er is één dubbele binding tussen koolstofatomen, dus de stamnaam is *-cyclopenteen-*.

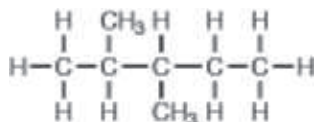
**Stap 2 achtervoegsel, voorvoegsels en numerieke voorvoegsels:** Er zijn twee methylgroepen aan de stam, dus het voorvoegsel wordt *-dimethyl-*.

**Stap 3 nummering:** Er zijn geen karakteristieke groepen, dus de nummering begint bij de dubbele binding, waarna de nummering over de dubbele binding via de kortste weg naar de eerstvolgende zijketen verloopt. De takken krijgen hierdoor de laagste plaatsnummers.

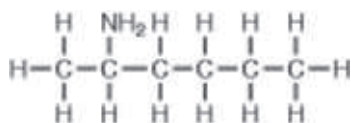
**Stap 4 plaatsnummers:** Op basis van de gekozen nummeringsrichting worden de plaatsnummers van de voorvoegsels en de uitgang *3,4-dimethyl-* en *een* (-1- wordt niet vermeld voor *een*, want in een cycloalkaan begint de dubbele binding altijd op plaatsnummer 1).

**Stap 5 systematische naam:** De systematische naam met de juiste leestekens wordt dan: *3,4-dimethylcyclopenteen*.

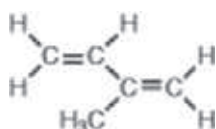
- 18 a** De stamnaam is *-pentaan-*, dat betekent dat er vijf C-atomen achter elkaar met enkelvoudige bindingen moeten worden getekend. Er kan in deze stam van links of van rechts worden genummerd. Op plaats 2 en plaats 3 moet dan een methylgroep worden getekend. Ten slotte moeten de benodigde H-atomen worden toegevoegd. Dit levert de volgende structuurformule:



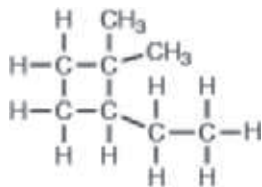
- b** De stamnaam is *hexaan-*, dus teken je eerst zes C-atomen met uitsluitend enkelvoudige bindingen. Op plaatsnummer 2 van een van de uiteinden zit een aminegroep. Tot slot worden de H-atomen toegevoegd die nodig zijn volgens de regels van de covalentie. De structuurformule wordt dan:



- c** Isopreen is een triviale naam. Binas tabel 66A vermeldt de systematische naam *2-methylbuta-1,3-dieen*. De stamnaam is *-buta-1,3-dieen*, dus moeten er vier C-atomen aan elkaar worden getekend met na het eerste en derde C-atoom een dubbele binding. De nummering ligt nu vast waardoor de methylgroep op plaats 2 moet worden getekend. Met de toegevoegde H-atomen wordt de structuurformule:



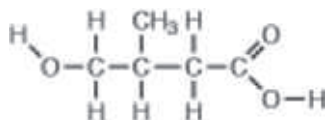
- d De stamnaam is *cyclobutaan*, dus teken je vier C-atomen die met enkelvoudige bindingen in een ringstructuur met elkaar zijn verbonden. Omdat er geen uiteinde is, kan bij ieder C-atoom de plaatsnummering starten. Eenmaal gekozen blijft deze nummering gelden. Op plaats 1 worden dan twee methylgroepen getekend en op plaats 2 een ethylgroep. Na toevoeging van de benodigde H-atomen wordt de structuurformule:



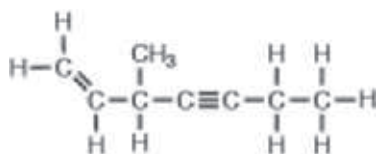
- e De stamnaam is *-etheen*, dus teken je twee C-atomen waartussen een dubbele binding zit. Er zijn drie Cl-atomen als karakteristieke groepen. De plaatsnummers (1,1,2-) mogen worden weggelaten, omdat dit molecuul maar op één manier in elkaar kan worden gezet. Er moet nog één H-atoom worden toegevoegd. De structuurformule is dus:



