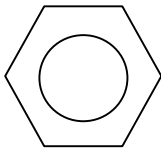
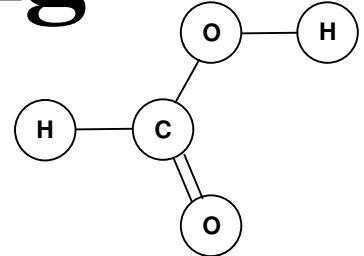
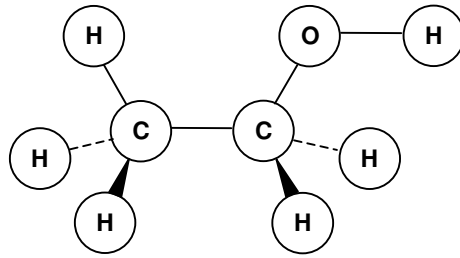
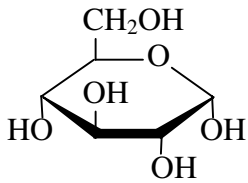
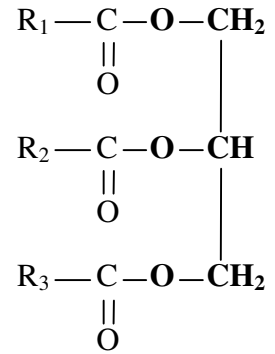
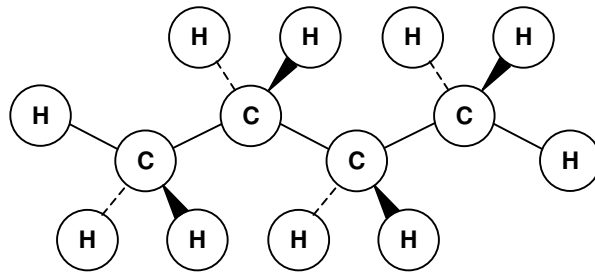


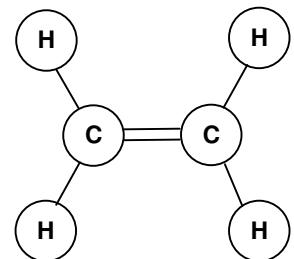
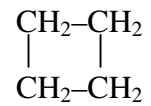
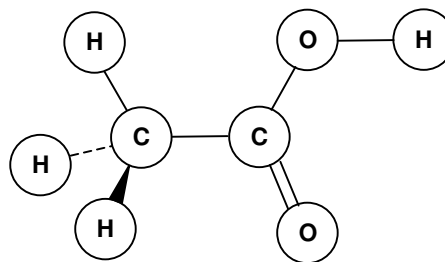
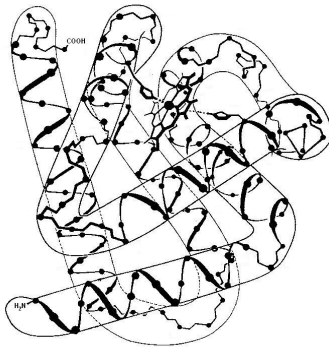
Een inleiding



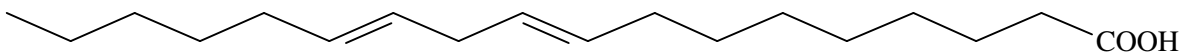
in de



organische chemie



Werkblad voor 4-VWO



Inleiding

Organische chemie is de scheikunde van *organische stoffen*, van verbindingen met *koolstof*. Levende organismen worden grotendeels uit deze *koolstofverbindingen* gevormd, maar nog afgezien daarvan spelen ze ook een belangrijke rol in ons dagelijks leven. Denk maar eens aan fossiele brandstoffen (benzine, kerosine, aardgas, enz.), oliën, vetten, eiwitten, suikers, alcohol, kunststoffen, medicijnen, enz. Om alle soorten koolstofverbindingen die daarin voorkomen hier te behandelen gaat te ver, maar met een aantal zul je in dit werkblad kennis maken.

Inhoud

§ 1 Alkanen	5
§ 2 Isomerie	9
§ 3 Fysische eigenschappen van alkanen	11
§ 4 Aardolie	12
§ 5 Alkoholen	15
§ 5.1 Alkanolen	15
§ 5.2 Alkaandiolen en alkaantriolen.....	18
§ 6 Carbonzuren en vetten.....	19
§ 6.1 Carbonzuren	19
§ 6.2 Vetzuren	21
§ 6.3 Omega-3-, omega-6- en omega-9-vetzuren	22
§ 6.4 Vetten	23
§ 7 Aminen, aminozuren en eiwitten	25
§ 7.1 Aminen.....	25
§ 7.2 Aminozuren.....	27
§ 7.3 Natuurlijke aminozuren.....	27
§ 7.4 Peptidebinding.....	29
§ 7.5 Eiwitten	30
§ 8 Onverzadigde koolwaterstoffen en ringverbindingen	32
§ 8.1 Alkenen en alkynen.....	32
§ 8.2 Cycloalkanen:.....	33
§ 8.3 Aromatische koolwaterstoffen:	34
§ 9 Koolhydraten	36
§ 9.1 Mono- en disachariden (suikers).....	36
§ 9.2 Polysachariden (zetmeel, cellulose en glycogeen).....	37
§ 10 Overzicht	39
§ 10.1 Overzicht van koolwaterstoffen en karakteristieke groepen.....	39
§ 10.2 Overzicht van de naamgeving.....	40
Bronnen	42
Extra oefenopgaven.....	43

© 2006 Peter van Rossum, Open Schoolgemeenschap Bijlmer, Amsterdam-Zuidoost.

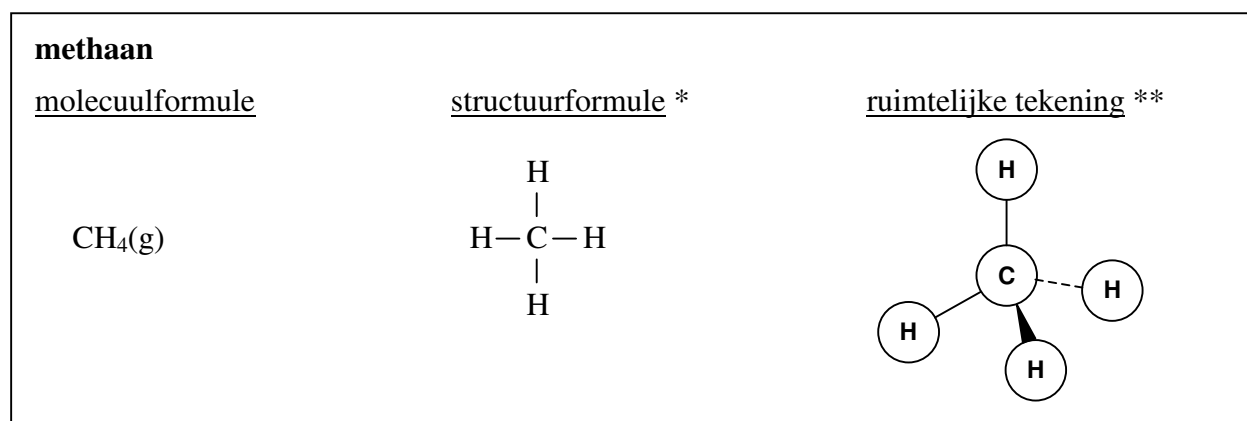
§ 1 Alkanen

Een belangrijke groep koolstofverbindingen vormen de *koolwaterstoffen*. Dit zijn stoffen die bestaan uit de elementen koolstof (C) en waterstof (H). De moleculen van koolwaterstoffen bevatten dus C-atomen en H-atomen. Met een aantal koolwaterstoffen heb je al kennis gemaakt. Denk maar eens aan methaan ($\text{CH}_4(\text{g})$) en butaan ($\text{C}_4\text{H}_{10}(\text{g})$). Deze moleculen heb je mogelijk al eens nagebouwd met een moleculenbouwdoos.

Maar wat nu precies zijn koolwaterstoffen? Dat is niet zo eenvoudig te zeggen. Er bestaan namelijk heel veel verschillende soorten koolwaterstoffen. Eén belangrijke groep van koolwaterstoffen vormen de *alkanen*. Tot deze groep behoren methaan en butaan, maar bijvoorbeeld ook ethaan ($\text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$), propaan ($\text{C}_3\text{H}_8(\text{g})$), pentaan ($\text{C}_5\text{H}_{12}(\text{l})$) en hexaan ($\text{C}_6\text{H}_{14}(\text{l})$).

Laten we beginnen met het gasvormige *methaan*. Dit bestaat uit moleculen die elk één C-atoom bevatten, waaraan 4 H-atomen gebonden zijn (zie Figuur 1). De *molecuulformule* van methaan is daarom $\text{CH}_4(\text{g})$. Een *structuurformule** of een *ruimtelijke tekening*** geeft echter veel meer inzicht in de opbouw van het methaanmolecuul. Figuur 1 laat dit zien.

Opdracht 1. Bouw met de moleculenbouwdoos maar eens een methaanmolecuul na en vergelijk dit met de structuurformule en de ruimtelijke tekening in Figuur 1. □



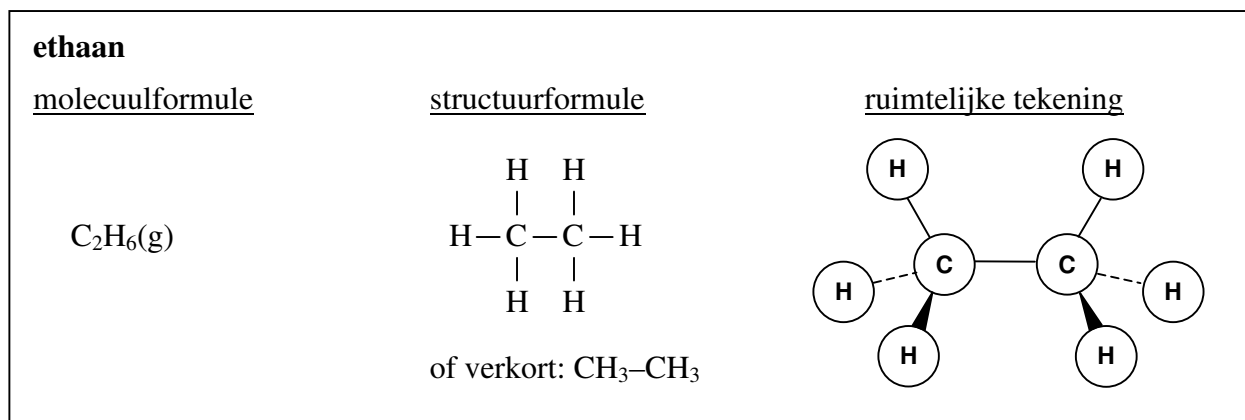
Figuur 1. Molecuulformule, structuurformule en ruimtelijke tekening van methaan.

* In een structuurformule (of Kekuléformule, genoemd naar de Duitser August Kekulé, die in 1858 de grondlegger was van de organische chemie) laten de streepjes zien welke atomen in een molecuul aan elkaar gebonden zijn.

** In de ruimtelijke tekening geeft een rechte lijn een binding aan tussen atomen die in hetzelfde vlak als het papier liggen. Een vet driehoekje geeft een binding aan die naar voren wijst en een streepjeslijn een binding die naar achteren wijst. Deze manier van moleculen tekenen wordt de Sawhorse-projectie genoemd.

Als we in een methaanmolecuul ($\text{CH}_4(\text{g})$) één H-atoom vervangen door een C-atoom, waaraan 3 H-atomen gebonden zijn (een zogenaamde *methylgroep* ($-\text{CH}_3$)), dan krijgen we het gasvormige *ethaan*. In ethaan ($\text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$) bestaat elk molecuul uit 2 aan elkaar gebonden C-atomen met 6 daaraan gebonden H-atomen (aan elk C-atoom 3, zie Figuur 2).