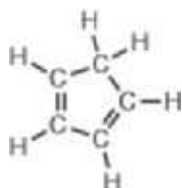
- f De stam is *butaan-*, dat zijn vier C-atomen die met enkelvoudige bindingen aan elkaar zitten. Aan één uiteinde zit een zuurgroep, het C-atoom van deze groep krijgt dus plaatsnummer 1. Dan zit op plaatsnummer 4 een -OH-groep. Op plaatsnummer 3 moet een methylgroep worden getekend. Daarna moeten de resterende H-atomen worden toegevoegd volgens de regels van de covalentie. De structuurformule wordt dan:



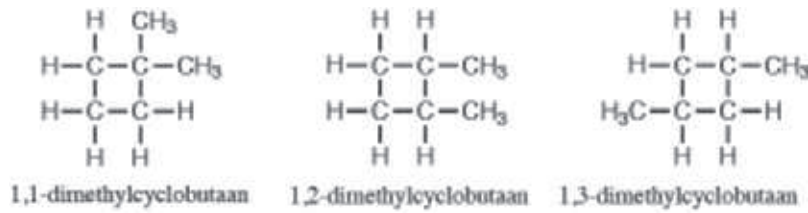
- g De stamnaam is *-hept-1-een-4-yn*. Dit zijn zeven C-atomen met een dubbele binding na C-atoom 1 en een drievoudige binding na C-atoom 4. Op plaats 3 moet nog een methylgroep worden getekend. Na toevoeging van het juiste aantal H-atomen wordt de structuurformule:



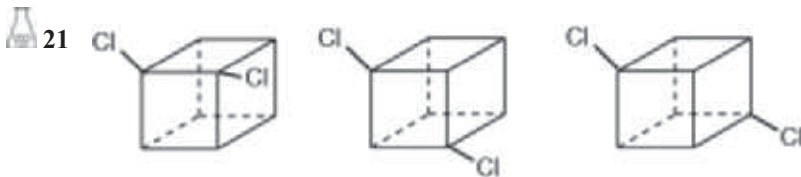
- h De stamnaam is *cyclopenta-1,3-dieen*. Dit zijn vijf C-atomen die in een ringstructuur zijn verbonden. De plaatsnummering kan op ieder C-atoom starten. Na C-atoom 1 en C-atoom 3 moet een dubbele binding worden getekend. Na toevoeging van het juiste aantal H-atomen ontstaat de volgende structuurformule:



- 19 a Als er zich maar één substituent aan een cyclische verbinding bevindt, zit deze altijd op plaats 1.  
b

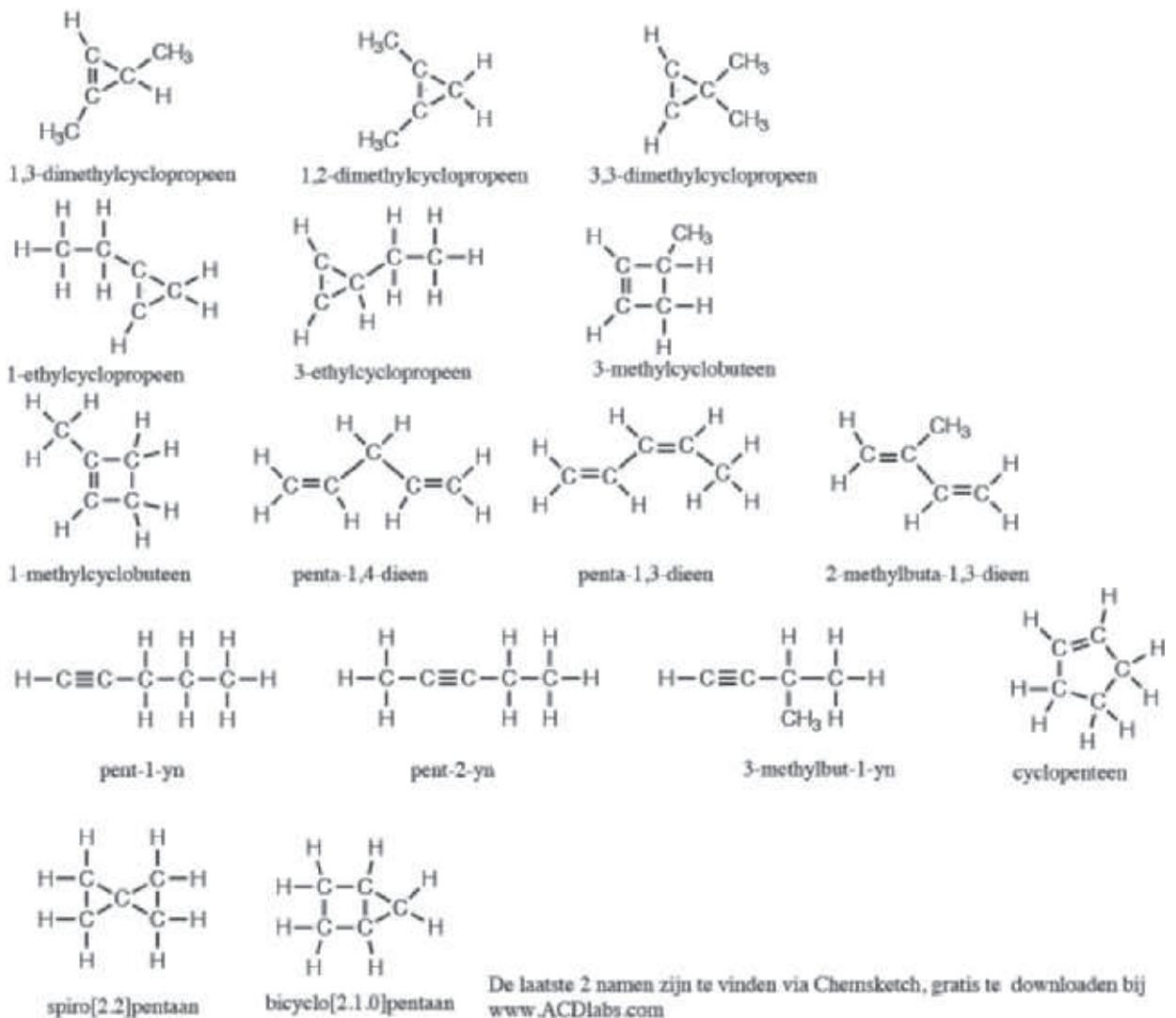


- 20 Alle verbindingen bevatten zes C-atomen. Hexaan is verzadigd en niet-cyclisch en bevat dus de meeste H-atomen. Het juiste antwoord is antwoord B.



Het antwoord is C.

\*22



De laatste 2 namen zijn te vinden via ChemsSketch, gratis te downloaden bij [www.ACDlabs.com](http://www.ACDlabs.com)

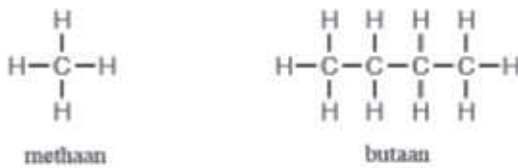
- \*23 a 1,3,4,5-tetrahydroxypentaaan-2-on  
 b 2,3-dihydroxypropaanzuur  
 c 2,3-hydroxypropanal

## 4 Fossiele brandstoffen

### Opdrachten

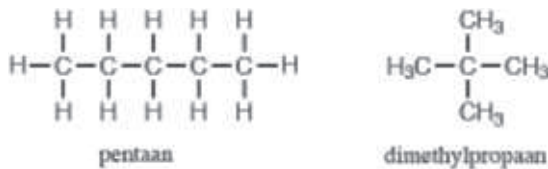
24 De vorming van aardolie, aardgas en steenkool vindt plaats onder hoge druk en temperatuur. Hierbij treedt thermolyse op. Dit is een endotherm proces.