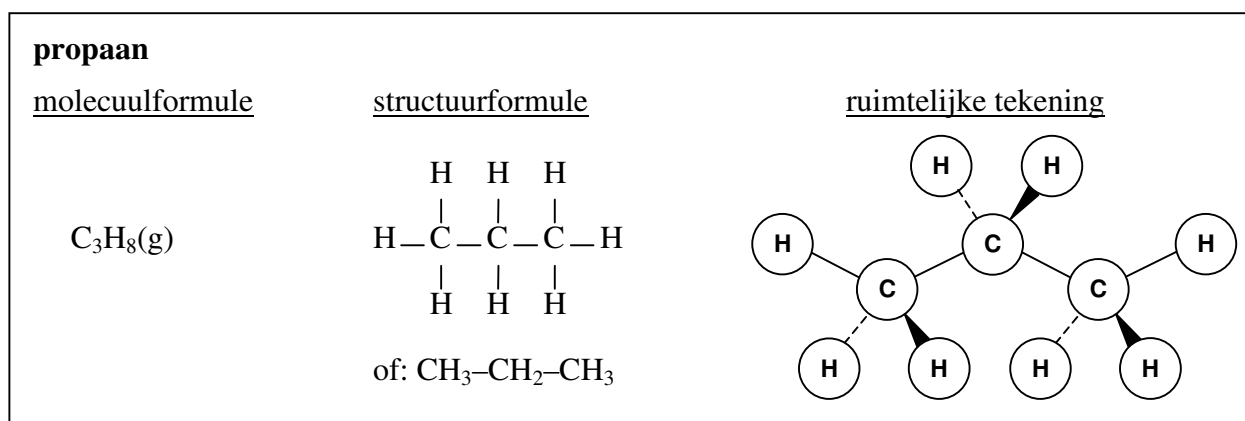
Opdracht 2. Bouw met de moleculenbouwdoos een ethaanmolecuul na. Dit kun je doen door van 2 methaanmoleculen één H-atoom af te halen (en van één methaanmolecuul ook de bijbehorende binding) en de twee molecuulresten te combineren tot het ethaanmolecuul. Zorg dat de structuurformule en de ruimtelijke tekening in Figuur 2 goed overeenkomen met jouw ethaanmolecuul. □



Figuur 2. Molecuulformule, structuurformule en ruimtelijke tekening van ethaan.

We gaan een stapje verder. Als we in een ethaanmolecuul ($C_2H_6(g)$) één H-atoom vervangen door een methylgroep ($-CH_3$), dan krijgen we het gasvormige *propaan*. In propaan ($C_3H_8(g)$) bestaat elk molecuul uit een keten van 3 aan elkaar gebonden C-atomen met 8 daaraan gebonden H-atomen (zie Figuur 3).

Opdracht 3. Bouw met de moleculenbouwdoos een propaanmolecuul na. Dit kun je doen door van een ethaanmolecuul en een methaanmolecuul één H-atoom af te halen (en van één molecuul ook de bijbehorende binding) en de twee molecuulresten te combineren tot het propaanmolecuul. Draai de bindingen in het molecuul zodanig dat de structuur overeenkomt met de ruimtelijke tekening in Figuur 3. □

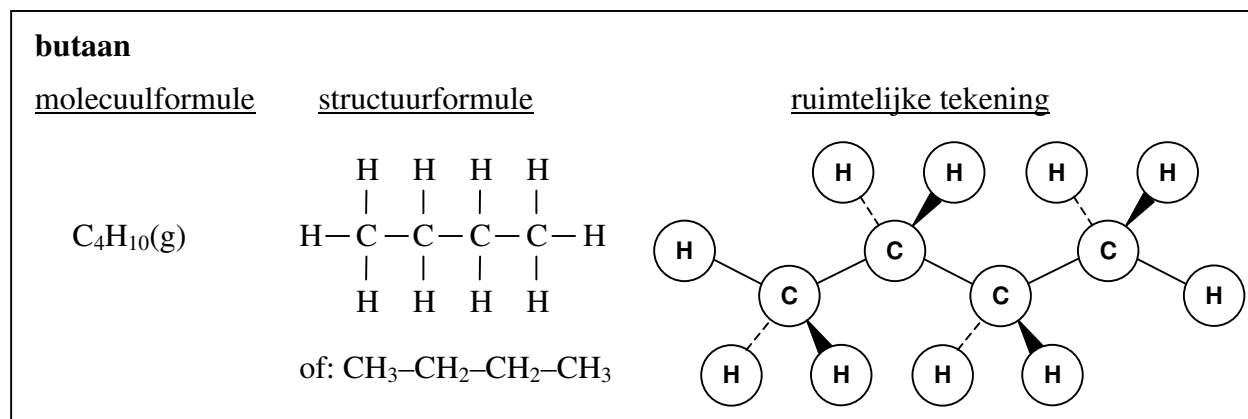


Figuur 3. Molecuulformule, structuurformule en ruimtelijke tekening van propaan.

We gaan nog een stapje verder. Als we in een propaanmolecuul ($C_3H_8(g)$) aan een van de buitenste C-atomen een H-atoom vervangen door een methylgroep ($-CH_3$), dan krijgen we het gasvormige *butaan*. In butaan ($C_4H_{10}(g)$) bestaat elk molecuul uit een keten van 4 aan elkaar gebonden C-atomen met 10 daaraan gebonden H-atomen (zie Figuur 3).

Let op: Als we op het middelste C-atoom van een propaanmolecuul een H-atoom vervangen door een methylgroep, dan krijgen we geen butaan, maar methylpropaan (of isobutaan). Dit is een andere stof dan butaan (zie § 2).

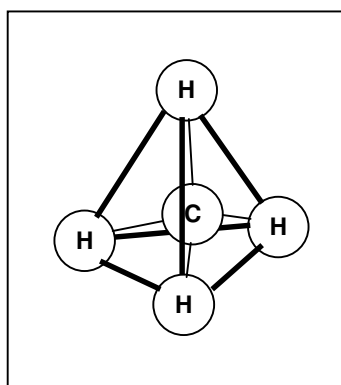
Opdracht 4. Bouw met de moleculenbouwdoos een butaanmolecuul na. Draai de bindingen in het molecuul zodanig dat de structuur overeenkomt met de ruimtelijke tekening in Figuur 3. □



Figuur 4. Molecuulformule, structuurformule en ruimtelijke tekening van butaan.

In bovenstaande structuurformules en is te zien dat elk C-atoom steeds met 4 bindingen aan andere atomen gebonden is (hier aan C-atomen of H-atomen) en dat elk H-atoom steeds met 1 binding aan een ander atoom gebonden is (hier aan een C-atoom). Dit is een van de basisregels van de organische chemie.

De ruimtelijke structuur waarin het C-atoom gebonden is aan 4 andere atomen noemen we een *tetraëder*. Een tetraëder bestaat uit 4 gelijkzijdige driehoeken die allen langs de zijden aan elkaar verbonden zijn. In de ruimtelijke structuur van bijvoorbeeld methaan bevindt het C-atoom zich in het centrum van de tetraëder en de 4 H-atomen op de 4 hoekpunten.



Figuur 5. De ruimtelijke structuur van een methaanmolecuul ($CH_4(g)$). De dikke lijnen stellen geen bindingen tussen atomen voor, maar de zijden van een denkbeeldige tetraëder. De bindingen tussen de atomen worden voorgesteld door de dunne lijnen.

Als we aan butaan nog een of meer methylgroepen toevoegen, krijgen we alkanen met nog langere ketens van koolstofatomen. De namen, molecuulformules en verkorte structuurformules van de eerste 10 alkanen zijn gegeven in Tabel 1.

Tabel 1. Overzicht van de eerste 10 alkanen

<u>naam</u>	<u>molecuulformule</u>	<u>verkorte structuurformule</u> *
methaan	CH ₄ (g)	CH ₄
ethaan	C ₂ H ₆ (g)	CH ₃ -CH ₃
propaan	C ₃ H ₈ (g)	CH ₃ -CH ₂ -CH ₃
butaan	C ₄ H ₁₀ (g)	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃
pentaan	C ₅ H ₁₂ (l)	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃
hexaan	C ₆ H ₁₄ (l)	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃
heptaan	C ₇ H ₁₆ (l)	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃
octaan	C ₈ H ₁₈ (l)	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃
nonaan	C ₉ H ₂₀ (l)	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃
decaan	C ₁₀ H ₂₂ (l)	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₃
<i>algemeen:</i>		
alkaan	C _n H _{2n+2}	CH ₃ -(CH ₂) _{n-2} -CH ₃

* Vaak worden hierin de streepjes ook nog weggelaten (bijvoorbeeld propaan: CH₃CH₂CH₃).

Opdracht 5. Bouw met de moleculenbouwdoos een octaanmolecuul na en geef in de figuur hieronder de molecuulformule, de volledige structuurformule (met streepjes) en een ruimtelijke tekening (volgens de Sawhorse-projectie) van octaan.

Kijk hiervoor nog eens goed naar Figuur 4, waar dit gedaan is voor butaan! □

octaan	<u>molecuulformule:</u>
<u>structuurformule</u>	
<u>ruimtelijke tekening</u>	

Figuur 6. Molecuulformule, structuurformule en ruimtelijke tekening van octaan.

§ 2 Isomerie

In de vorige paragraaf werd al even opgemerkt dat als we op het middelste C-atoom van een propaanmolecuul (in plaats van een van de buitenste) een H-atoom vervangen door een methylgroep ($-\text{CH}_3$), dat we dan geen butaan krijgen, maar methylpropaan (zie Figuur 7).

butaan		methylpropaan (of isobutaan)	
<u>molecuulformule</u>	<u>verkorte structuurformule</u>	<u>molecuulformule</u>	<u>verkorte structuurformule</u>
$\text{C}_4\text{H}_{10}(\text{g})$	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	$\text{C}_4\text{H}_{10}(\text{g})$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$

Figuur 7. De isomeren van butaan.

In Figuur 7 is duidelijk te zien dat butaan en methylpropaan dezelfde molecuulformule hebben ($\text{C}_4\text{H}_{10}(\text{g})$), maar dat ze verschillende structuurformules hebben.

Het verschijnsel dat stoffen met dezelfde molecuulformule verschillende structuurformules kunnen bezitten noemen we *isomerie*. De verschillende stoffen met dezelfde molecuulformule zijn *isomeren* van elkaar.

Isomeren zijn verschillende stoffen, die weliswaar veel met elkaar gemeen hebben, maar die in sommige opzichten ook duidelijk van elkaar verschillen. Methylpropaan is dus een andere stof dan butaan!

Van de eerste 3 alkanen in Tabel 1 bestaan geen isomeren (probeer ze maar eens te maken, dat lukt je niet!). Van butaan bestaan dus twee isomeren (butaan en methylpropaan, zie Figuur 7), van pentaan drie (pentaan, methylbutaan en dimethylpropaan), van hexaan vijf, van heptaan negen, van octaan 18, van nonaan 35 en van decaan 75. Je ziet dat het aantal isomeren sterk toeneemt met het aantal C-atomen. Zo bestaan er van eicsaan ($\text{C}_{20}\text{H}_{42}(\text{s})$) al 366.319 isomeren en van tetracontaan ($\text{C}_{40}\text{H}_{82}(\text{s})$) maar liefst 62.491.178.805.831! We zullen je maar niet vragen voor al deze isomeren van tetracontaan de structuurformules op te schrijven. ;-)

pentaan (l)	methylbutaan (l) (of isopentaan)	dimethylpropaan (g) (of neopentaan)
<u>verkorte structuurformule</u>	<u>verkorte structuurformule</u>	<u>verkorte structuurformule</u>
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$

Figuur 8. De isomeren van pentaan ($\text{C}_5\text{H}_{12}(\text{l})$).