25 a



Door de kleinere molecuulmassa heeft methaan een zwakkere vanderwaalsbinding en dus een lager kookpunt. Methaan zal dus het hoogst van de kolom afkomen.

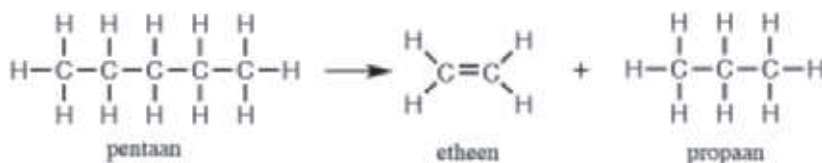
b



Pentaaan en dimethylpropan hebben beide dezelfde molecuulmassa. Dimethylpropan is echter vertakt en zal dus door het kleinere contactoppervlak een zwakkere vanderwaalsbinding hebben. Dimethylpropan heeft dus het laagste kookpunt en komt daardoor het hoogst van de kolom af.

- 26 a  $\text{CO}(\text{g}) + 2 \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CH}_4\text{O}(\text{l})$   
 b  $\text{CH}_4(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 4 \text{H}_2(\text{g})$   
 c  $\text{CO}_2(\text{g}) + 3 \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CH}_4\text{O}(\text{l}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$   
 d Methanol en het water zijn beide vloeistoffen. Water heeft een veel hoger kookpunt (100 °C) dan methanol (65 °C, zie Binas tabel 42B). Destillatie is dus een geschikte scheidingsmethode.
- 27 a Destillatie is een scheidingsmethode op basis van verschil van kookpunt. Koolwaterstofmoleculen worden in de vloeibare fase bij elkaar gehouden door vanderwaalsbindingen. Als de koolwaterstoffen gaan koken, worden deze vanderwaalsbindingen verbroken; bij condensatie worden ze weer gevormd. Het koolwaterstof zelf blijft daarbij intact.  
 b Destillatie is een scheidingsmethode; dat is geen chemische reactie, want er worden geen atoombindingen verbroken.  
 c Kraken is een ontledingsreactie waarbij relatief lange moleculen in kleinere moleculen worden afgebroken. Daarbij worden er atoombindingen verbroken en gevormd, het is dus een chemische reactie.

- 28 a Wanneer een molecuul van een verzadigde koolwaterstof breekt, ontstaan er twee extra uiteinden. Daarvoor zijn twee extra H-atomen nodig. Aangezien die er bij ontleding niet zijn, ontstaat een dubbele C=C-binding, dus een alkeen.
- b Een voorbeeld van een goed antwoord is:

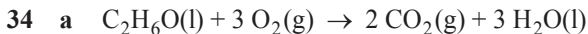


- c Een geschikte scheidingsmethode is destillatie.
- d De laatste fractie mag gasvormig blijven. Dat is in dit geval methaan. Er moet worden gekoeld tot het moment dat etheen vloeibaar is en methaan nog gasvormig. Dat is bij 169 K (Binas tabel 12).
- 29 a Aardgas met een stookwaarde boven de  $35,8 \text{ MJ m}^{-3}$  zal relatief veel ethaan en propaan bevatten. Deze gassen hebben een hogere energie-inhoud.
- b Aardgas met een stookwaarde onder de  $35,8 \text{ MJ m}^{-3}$  zal relatief veel stikstof en koolstofdioxide bevatten. Deze gassen dragen niet bij aan de stookwaarde.
- 30 Aardoliefracties zijn mengsels, geen zuivere stoffen. De faseovergang zal niet bij één temperatuur plaatsvinden, maar in een temperatuurgebied. Dit heet een kooktraject.
- 31 a De brandstof bleef dan beter op het doelwit zitten, waardoor de kans op een succesvolle brandstichting groter was.
- b Door de olie te verhitten, werd deze vloeibaarder en dus gemakkelijker te pompen en tot ontbranding te brengen.
- c Bij een onrustige zee en onstuimige wind was de kans veel te groot dat het eigen schip vlam vatte.
- 32 a Bij het verbranden van zwavelhoudende brandstoffen ontstaat zwaveldioxide, dat is schadelijk voor mens en milieu.
- b
- 
- c 3-aminopropaan-1-thiol en 1-sulfanylpropan-1-ol.
- d  $\text{CH}_4\text{S} + \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{S}$
- e  $2 \text{H}_2\text{S}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{S}(\text{s}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{l})$