Omdat isomeren verschillende stoffen zijn, moeten we ze aparte namen geven. Op de volgende bladzijde kun je zien, wat er is afgesproken over de naamgeving van de *vertakte alkanen* (zoals methylpropaan, methylbutaan en dimethylpropaan).

Naamgeving van de vertakte alkanen:

1. Zoek de langste aaneengesloten keten van C-atomen. Deze keten noemen we de stam. Het aantal C-atomen in de stam bepaalt de stamnaam. Als de stam bijvoorbeeld 7 C-atomen bevat, is de stamnaam heptaan.
2. Bepaal aan welke C-atomen in de stam een vertakking zit en bepaal de aard van deze vertakking. Dit kan een methylgroep zijn ($-\text{CH}_3$), een ethylgroep ($-\text{CH}_2-\text{CH}_3$), een propylgroep ($-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$), een butylgroep ($-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$), enz. De groepen zelf kunnen overigens ook vertakt zijn, maar dat laten we hier buiten beschouwing.
3. Zet de naam van de groep voor de stamnaam. Wanneer de groep op meerdere plaatsen aan de stam kan vastzitten (maar alleen dan!), zet je om onderscheid te maken voor de groepsnaam het nummer van het C-atoom in de stam waaraan de groep vastzit (zoals bijvoorbeeld in 2-methylhexaan en 3-methylhexaan, beide isomeren van heptaan, maar niet in methylpropan of methylbutaan). Let op: tel de C-atomen vanaf de kant die de laagste nummering oplevert!
4. Gebruik telwoorden (di, tri, tetra, penta, hexa, enz.) als er meerdere groepen van dezelfde soort zijn en geef (als er meerdere mogelijkheden zijn) voor elk van deze groepen het nummer van het C-atoom in de stam waaraan zij vastzit (zoals bijvoorbeeld in 2,3-dimethylpentaan, eveneens een isomeer van heptaan, maar niet in dimethylpropan). Ook hier is de nummering zo laag mogelijk!
5. Als er verschillende soorten groepen zijn, zet je de groepsnamen (met daarvoor de nummers van de C-atomen in de stam waaraan de groepen vastzitten) in alfabetische volgorde (zoals bijvoorbeeld gedaan is in 3-ethyl-2-methylheptaan, een isomeer van decaan).

Opdracht 6. Bouw met de moleculenbouwoos de vijf isomeren van hexaan en geef in Tabel 2 (hieronder) de verkorte structuurformules en de namen van deze isomeren.

Tabel 2. Structuurformules en namen van de isomeren van hexaan ($\text{C}_6\text{H}_{14}(\text{l})$)

<u>verkorte structuurformule</u>	<u>naam</u>
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$

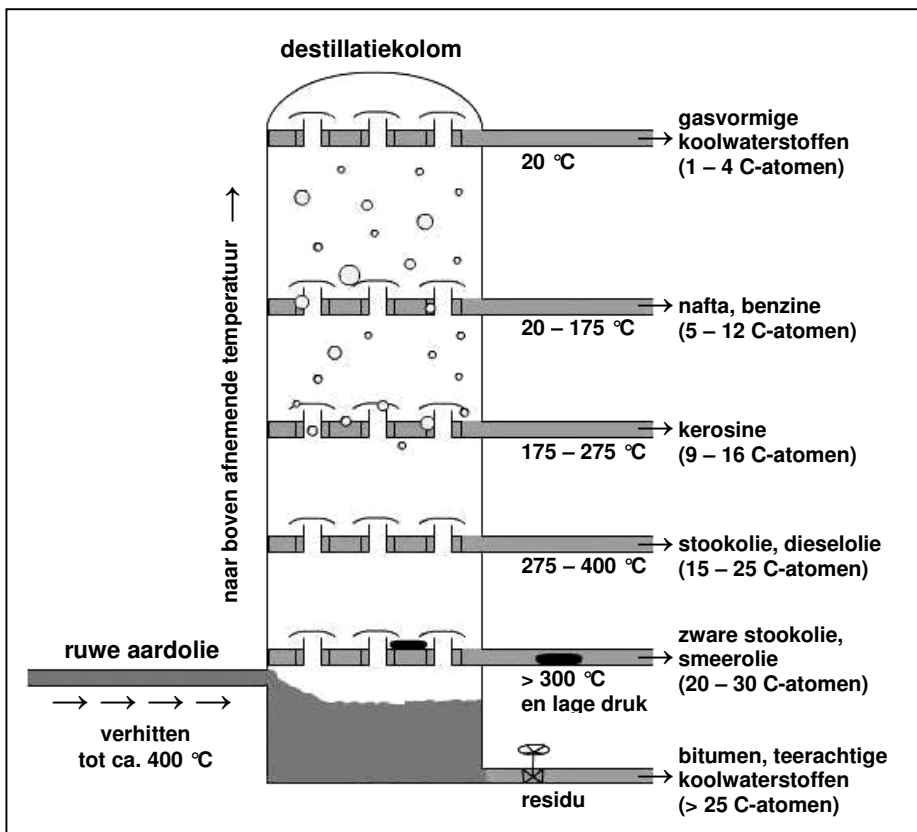
§ 4 Aardolie

Aardolie is net als aardgas en steenkool een *fossiele brandstof*. Het is ontstaan uit deels vergane planten, zeedieren, plankton en bacteriën, die meer dan 50 miljoen jaar geleden leefden in een toenmalige ondiepe zee. Toen deze organismen afstierven, zonken ze naar de zeebodem. Zo ontstond een dikke laag deels verteerde organische resten. Later, toen de zee niet meer bestond, werd deze laag bedekt met nieuwe bodemlagen van bijvoorbeeld zand en klei. Door de druk van deze bodemlagen werd de laag met organische resten samengeperst en kwam zij ook dieper te liggen. Omdat in die diepere aardlagen de temperatuur ook hoger is, werden de organische resten langzaam omgezet in een mengsel van allerlei koolwaterstoffen, oftewel *aardolie*.

Sinds 1859, toen de Amerikaan Edwin Drake in Pennsylvania de eerste boorput maakte, wordt aardolie gewonnen en worden er tal van aardolieproducten gemaakt. Niet alleen benzine, dieselolie en kerosine worden uit aardolie geproduceerd, maar ook producten als lampenolie, smeerolie en asfalt en tal van kunststoffen worden er mee gemaakt.

Zoals gezegd is aardolie een mengsel van talrijke verschillende koolwaterstoffen. Voor hun toepassing hebben we specifieke koolwaterstoffen nodig of specifieke koolwaterstofmengsels. Het scheiden van de koolwaterstoffen uit de aardolie gebeurt in de petrochemische industrie in olieraffinaderijen. In Nederland vind je zulke industrie vooral in het havengebied van Rotterdam, in Pernis en in Moerdijk, maar ook in het westelijke havengebied van Amsterdam.

In een *olieraaffinaderij* worden de verschillende koolwaterstoffen in de aardolie van elkaar gescheiden door middel van een *destillatie*. Dit gebeurt in grote destillatiekolommen, destillatietorens die tientallen meters hoog zijn (zie Figuur 9). Bij deze getrapte destillatie worden de verschillende soorten koolwaterstoffen van elkaar gescheiden op basis van hun verschillende kookpunten (zie bijvoorbeeld Tabel 3). Boven die kookpunten zijn de koolwaterstoffen gasvormig, eronder vloeibaar.



Figuur 9. Destillatiekolom voor de scheiding van aardolie.

De *destillatiekolom* werkt als volgt: De ruwe aardolie wordt verhit en aan de onderkant in de -kolom gepompt (zie Figuur 9). Daar is de temperatuur ca. 400 °C. Alle koolwaterstoffen met een kookpunt tot 400 °C zullen verdampen en in de kolom opstijgen. Doordat in de kolom de temperatuur met de hoogte afneemt tot ca. 20 °C, zullen de verdampte koolwaterstoffen op verschillende hoogten weer condenseren. Waar dit gebeurt, hangt af van hun kookpunt. De koolwaterstoffen met een kookpunt dicht bij 400 °C zullen als eerste condenseren. Iets hoger condenseren de koolwaterstoffen met een wat lager kookpunt (bijvoorbeeld 250 °C), enz.. Gasvormige koolwaterstoffen, die opgelost waren in de aardolie, blijven gasvormig en komen tot aan de bovenkant van de kolom.

De gasvormige koolwaterstoffen - koolwaterstoffen met een kookpunt onder 20 °C, zoals methaan, ethaan, propaan en butaan (zie Tabel 3) – worden boven in de kolom afgetapt. Deze fractie bevat de kleinste koolwaterstoffen. Dit zijn de koolwaterstoffen met 1 tot 4 C-atomen, zoals methaan t/m butaan en de isomeren daarvan. Deze kleinste koolwaterstoffen kunnen worden gebruikt voor verwarming, als campinggas en als LPG (liquid petrol gas) voor auto's.

Iets daaronder wordt *nafta* afgetapt. Dit is een mengsel van vloeibare koolwaterstoffen met een kookpunt tussen 20 en 175 °C. Dit mengsel bevat koolwaterstoffen met 5 tot 12 C-atomen. Uit nafta wordt onder andere *benzine* geproduceerd. Benzine is geen zuivere stof, maar ook een mengsel van vloeibare koolwaterstoffen. Naast benzine kunnen uit nafta ook grondstoffen voor de petrochemische industrie en de kunststoffenindustrie worden geproduceerd, zoals methaan (CH₄(g)) en etheen (C₂H₄(g), zie § 6). Deze kleinere koolwaterstoffen kunnen worden geproduceerd door in een *naftakraker* onder hoge druk en hoge temperatuur de koolwaterstofmoleculen in nafta te *kraken*, dat wil zeggen te splitsen in kleinere koolwaterstoffen.

Onder de nafta wordt in de destillatiekolom *kerosine* afgetapt. Dit is een mengsel van vloeibare koolwaterstoffen met een kookpunt tussen 175 en 275 °C. Het bevat koolwaterstoffen met 9 tot 16 C-atomen. Kerosine wordt vooral gebruikt als brandstof voor vliegtuigen. Vroeger werd kerosine ook veel gebruikt als lampenolie.

Nog iets lager in de destillatiekolom wordt *stookolie* afgetapt. Dit is een mengsel van vloeibare koolwaterstoffen met een kookpunt tussen 275 en 400 °C. Het bevat koolwaterstoffen met 15 tot 25 C-atomen. Stookolie wordt gebruikt voor verwarming of als *dieselolie* in dieselmotoren. Stookolie kan ook gekraakt worden tot kleinere vloeibare koolwaterstoffen, zodat uit stookolie ook benzine kan worden geproduceerd.

Van het resterende koolwaterstofmengsel in de destillatiekolom kan nog één deel worden afgescheiden, de *zware stookolie*. Deze kan onder lage druk en een temperatuur van 300 °C of hoger als laatste gedestilleerd worden. Zware stookolie bevat koolwaterstoffen met 20 tot 30 C-atomen. Het wordt gebruikt als smeerolie en als stookolie in elektriciteitscentrales. Door zware stookolie te kraken kan er ook weer benzine van worden gemaakt.

Een probleem dat zich met name bij zware stookolie voordoet is dat het vaak ook zwavel bevat. Bij verbranding ontstaat dan naast koolstofdioxide en water ook zwaveldioxide. Dit veroorzaakt onder andere zure regen. Daarom is de laatste decennia veel gedaan om de *zwaveldioxideuitstoot* in elektriciteitscentrales en in de petrochemische industrie te verminderen.

Tot slot blijft onder in de destillatiekolom een koolwaterstofmengsel over dat niet gedestilleerd kan worden. Dit *residu* wordt ook afgetapt en bestaat uit *teerachtige koolwaterstoffen* of *bitumen* met meer dan 25 C-atomen. Deze bitumen kunnen worden gebruikt om zand en grind aan elkaar te kleven tot *asfalt*, waarmee we wegen kunnen aanleggen.

Demoproef 1. Het bovenstaande destillatieproces van aardolie gaan we in de klas nabootsen.

We gaan hiertoe van de aardolie de lichtere fracties destilleren en aansteken! □

Opdracht 7. Lees bovenstaande tekst over de destillatie van aardolie, los het volgende kruiswoordraadsel op en vind het verborgen woord door de letters in de grijze vakjes onderin op hun juiste plaats te zetten.

□

										9	10										
					1																13
2																					
					8																
		3																			
5																					
		6																			
		7																			

Horizontaal

1. Lichtste destillatiefractie van vloeibare koolwaterstoffen
2. Product gemaakt met bitumen
3. Olie om motoren mee te smeren
4. Deel van het koolwaterstofmengsel dat niet gedestilleerd kan worden
5. Autobrandstof gemaakt uit nafta
6. Proces waarbij grotere koolwaterstofmoleculen gesplitst worden in kleinere
7. Het koolwaterstofmengsel dat in de destillatiekolom overblijft

Verticaal

8. Proces waarmee in een olieraffinaderij koolwaterstoffen gescheiden worden
9. Fabrik die de koolwaterstofmoleculen in nafta kan splitsen in kleinere
10. Mengsel van koolwaterstoffen met een kookpunt tussen 275 en 400 °C
11. Brandstof voor vliegtuigen
12. Autobrandstof gemaakt uit stookolie
13. Verbrandingsgas van zware stookolie dat zure regen veroorzaakt

Het woord waar alles om draait:

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Vragen:

4. In de tekst hierboven zijn een aantal producten genoemd van de petrochemische industrie. Er zijn er echter nog veel meer. Noem er tenminste vijf.

.....

□

5. Aardolie en de producten die we daarmee kunnen maken zijn niet meer weg te denken uit ons dagelijks leven. Tot kleven er ook nadelen aan al die producten en hun fabricage in de petrochemische industrie, met name voor het milieu. Bespreek enkele nadelige gevolgen van de petrochemische industrie en de producten die daarmee gemaakt worden voor het milieu. Denk aan kunststoffen (plastics), afgewerkte olie, luchtverontreiniging, broeikas effect, enz.

.....

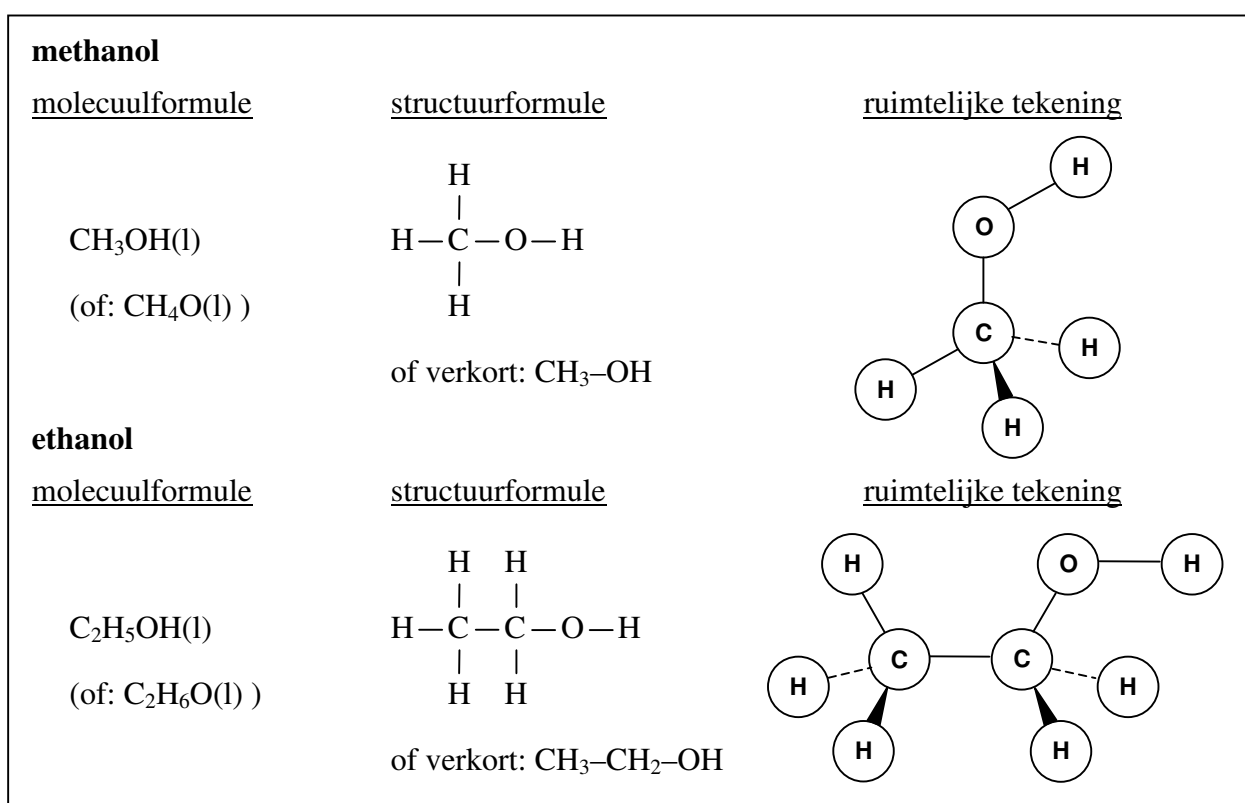
□

§ 5 Alkoholen

§ 5.1 Alkanolen

Behalve methylgroepen ($-\text{CH}_3$) kunnen de koolstofketens ook *kenmerkende groepen* bevatten. Eén daarvan is de *hydroxylgroep* ($-\text{OH}$). Deze hydroxylgroep bestaat uit een O-atoom, waaraan één H-atoom gebonden is. Net zoals bij methylgroepen ($-\text{CH}_3$), kunnen in alkanen ($\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$) een of meer H-atomen vervangen zijn door hydroxylgroepen ($-\text{OH}$). De stoffen met OH-groepen, die we dan krijgen, noemen we in het algemeen *alkoholen*. Wanneer in een alkaan slechts één H-atoom vervangen is door een hydroxylgroep ($-\text{OH}$), dan spreken we ook van een *alkanol* ($\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}$ of $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O}$). De bekendste alkanolen zijn methanol (methaan met een OH-groep) en ethanol (ethaan met een OH-groep). Deze alkanolen zijn getekend in Figuur 10.

Ethanol is de stof die in alcoholische dranken zit (zoals bier en wijn) en waarvan je dronken kunt worden. In spiritus is wat methanol bijgemengd, om het ongeschikt voor consumptie te maken. Omdat je van methanol namelijk blind kunt worden, kun je maar beter geen spiritus drinken!



Figuur 10. Molecuulformules, structuurformules en ruimtelijke tekeningen van methanol en ethanol.

Opdracht 8. Bouw met de moleculenbouwdoo's de moleculen na van methanol en ethanol en vergelijk deze met de structuurformules en ruimtelijke tekeningen in Figuur 10. □

Vanaf propanol moet je in de naam ook aangeven aan welk C-atoom de hydroxylgroep ($-\text{OH}$) gebonden is. In propanol kan de hydroxylgroep immers aan een van de buitenste C-atomen zitten (dat is dan altijd C-atoom nummer 1, gezien de nummering altijd zo laag mogelijk moet zijn) of aan het middelste C-atoom (nummer 2). We maken dus onderscheid tussen 1-propanol en 2-propanol (zie Figuur 11 en de regels voor de naamgeving op de volgende bladzijde).

Bij methanol en ethanol hoef je dit niet te doen. Daar is het C-atoom waaraan de hydroxylgroep gebonden is altijd het buitenste en dus C-atoom nummer 1.

1-propanol		2-propanol	
<u>molecuulformule</u>	<u>verkorte structuurformule</u>	<u>molecuulformule</u>	<u>verkorte structuurformule</u>
C ₃ H ₇ OH(l)	CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -OH	C ₃ H ₇ OH(l)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{-CH-CH}_3 \\ \\ \text{OH} \end{array}$

Figuur 11. Molecuulformule en structuurformules van de twee propanolen.

Naamgeving van alkanolen:

1. Zoek de langste aaneengesloten keten van C-atomen die ook de hydroxylgroep bevat. Deze koolstofketen (de stam) bepaalt de stamnaam. Dit is de naam van het overeenkomstige alkaan. Bij een stam van 8 C-atomen is de stamnaam dus octaan.
2. Zet achter de stamnaam het achtervoegsel -ol en schap een van de laatste a's in de stamnaam. Als de stamnaam octaan is, krijg je dus octanol.
3. Bepaal aan welk C-atoom in de stam de hydroxylgroep (-OH) zit en nummer deze zo laag mogelijk.
4. Zet dit nummer voor de naam van het alkanol, zoals bijvoorbeeld gedaan is in 1-octanol of 3-pentanol. Bij methanol en ethanol hoeft dit niet, daar zou het nummer steeds 1 zijn.

Zoals je ziet in Figuur 11 zijn 1-propanol en 2-propanol isomeren van elkaar. Het zijn immers stoffen met dezelfde molecuulformule, maar verschillende structuurformules.

Opdracht 9. Geef in Tabel 4 (hieronder) de verkorte structuurformules en de namen van de mogelijke structuren van pentanol. *Let op:* Dit hoeven er geen vijf te zijn! □

Tabel 4. Structuurformules en namen van de pentanolen (C₅H₁₁OH(l))

<u>verkorte structuurformule</u>	<u>naam</u>
CH ₃ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -CH ₂ -OH

Opdracht 10. Bouw met de moleculenbouwdoos een molecuul na van 1-hexanol en geef in Figuur 12 de verkorte structuurformule en een ruimtelijke tekening. □

1-hexanol (C₆H₁₃OH(l))	
<u>verkorte structuurformule</u>
 <u>ruimtelijke tekening</u>	

Figuur 12. 1-Hexanol.

Zoals je hebt gezien in de tekst hierboven zijn de eerste alkanolen bij kamertemperatuur (20 °C) vloeistoffen, terwijl de eerste 4 alkanen dan gassen zijn (zie Tabel 1). Dit komt doordat de alkanolen veel hogere kookpunten hebben dan de overeenkomstige alkanen (zie Tabel 5). Dit verschil zit hem in de hydroxylgroep (–OH), die een beetje op water lijkt (H₂O of H–O–H). Zoals je waarschijnlijk wel weet is een van de eigenaardige eigenschappen van water dat het een veel hoger kookpunt heeft dan vergelijkbare andere vloeistoffen.