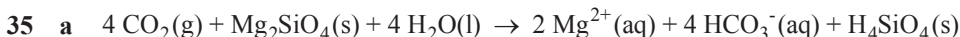
- \*33 a  $2 \text{C}_{135}\text{H}_{90}\text{O}_9\text{NS}(\text{s}) + 308 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 270 \text{CO}_2(\text{g}) + 90 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) + \text{N}_2(\text{g}) + 2 \text{SO}_2(\text{g})$
- b Door te spreken van een molecuulformule, suggereer je dat er steenkoolmoleculen bestaan die 135 C-atomen, 90 H-atomen, 9 O-atomen, 1 N- en 1 S-atoom bevatten. Dat is niet zo. De atomen zijn allemaal met elkaar in een willekeurig opgebouwd netwerk verbonden, waarin de atomen voorkomen in de verhouding 135 : 90 : 9 : 1 : 1.
- c Omdat steenkool niet uit moleculen bestaat, is er ook geen vaste temperatuur waarbij moleculen uit het rooster kunnen breken of helemaal los van elkaar komen.
- d Bij extreem hoge temperatuur worden de atoombindingen verbroken. Steenkool ontleedt dan.
- e Bij een verzadigde koolwaterstof ( $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ ) komen op 135 C-atomen 272 H-atomen voor. In steenkool slechts 90. Steenkool zal dus veel dubbele bindingen en/of ringstructuren moeten bevatten.

## 5 Duurzame brandstoffen

### Opdrachten



- b Uit de gegevens van Binas tabel 28B blijkt dat de stookwaarde van ethanol ongeveer 30% lager ligt dan die van benzine. Op een volle tank bio-ethanol kom je dan ook 30% minder ver dan op een volle tank benzine.



- b 180 megaton komt overeen met  $180 \cdot 10^6 \times 1000 = 180 \cdot 10^9 \text{ kg} = 180 \cdot 10^{12} \text{ gram}$ .

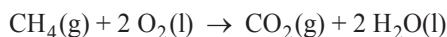
$M(CO_2) = 44,010 \text{ g mol}^{-1}$  (Binas tabel 98).

$$n = \frac{m}{M} = \frac{180 \cdot 10^{12}}{44,010} = 4,09 \cdot 10^{12} \text{ mol } CO_2(g)$$

$CO_2(g)$  en  $Mg_2SiO_4(s)$  reageren in een molverhouding van 4 : 1. Om  $CO_2(g)$  te binden is dus  $\frac{1}{4} \times 4,09 \cdot 10^{12} \text{ mol } Mg_2SiO_4$  nodig.  $M(Mg_2SiO_4) = 2 \times 24,31 + 28,09 + 4 \times 16,00 = 140,71 \text{ g mol}^{-1}$ .

Er is dus  $\frac{1}{4} \times 4,09 \cdot 10^{12} \times 140,71 = 1,44 \cdot 10^{14} \text{ gram } Mg_2SiO_4$  nodig. Dit komt overeen met  $1,44 \cdot 10^8 \text{ ton olivijn}$ .

- 36 a De reactievergelijking van de volledige verbranding van methaan is:



Per mol methaan komt dus één mol  $CO_2(g)$  vrij.

Het molair volume  $V_m = 24,5 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$  bij  $T = 298 \text{ K}$  en  $p = p_0$ .