Tabel 5. Smelt- en kookpunten van enkele alkanen en alkanolen

alkaan	molecuul formule	smeltpunt (in °C)	kookpunt (in °C)	alkanol	molecuul formule	smeltpunt (in °C)	kookpunt (in °C)
methaan	CH ₄ (g)	–183	–164	methanol	CH ₃ OH(l)	–97	65
ethaan	C ₂ H ₆ (g)	–183	–89	ethanol	C ₂ H ₅ OH(l)	–115	78
propaan	C ₃ H ₈ (g)	–190	–42	1-propanol	C ₃ H ₇ OH(l)	–126	97
				2-propanol	C ₃ H ₇ OH(l)	–86	83
butaan	C ₄ H ₁₀ (g)	–138	–1	1-butanol	C ₄ H ₉ OH(l)	–90	117
pentaaan	C ₅ H ₁₂ (l)	–130	36				
decaan	C ₁₀ H ₂₂ (l)	–30	174	1-decanol	C ₁₀ H ₂₁ OH(l)	6	228

Vragen:

6. Welke alkanolen zijn bij 100 °C gasvormig?

..... □

7. Hoe zou je een mengsel van ethanol en water kunnen scheiden?

.....
 □

§ 5.2 Alkaandiolen en alkaantriolen

Tot nu toe hebben we steeds gesproken over alkanolen. Dit zijn alcoholen met één hydroxylgroep (–OH). Er bestaan echter ook alcoholen met meerdere hydroxylgroepen. Zo bevat een *alkaandiol* twee hydroxylgroepen en een *alkaantriol* drie hydroxylgroepen. Voorbeelden zijn 1,2-ethaandiol (of glycol) en 1,2,3-propaantriol (of glycerol) (zie Figuur 13). Glycerol is een van de bouwstenen van vetmoleculen (zoals je in de volgende paragraaf zal zien).

ethanol	1,2-ethaandiol (of glycol)	
<u>verkorte structuurformule</u>	<u>verkorte structuurformule</u>	
CH ₃ –CH ₂ –OH	$\begin{array}{cc} \text{CH}_2 & \text{--} & \text{CH}_2 \\ & & \\ \text{OH} & & \text{OH} \end{array}$	
1-propanol	1,2-propaandiol	1,2,3-propaantriol (of glycerol)
<u>verkorte structuurformule</u>	<u>verkorte structuurformule</u>	<u>verkorte structuurformule</u>
CH ₃ –CH ₂ –CH ₂ –OH	$\begin{array}{ccc} \text{CH}_2 & \text{--} & \text{CH} & \text{--} & \text{CH}_3 \\ & & & & \\ \text{OH} & & \text{OH} & & \end{array}$	$\begin{array}{ccc} \text{CH}_2 & \text{--} & \text{CH} & \text{--} & \text{CH}_2 \\ & & & & \\ \text{OH} & & \text{OH} & & \text{OH} \end{array}$

Figuur 13. *Structuurformules van enkele alkanolen, alkaandiolen en alkaantriolen.*

Opdracht 11. Bouw met de moleculenbouwoos een molecuul na van glycerol en teken in Figuur 14 de volledige structuurformule en een ruimtelijke tekening van glycerol. □

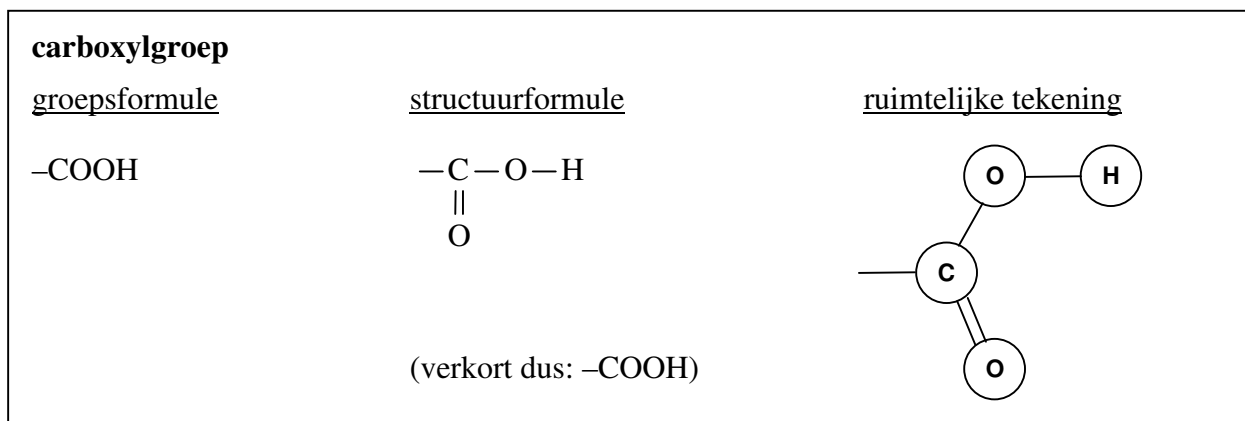
1,2,3-propaantriol (of glycerol)	
<u>structuurformule</u>	<u>ruimtelijke tekening</u>

Figuur 14. *Structuurformule en ruimtelijke tekening van 1,2,3-propaantriol (glycerol).*

§ 6 Carbonsuren en vetten

§ 6.1 Carbonsuren

Een andere karakteristieke groep is de *carboxylgroep* (–COOH). Deze carboxylgroep bestaat uit een C-atoom met daaraan gebonden een hydroxylgroep (–OH) en een *dubbel gebonden* O-atoom (=O, zie intermezzo). Figuur 15 laat zien hoe deze groep eruit ziet. Merk op dat de gehele carboxylgroep in één vlak ligt. Dit is goed te zien in de ruimtelijke tekening.



Figuur 15. Groepsformule, structuurformule en ruimtelijke tekening van de carboxylgroep.

----- Meervoudige bindingen (intermezzo) -----

Je ziet dat C-atomen en O-atomen naast een *enkelvoudige binding* ook een *dubbele binding* kunnen aangaan. Deze dubbele bindingen kunnen voorkomen tussen C-atomen en O-atomen (C=O), maar ook tussen C-atomen onderling (C=C) of tussen O-atomen onderling (O=O). De C=O binding tref je aan in de carboxylgroep, maar bijvoorbeeld ook in O=C=O, oftewel CO₂(g). Een voorbeeld van een stof met een O=O binding is zuurstof (O₂(g)).

Een belangrijke groep van stoffen met een C=C binding zijn de *alkenen*, dit zijn alkanen waarin een C–C binding is vervangen door een C=C binding. Het kleinste alkeen, etheen (CH₂=CH₂(g)), is een industrieel veel toegepaste grondstof. Er worden onder andere plastics, zepen en alcohol van gemaakt.

Tussen C-atomen kunnen zelfs *drievoudige bindingen* (C≡C) voorkomen. In de *alkynen*, dit zijn alkanen waarin een C–C binding is vervangen door een C≡C binding, is dit het geval. Het kleinste alkyn is ethyn (CH≡CH(g)).

Stoffen met één of meer meervoudige (dubbele of drievoudige) bindingen tussen de C-atomen noemen we *onverzadigd*. Stoffen met alleen enkelvoudige bindingen tussen de C-atomen noemen we *verzadigd*.

De basisregel blijft dat elk C-atoom steeds met 4 bindingen aan andere atomen gebonden is en elk H-atoom steeds met 1 binding. Elk O-atoom is steeds met 2 bindingen aan andere atomen gebonden. Een dubbele binding telt daarbij voor twee bindingen en drievoudige voor drie.

Stoffen met één of meer carboxylgroepen (–COOH) noemen we in het algemeen *carbonsuren*. Wanneer in een alkaan (C_nH_{2n+2}) één van de methylgroepen (een CH₃-groep aan de uiteinden van de al dan niet vertakte koolstofketen) vervangen is door een carboxylgroep (–COOH), dan spreken we ook van een *alkaanzuur* (C_{n-1}H_{2n-1}COOH of C_nH_{2n}O₂). De kleinste alkaanzuren zijn getekend in Figuur 16.

Methaanzuur (HCOOH(l)) is methaan (CH₄) waarin de CH₃-groep (bijna het hele molecuul!) is vervangen door een COOH-groep. Ethaanzuur is ethaan (CH₃-CH₃) waarin één van de twee CH₃-groepen is vervangen door een COOH-groep. Methaanzuur en ethaanzuur zijn ook wel bekend als mierzuur en azijnzuur.

methaanzuur (of mierzuur)		
<u>molecuulformule</u>	<u>structuurformule</u>	<u>ruimtelijke tekening</u>
HCOOH(l) (of: CH ₂ O ₂ (l))	$\begin{array}{c} \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\ \\ \text{O} \end{array}$ <p>of verkort: H-COOH</p>	
ethaanzuur (of azijnzuur)		
<u>molecuulformule</u>	<u>structuurformule</u>	<u>ruimtelijke tekening</u>
CH ₃ COOH(l) (of: C ₂ H ₄ O ₂ (l))	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{O} \end{array}$ <p>of verkort: CH₃-COOH</p>	

Figuur 16. Molecuulformules, structuurformules en ruimtelijke tekeningen van methaanzuur en ethaanzuur.

Opdracht 12. Bouw met de moleculenbouwoos de moleculen na van methaanzuur en ethaanzuur en vergelijk deze met de structuurformules en ruimtelijke tekeningen in Figuur 16. □

Naamgeving van alkaanzuren:

1. Zoek de langste aaneengesloten keten van C-atomen, die begint bij het C-atoom van de carboxylgroep (-COOH). Deze koolstofketen (de stam) bepaalt de stamnaam. Dit is de naam van het overeenkomstige alkaan. Bij een stam van 5 C-atomen is de stamnaam dus pentaan. *Let op: Het C-atoom van de carboxylgroep is altijd het eerste C-atoom van de stam en telt dus mee in de bepaling van de stamnaam!*
2. Zet achter de stamnaam het achtervoegsel -zuur. Als de stamnaam pentaan is, krijg je dus pentaanzuur. Omdat het C-atoom van de carboxylgroep altijd het eerste C-atoom van de stam is (nummer 1), hoef je geen nummer te zetten voor de naam van het alkaanzuur.

Vraag:

8. De verkorte structuurformule van een alkaanzuur is: CH₃-CH₂-CH₂-CH₂-CH₂-CH₂-COOH.

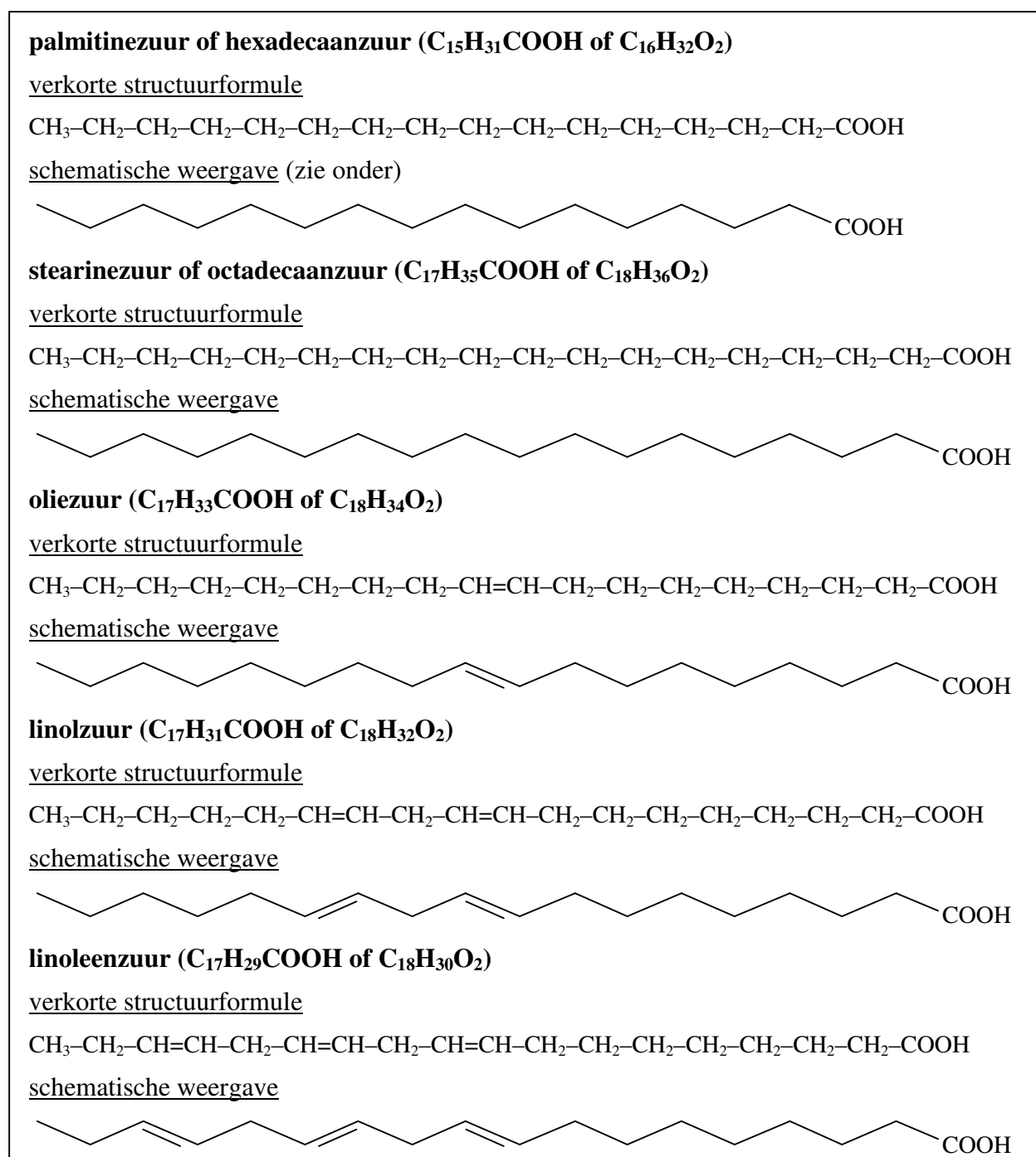
Wat is de naam van dit alkaanzuur?