Tijdens de verbranding van  $1,00 \text{ m}^3$  methaan komt  $\frac{1000}{24,5} = 40,8 \text{ mol}$

$CH_4 = 40,8 \text{ mol } CO_2(g)$  vrij.

- b De stookwaarde van methaan bedraagt  $35,8 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-3}$ .

Omdat bij de verbranding van  $1,00 \text{ m}^3$  methaan er  $40,8 \text{ mol } CO_2$  vrijkomt,

komt er per joule  $\frac{40,8}{35,8 \cdot 10^6} = 1,14 \cdot 10^{-6} \text{ mol } CO_2(g)$  vrij.

- c In één mol steenkool,  $C_{135}H_{90}O_9NS(s)$ , bevinden zich 135 mol C-atomen.

Er ontstaat dus 135 mol  $CO_2$  per mol steenkool.

- d  $M(\text{steenkool}) = 135 \times 12,01 + 90 \times 1,008 + 9 \times 16,00 + 14,01 + 32,06 = 1902,14 \text{ g mol}^{-1}$ .

in  $1,0 \text{ kg}$  bevindt zich dus  $\frac{1000}{1902,14} = 0,53 \text{ mol steenkool}$

- e  $135 \cdot 0,53 = 71 \text{ mol } CO_2$

- f De stookwaarde van steenkool bedraagt  $29 \cdot 10^6 \text{ J kg}^{-1}$ .

$\frac{71}{29 \cdot 10^6} = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ mol } CO_2$  per joule

- g Bij dezelfde warmteopbrengst van 1 joule komt er bij aardgas  $1,14 \cdot 10^{-6} \text{ mol } CO_2$  vrij en bij steenkool  $2,4 \cdot 10^{-6} \text{ mol } CO_2$ . Dat betekent dat bij dezelfde warmteopbrengst er bij steenkool  $2,1 \times$  zo veel  $CO_2$  vrijkomt. Dat maakt aardgas met betrekking tot de  $CO_2$ -uitstoot per geleverde joule een veel schonere brandstof dan steenkool.

- 37 a Er is zo veel natuurlijk water aanwezig op onze planeet, dat het zinloos is de hoeveelheid waterdamp te willen verminderen.

- b Doordat de temperatuur is gestegen, heeft er meer verdamping van water plaatsgevonden.

- c In de grotendeels bevroren moerasgebieden in Siberië zit een grote hoeveelheid moerasgas (methaan) opgesloten. Door het smelten van de moerassen komt dat gas vrij, wat het broeikaseffect versterkt.
- 38 Elektriciteit is CO<sub>2</sub>-neutraal wanneer ze wordt opgewekt met behulp van duurzame energiebronnen, zoals wind- en zonne-energie of waterkracht.
- 39 a Een boom uit een regenwoud is vaak honderden jaren oud. Door de boom te kappen en te verbranden, komt alle CO<sub>2</sub>(g) die gedurende eeuwen is opgeslagen in korte tijd vrij. Tropisch hardhout is dus beperkt CO<sub>2</sub>-neutraal, maar wel beter dan fossiele brandstoffen.
- b Visafval zou normaal gesproken wegrotten of worden verbrand in een verbrandingsoven. Bij beide processen komt CO<sub>2</sub> vrij. Door er biogas uit op te wekken, wordt de energie die nog in het afval zit nuttig gemaakt. De CO<sub>2</sub> die bij de verbranding van het biogas vrijkomt, is geen extra CO<sub>2</sub>-belasting en het biogas is dus CO<sub>2</sub>-neutraal.
- c Waterstof wordt altijd gemaakt met behulp van een energiebron. Afhankelijk van de energiebron is waterstofgas CO<sub>2</sub>-neutraal of niet.
- d Sporkelhout uit een oerbos was anders verrot. Bij het rottingsproces komt ook CO<sub>2</sub> vrij. Door het sporkelhout te verbranden, komt er dus geen extra CO<sub>2</sub> vrij. Elektriciteitsopwekking op basis van sporkelhout is CO<sub>2</sub>-neutraal, want de koolstof zit al in de koolstofkringloop.
- 40 Suikerriet, mais en tarwe zijn voedselgewassen. Door ze te gebruiken voor brandstofproductie kan de voedselprijs in tijden van schaarste stijgen. Er kan ook een tekort aan voedsel optreden, waardoor hongersnood kan ontstaan in delen van de wereld.
- 41 De lucht van binnensteden is door de grote hoeveelheid verkeer vaak ernstig vervuild. Door bussen op waterstofgas of elektriciteit te laten rijden, stoot het openbaar vervoer in ieder geval geen giftige gassen en fijnstof uit.