..... □

§ 6.2 Vetzuren

De carbonzuren waaruit vetten gevormd kunnen worden noemen we *vetzuren*. Meestal zijn dit onvertakte alkaanzuren met 12 tot 20 C-atomen in de koolstofketen. Wanneer de koolstofketen een of meer dubbele bindingen bevat (zie het intermezzo), noemen we het vetzuur onverzadigd. *Enkelvoudige onverzadigde vetzuren* bevatten één dubbele binding in de koolstofketen, *meervoudig onverzadigde vetzuren* twee of meer. *Verzadigde vetzuren* bevatten geen dubbele binding in de koolstofketen.

Voorbeelden van verzadigde vetzuren zijn *palmitinezuur* en *stearinezuur*, van enkelvoudig onverzadigde vetzuren *oliezuur* en van meervoudig onverzadigde vetzuren *linolzuur* en *linoleenzuur*. De verkorte structuurformules van deze vetzuren zijn gegeven in Figuur 17.



Figuur 17. Structuurformules van enkele verzadigde en onverzadigde vetzuren. In de schematische weergave stelt elk streepje een C-C binding voor en elk hoekpunt of uiteinde een C-atoom (met of zonder H-atomen).

Opdracht 13. Kijk eens goed naar de verkorte structuurformules in Figuur 17 en onderstreep of markeer met bijvoorbeeld een gele stift de dubbele bindingen die je ziet. □

Opdracht 14. Bepaal voor elke dubbele binding in de verkorte structuurformules in Figuur 17 het nummer van het eerste C-atoom. Tel daarbij volgens de regels van de naamgeving vanaf de carboxylgroep (–COOH). Zet de nummers in de tabel hieronder. □

Vetzuur	1° dubbele binding, nummer 1° C-atoom	2° dubbele binding, nummer 1° C-atoom	3° dubbele binding, nummer 1° C-atoom
palmitinezuur			
stearinezuur			
oliezuur			
linolzuur			
linoleenzuur			

Palmitinezuur is een van de meest voorkomende verzadigde vetzuren in dieren en planten. Het komt voor in palmolie (zoals de naam al zegt) en in vlees, melk, boter en kaas.

Stearinezuur is ook een verzadigd vetzuur. Het komt met name in dierlijke vetten voor, maar plantaardige vetten en oliën kunnen ook wat stearinezuur bevatten. Stearinezuur vormt samen met palmitinezuur *stearine* waarvan kaarsen kunnen worden gemaakt. Verder wordt stearinezuur gebruikt in de zeepfabricage.

Oliezuur is het belangrijkste enkelvoudig onverzadigde vetzuur. Het is aanwezig in dieren en groenten. Zo bevatten palmpittenolie, olijfolie en aardnotenolie veel oliezuur. Olijfolie bestaat zelfs voor 55 tot 80% uit oliezuur.

Linolzuur is een tweevoudig onverzadigd vetzuur en komt onder andere voor in lijnzaadolie. Het is een essentieel vetzuur voor mensen en zoogdieren. Het lichaam kan het zelf niet aanmaken en dus moet het met de voeding binnenkomen. Uit linolzuur maakt het lichaam langere onverzadigde vetzuren aan, die nodig zijn voor de hersenen, de ogen en het gehoor. Bovendien leidt voeding met relatief meer linolzuur tot een lager cholesterolgehalte in het bloed, wat gunstig is voor de voorkoming van hart- en vaatziekten. Vandaar dat er veel margarines en halvarines zijn, die rijk aan linolzuur zijn. Linolzuur komt ook voor in plantaardige oliën zoals zonnebloemolie.

Linoleenzuur is een ander essentieel vetzuur voor mensen en zoogdieren, dat met de voeding moet binnenkomen. Ook uit linoleenzuur maakt het lichaam langere onverzadigde vetzuren aan, die nodig zijn voor de hersenen, de ogen en het gehoor. Met een normale voeding krijgen we voldoende linoleenzuur binnen. Het komt voor in sommige plantaardige oliën en in geringe mate ook in groene bladgroenten.

§ 6.3 Omega-3-, omega-6- en omega-9-vetzuren

In een alternatieve indeling van de vetzuren worden de C-atomen niet geteld vanaf de carboxylgroep (–COOH), maar vanaf de CH₃-groep aan het andere einde van de structuurformule. Vetzuren waarbij de eerste dubbele binding tussen het 3^e en 4^e C-atoom zit (geteld vanaf de CH₃-groep) worden omega-3-vetzuren (Ω3-vetzuren) genoemd. Omega-6-vetzuren (Ω6-vetzuren) zijn zo vetzuren met de eerste dubbele binding tussen het 6^e en 7^e C-atoom en bij omega-9-vetzuren (Ω9-vetzuren) zit de eerste dubbele binding tussen het 9^e en 10^e C-atoom.

Vraag:

9. Wat voor een soort vetzuren zijn oliezuur, linolzuur en linoleenzuur volgens deze alternatieve indeling?

Oliezuur is een vetzuur,

linolzuur een vetzuur

en linoleenzuur een vetzuur

□

In reclames wordt wel eens beweerd dat toevoeging van linoleenzuur of andere, langere omega-3-vetzuren aan de voeding (bijvoorbeeld met visoliecapsules) beter is voor je gezondheid. Deze gezondheidclaims zijn echter niet wetenschappelijk bewezen. Sterker, in een normale voeding zit voldoende linoleenzuur en de langere omega-3-vetzuren, die het lichaam uit linoleenzuur maakt, krijgen we ook binnen vanuit vlees, vis en visolie.

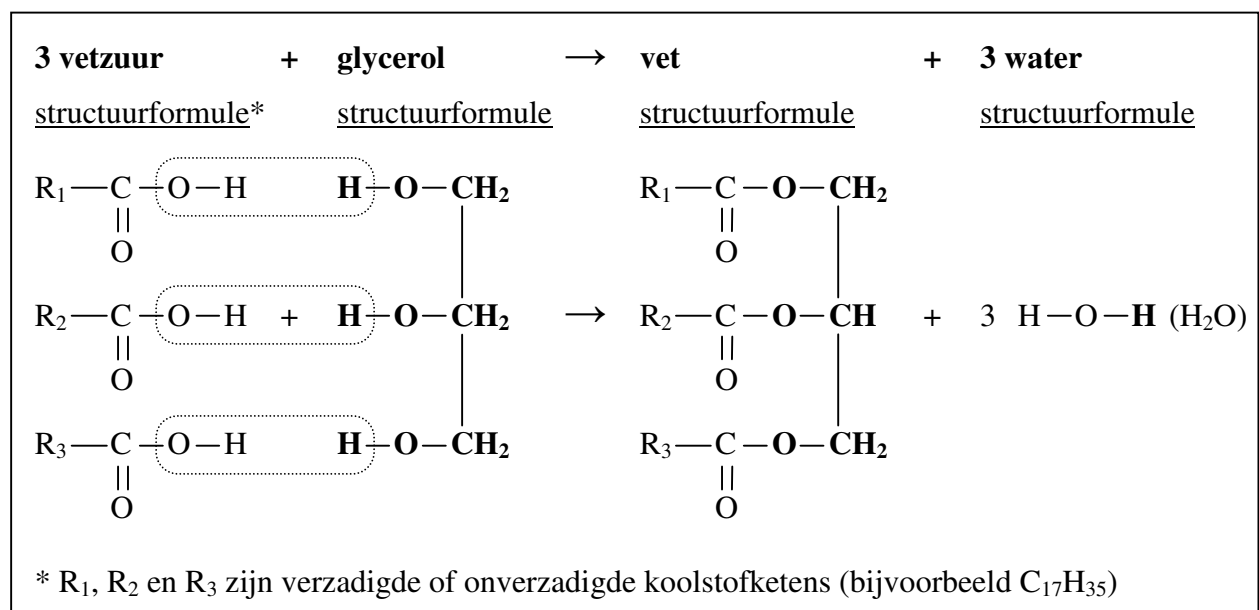
Opdracht 15. Bekijk of er bij jou thuis een product in huis is met een onverzadigd vetzuur en neem dit product zo mogelijk mee. Wel thuis even overleggen natuurlijk!

Welk product heb je thuis gevonden?

Welk onverzadigd vetzuur bevat het? □

§ 6.4 Vetten

Vetzuren kunnen samen met glycerol (1,2,3-propaantriol, zie § 5) een vet vormen. Dit gebeurt als de hydroxylgroepen (–OH) in de carboxylgroepen (–COOH) van drie vetzuurmoleculen met de drie hydroxylgroepen (–OH) van één glycerolmolecuul “samensmelten” (zie Figuur 18). Bij deze *condensatiereactie* ontstaan door de afsplitsing van drie watermoleculen (H₂O) drie C–O–C bindingen tussen de drie vetzuurmoleculen en het glycerolmolecuul.



Figuur 18. De vorming van een vetmolecuul uit drie vetzuurmoleculen en een glycerolmolecuul.

Op deze wijze worden vetten gevormd in dieren en planten. Het soort vet wordt bepaald door de vetzuren in het vet. Dierlijke vetten bevatten veel verzadigde vetzuren, plantaardige vetten veel onverzadigde vetzuren. Door de dubbele binding(en) in onverzadigde vetzuren, bevatten de moleculen van deze vetzuren – en dus van de vetten – knikken. Hierdoor klonteren deze vetten minder goed samen dan vetten die opgebouwd zijn uit verzadigde vetzuren. Plantaardige vetten hebben hierdoor vaak een lager smeltpunt dan dierlijke vetten. Vetten die bij kamertemperatuur vloeibaar zijn worden oliën genoemd. Alle vetten (en oliën) zijn slecht oplosbaar in water en hebben een lagere dichtheid, waardoor ze op water drijven. Omdat (onverzadigde) plantaardige vetten ook in je bloedvaten minder goed samenklonteren dan (verzadigde) dierlijke vetten, zijn plantaardige vetten doorgaans beter voor hart en bloedvaten.

Opdracht 16. Bouw met twee moleculenbouwdozen een molecuul na van stearinezuur of (als je deze opdracht toegewezen krijgt) van linolzuur.

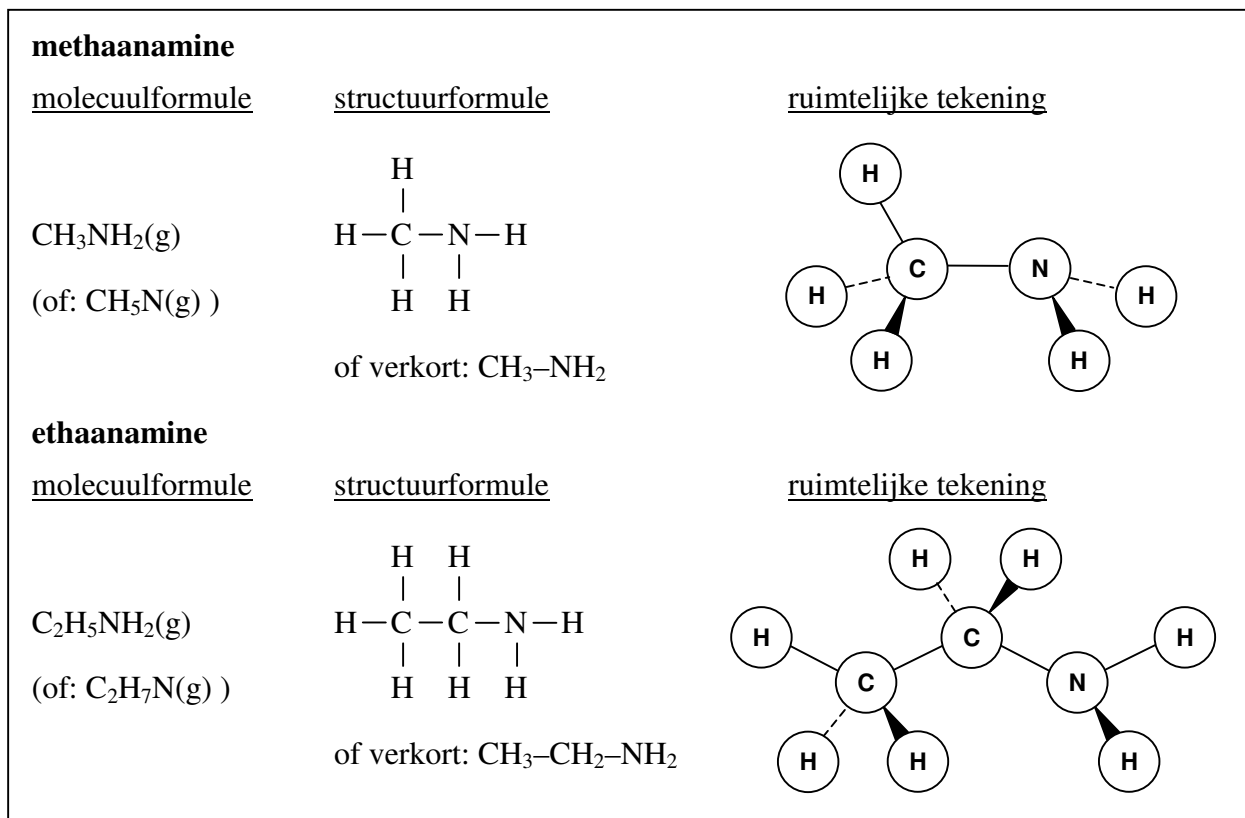
Welk vetzuurmolecuul heb je nagebouwd?

Met de klas bouwen we zo vier stearinezuurmoleculen en één linolzuurmolecuul na. Klassikaal bouwen we tot slot uit drie stearinezuurmoleculen en één glycerolmolecuul een vetmolecuul na. Of moeten we hier zeggen: een **vet** molecuul?

§ 7 Aminen, aminozuren en eiwitten

§ 7.1 Aminen

Nog een andere karakteristieke groep is de *aminogroep* ($-\text{NH}_2$). Deze bestaat uit een N-atoom met twee daaraan gebonden H-atomen. Net zoals bij methylgroepen ($-\text{CH}_3$) en hydroxylgroepen ($-\text{OH}$), kunnen in alkanen ($\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$) een of meer H-atomen vervangen zijn door aminogroepen ($-\text{NH}_2$). De stoffen met NH_2 -groepen, die we dan krijgen, noemen we in het algemeen *aminen*. Wanneer in een alkaan slechts één H-atoom vervangen is door een aminogroep ($-\text{NH}_2$), dan spreken we van een *alkaanamine* ($\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{NH}_2$ of $\text{C}_n\text{H}_{2n+3}\text{N}$). Voorbeelden zijn methaanamine (methaan met een NH_2 -groep) en ethaanamine (ethaan met een NH_2 -groep). Deze aminen zijn getekend in Figuur 19.



Figuur 19. Molecuulformules, structuurformules en ruimtelijke tekeningen van methaanamine en ethaanamine.

Opdracht 17. Bouw met de moleculenbouwdoo's de moleculen na van methaanamine en ethaanamine en vergelijk deze met de structuurformules en ruimtelijke tekeningen in Figuur 19. □

Net als bij de alkanolen (zie § 5), moet je vanaf propaanamine in de naam ook aangeven aan welk C-atoom de aminogroep ($-\text{NH}_2$) gebonden is. In propaanamine kan de aminogroep ($-\text{NH}_2$) immers aan een van de buitenste C-atomen zitten (dat is dan altijd C-atoom nummer 1, gezien de nummering altijd zo laag mogelijk moet zijn) of aan het middelste C-atoom (nummer 2). We maken daarom onderscheid tussen 1-propaanamine en 2-propaanamine (zie de regels voor de naamgeving hieronder).

Bij methaanamine en ethaanamine hoef je dit niet te doen. Daar is het C-atoom waaraan de aminogroep gebonden is altijd het buitenste en dus C-atoom nummer 1.

1-propaanamine		2-propaanamine	
<u>molecuulformule</u>	<u>verkorte structuurformule</u>	<u>molecuulformule</u>	<u>verkorte structuurformule</u>
$C_3H_7NH_2(l)$	$CH_3-CH_2-CH_2-NH_2$	$C_3H_7NH_2(l)$	$CH_3-CH-CH_3$ $\quad\quad $ $\quad\quad NH_2$

Figuur 20. Molecuulformules en structuurformules van de twee propaanaminen.

Naamgeving van alkaanaminen:

1. Zoek de langste aaneengesloten keten van C-atomen die ook de aminogroep ($-NH_2$) bevat. Deze koolstofketen (de stam) bepaalt de stamnaam. Dit is de naam van het overeenkomstige alkaan. Bij een stam van 7 C-atomen is de stamnaam dus heptaan.
2. Zet achter de stamnaam het achtervoegsel -amine. Als de stamnaam heptaan is, krijg je dus heptaanamine.
3. Bepaal aan welk C-atoom in de stam de aminogroep ($-NH_2$) zit en nummer deze zo laag mogelijk.
4. Zet dit nummer voor de naam van het alkaanamine, zoals bijvoorbeeld gedaan is in 1-heptaanamine of 3-pentaaanamine. Bij methaanamine en ethaanamine hoeft dit niet.

Opdracht 18. Bouw met de moleculenbouwoos de moleculen na van twee verschillende butaanaminen en geef in Figuur 21 de verkorte structuurformules en ruimtelijke tekeningen van deze butaanamines. □

....-butaanamine ($C_4H_9NH_2(l)$)-butaanamine ($C_4H_9NH_2(l)$)
<u>verkorte structuurformule</u>	<u>verkorte structuurformule</u>
<u>ruimtelijke tekening</u>	<u>ruimtelijke tekening</u>

Figuur 21. Verkorte structuurformules en ruimtelijke tekeningen van twee butaanaminen.

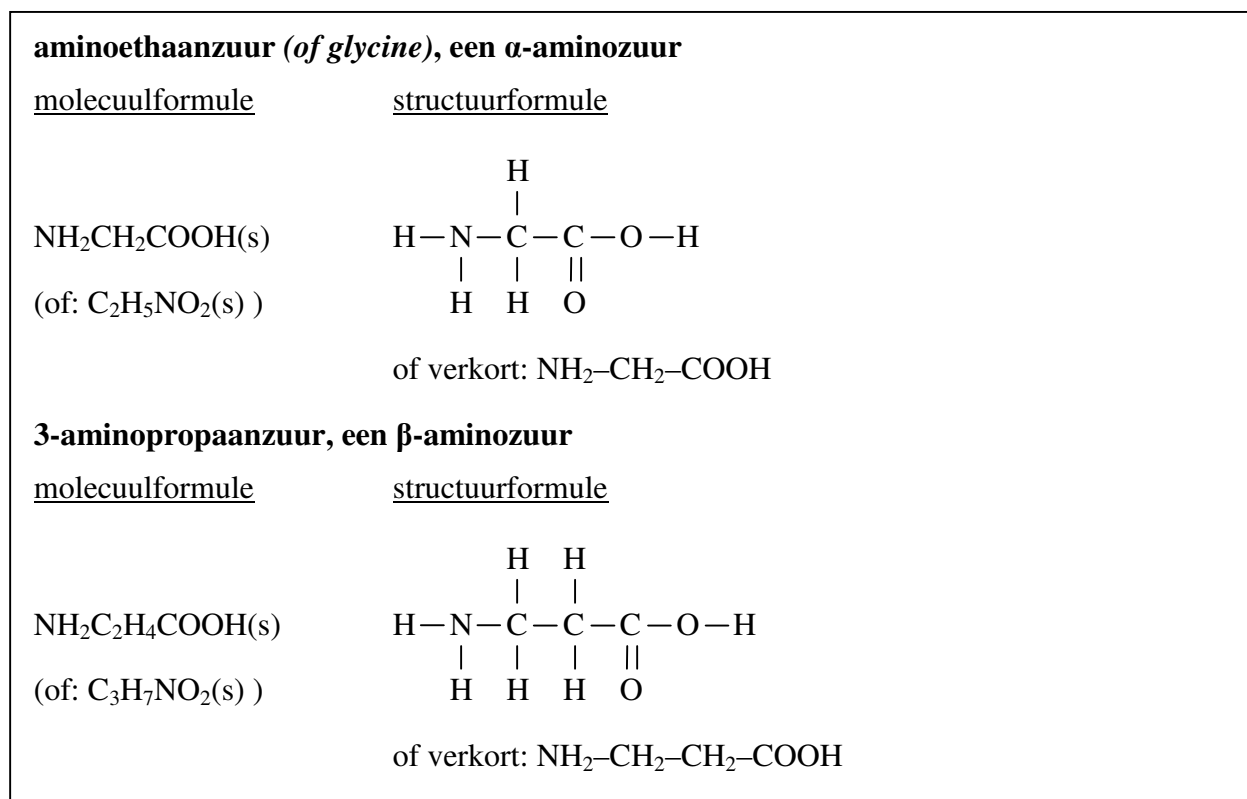
Vraag:

10. Zijn er nog andere butaanaminen, dan de twee die je in Figuur 21 getekend hebt? Zoja, welke? □

Naast aminen met één aminogroep ($-NH_2$) bestaan er ook aminen met meerdere aminogroepen. Zo bevat een alkaandiamine twee aminogroepen en een alkaantriamine drie aminogroepen.

§ 7.2 Amino-zuren

Amino-zuren vormen een belangrijke groep stoffen met een *aminogroep* ($-\text{NH}_2$). Naast een aminogroep bevatten ze ook een *carboxylgroep* ($-\text{COOH}$, zie § 6). Je kunt ze zien als aminen met een carboxylgroep, of andersom als carbonzuren met een aminogroep. Bij α -amino-zuren zijn de aminogroep en de carboxylgroep gebonden aan hetzelfde C-atoom, bij β -amino-zuren aan twee naburige C-atomen en bij γ -amino-zuren aan de uiteinden van langere koolstofketens (zie Figuur 22).