### Eindopdracht Hout

- 42 a Het massapercentage C in steenkool is
- $$\frac{135 \times 12,01}{135 \times 12,01 + 90 \times 1,008 + 9 \times 16,00 + 14,01 + 32,06} \times 100\% = 86 \text{ massa\%}$$
- Het massapercentage C in hout is
- $$\frac{6 \times 12,01}{6 \times 12,01 + 10 \times 1,008 + 5 \times 16,00} \times 100\% = 44 \text{ massa\%}$$
- Het massapercentage C in aardgas is
- $$\frac{12,01}{12,01 + 4 \times 1,008} \times 100\% = 74 \text{ massa\%}$$
- b De stookwaarde van aardgas bereken je met behulp van het molair volume en de molaire massa van aardgas:
- $$\frac{32 \text{ MJ m}^{-3} \times 2,24 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}}{16,043 \text{ g mol}^{-1}} \times 10^3 \text{ g kg}^{-1} = 45 \text{ MJ kg}^{-1}$$
- c Antwoorden kunnen zijn:
- Kernenergie, want daar komt geen CO<sub>2</sub> bij vrij. Het nadeel is het gevaar en radioactieve vervuiling als er iets misgaat. En er ontstaat radioactief afval.
  - Waterstofproductie en -verbruik, omdat daar ook geen CO<sub>2</sub> bij is betrokken. Nadelen zijn de hoge kosten en transport- en opslagproblemen.
  - Biomassa, alleen zal er dan strijd ontstaan om productiegronden.
  - Verbranden van houtsnippers uit de regio om daarmee de transportkosten te verminderen. Toch zijn er ook mensen die stellen dat 'de techniek' dit probleem in de toekomst 'vanzelf' oplost.

**d** In  $7,0 \text{ m}^3$  houtsnippers zit  $7,0 \times 0,40 = 2,8 \text{ m}^3$  massief hout.

Dit is dus  $2,8 \text{ m}^3 \times 0,58 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3} = 1,62 \text{ ton}$  hout.

Uit figuur 23 is af te lezen dat bij een vochtgehalte van 40% dit 2800 kWh/ ton aan energie oplevert.

1,62 ton van dit hout levert dan  $1,62 \times 2800 = 4536 \text{ kWh}$ .

20 liter benzine heeft een stookwaarde van  $20 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \times 9,2 \cdot 10^3 \text{ kWh m}^{-3} = 184 \text{ kWh}$ .

Dit betekent dat er  $\frac{184}{4536} \times 100\% = 4,1\%$  aan stookenergie is verbruikt aan het omzagen en snipperen van de bomen.

**e** Voor 17 miljoen inwoners is voor de productie van voldoende biomassa 17 miljoen ha nodig. Op dit moment is er 570 000 ha beschikbaar.

Deze oppervlakte zal  $\frac{570\,000}{17 \cdot 10^6} \times 100\% = 3,3\%$  van de huidige huishoudelijke energieproductie

kunnen produceren.

**f** Antwoorden kunnen zijn:

- Meer bos aanplanten. De totale oppervlakte van Nederland is 34 miljoen hectare. De helft daarvan zou alle huishoudelijke energiebehoefte in Nederland kunnen dekken.
- Meer zonne-energie, windenergie en waterkrachtenergie inzetten.
- Bezuinigen met energie.
- Biomassa betrekken uit het buitenland.