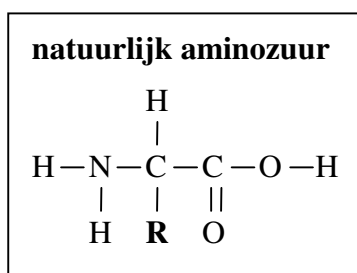
Figuur 22. Molecuulformules en structuurformules van een α - en een β -amino-zuur.

Naamgeving van amino-zuren:

In de naamgeving van amino-zuren wordt uitgegaan van het carbonzuur en wordt de aminogroep als karakteristieke groep toegevoegd. Het C-atoom van de carboxylgroep telt daarbij als eerste C-atoom van de stam (nummer 1). α -Amino-zuren zijn zo altijd 2-amino-zuren (waarbij de 2 bij amino-ethaanzuur wordt weggelaten) en β -amino-zuren altijd 3-amino-zuren. γ -Amino-zuren kunnen 4-amino-zuren zijn, maar ook 5-amino-zuren, 6-amino-zuren, enz. Kijken we bijvoorbeeld naar de aminopentaanzuren, dan is 2-aminopentaanzuur een α -amino-zuur, 3-aminopentaanzuur een β -amino-zuur en zijn 4-aminopentaanzuur en 5-aminopentaanzuur γ -amino-zuren.

§ 7.3 Natuurlijke amino-zuren

In levende organismen, waaronder de mens, spelen twintig *natuurlijke amino-zuren* een belangrijke rol. Ze vormen namelijk de bouwstenen van eiwitten, waaronder ook enzymen en sommige hormonen (denk bijvoorbeeld aan insuline). Deze twintig natuurlijke amino-zuren zijn allemaal α -amino-zuren. Het kleinste natuurlijke amino-zuur is aminoethaanzuur of *glycine* (zie Figuur 22). De andere natuurlijke amino-zuren bevatten aan het tweede C-atoom een zijketen (**R**), die bestaat uit een of meer karakteristieke groepen (zie Figuur 23). Alleen bij het amino-zuur *proline* is deze zijketen ook gebonden aan het N-atoom van de aminogroep.



Figuur 23. Algemene structuurformule van de natuurlijke aminozuren. Hierin stelt **R** de zijketen van het aminozuur voor, die bestaat uit een of meer karakteristieke groepen. Bij het aminozuur proline is de zijketen ook gebonden aan het N-atoom van de aminogroep (in de plaats van één H-atoom).

Met een aantal van de karakteristieke groepen, waaruit de zijketen van een natuurlijk aminozuur kan bestaan, heb je al kennis gemaakt. Denk maar aan de alkylgroepen (zoals de methylgroep (–CH₃)), de hydroxylgroep (–OH), de carboxylgroep (–COOH) en de aminogroep (–NH₂). Daarnaast kunnen in de zijketen ook andere groepen voorkomen, zoals de *thiolgroep* (–SH), de methylthiogroep (–S–CH₃), de oxogroep (=O), de iminogroep (=NH), de fenylgroep (–C₆H₅, zie § 8) en complexere ringverbindingen met stikstof.

Een overzicht van de structuurformules van alle twintig natuurlijke aminozuren is gegeven in BINAS tabel 67. Merk op dat voor de natuurlijke aminozuren doorgaans niet de chemische, maar de biologische naamgeving wordt gebruikt (*glycine*, *alanine*, enz.). Daarbij worden naast de biologische namen ook drie- of eenletterige symbolen gebruikt (*Gly*, *Ala*, enz. en *G*, *A*, enz.). De biologische namen en symbolen zijn ook gegeven in BINAS tabel 67.

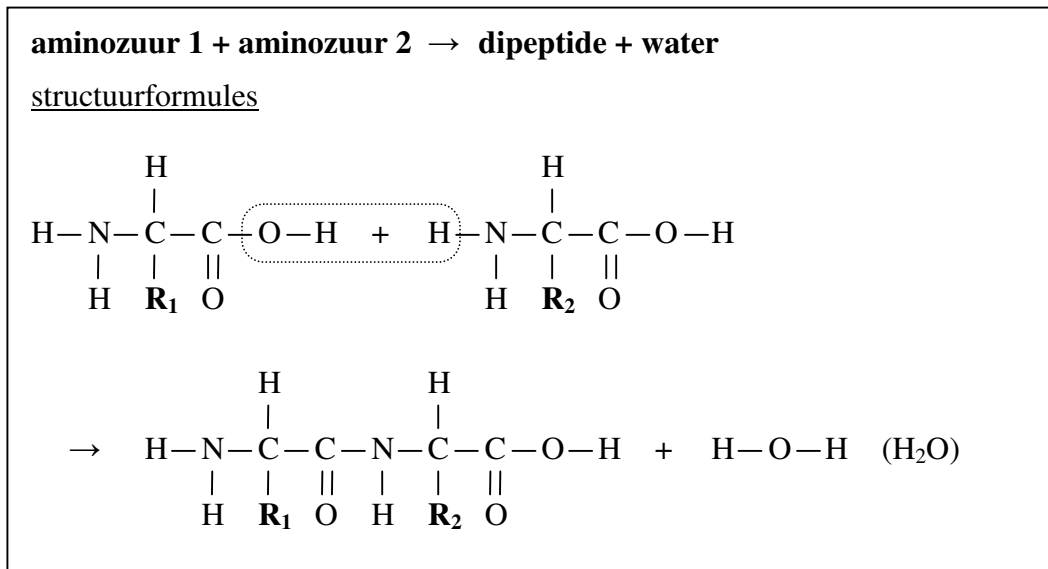
Opdracht 19. Bouw met de moleculenbouwoos de moleculen na van drie verschillende natuurlijke aminozuren en vergelijk deze met de algemene structuurformule in Figuur 23. Geef in de figuur hieronder de (biologische) naam van de drie aminozuren en de structuurformule van de zijketen. *Bewaar de nagebouwde moleculen!* □

drie natuurlijke aminozuren	
<u>naam</u>	<u>structuurformule van de zijketen</u>
.....	
.....	
.....	

Figuur 24. De zijketens van drie natuurlijke aminozuren.

§ 7.4 Peptidebinding

Net als bij vetzuren en glycerol (zie Figuur 18 in § 6) kan tussen twee aminozuurmoleculen een *condensatiereactie* optreden. Dit gebeurt als de hydroxylgroep (–OH) van de carboxylgroep (–COOH) van het ene aminozuurmolecuul “samensmelt” met de aminogroep (–NH₂) van het andere aminozuurmolecuul. Door de afsplitsing van een watermolecuul (H₂O) ontstaat dan een C(=O)–N(H) binding tussen de twee aminozuurmoleculen (zie Figuur 25). Deze C(=O)–N(H) binding wordt een *peptidebinding* genoemd en het gevormde molecuul een *dipeptide*.



Figuur 25. De vorming van een dipeptide uit twee aminozuurmoleculen, waarbij **R₁** en **R₂** de zijketens van de twee aminozuurmoleculen voorstellen. Deze zijketens kunnen verschillend zijn, maar ook identiek.

Wanneer op dezelfde wijze een condensatiereactie optreedt tussen het dipeptide en een derde aminozuurmolecuul ontstaat een *tripeptide*. Wanneer op deze wijze een heleboel aminozuurmoleculen als in een ketting aaneengeregen worden ontstaat een *polypeptide* (het voorvoegsel “poly” is Grieks voor “veel”). De volgorde van de aminozuren (de *aminozuurvolgorde*) in het di-, tri- of polypeptide wordt vaak weergegeven met de biologische symbolen. Zo is Gly-Ala bijvoorbeeld een dipeptide van *glycine* en *alanine*. Afsproken is dat hierbij altijd begonnen wordt met het aminozuur dat zich bevindt aan het uiteinde met de vrije aminogroep (–NH₂).

Opdracht 20. Bouw met de drie nagebouwde aminozuurmoleculen uit Opdracht 19 een tripeptide na en geef in de figuur hieronder de aminozuurvolgorde en de structuurformule weer. *Bewaar het nagebouwde tripeptide!* □

aminozuurvolgorde - -

structuurformule

Figuur 26. Aminozuurvolgorde en structuurformule van het nagebouwde tripeptide.

Vraag:

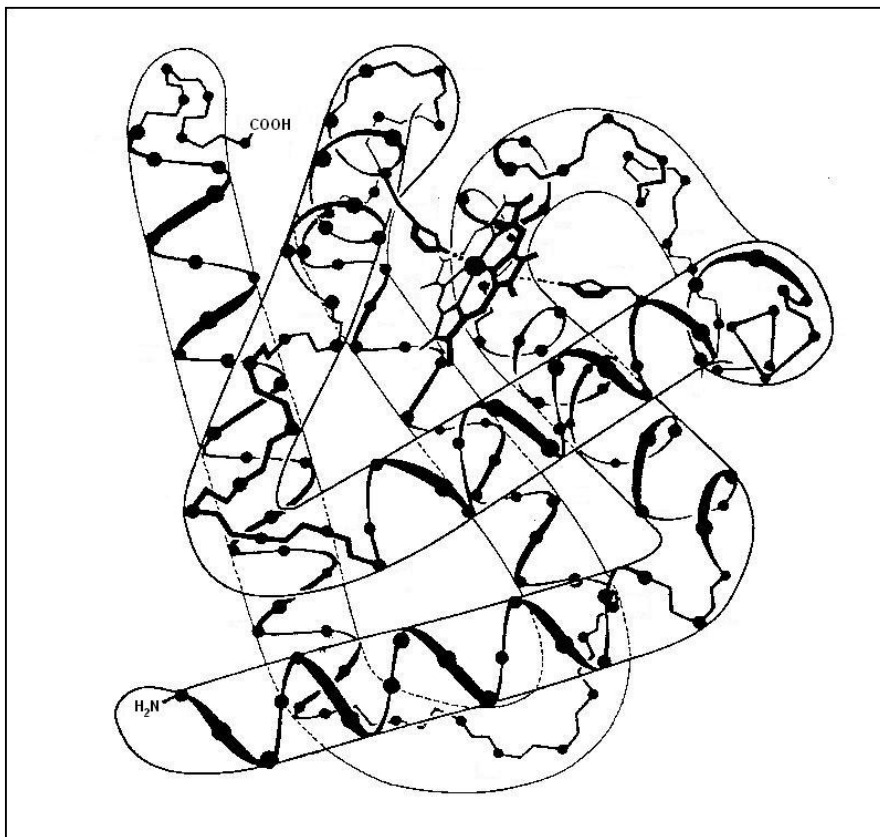
11. Welke tripeptiden had je ook kunnen vormen uit de drie nagebouwde aminozuurmoleculen?

.....
..... □

Zoals je ziet, kun je met drie verschillende aminozuren al aardig wat verschillende tripeptiden vormen. Je zult dan wel begrijpen dat je met twintig verschillende aminozuren, die je ook nog eens meerdere keren mag gebruiken, ongelofelijk veel verschillende polypeptiden kunt vormen.

§ 7.5 Eiwitten

Eiwitten zijn grote *macromoleculaire stoffen*, die uit een of meerdere polypeptideketens bestaan. Omdat er heel veel verschillende polypeptideketens te vormen zijn uit de twintig natuurlijke aminozuren, kunnen er ook heel veel verschillende eiwitten bestaan. Elk eiwit heeft z'n eigen specifieke polypeptideketens, die gevormd zijn uit meestal zo'n 100 tot 500 aminozuren (soms zelfs een paar duizend) en die op een unieke manier zijn opgevouwen tot bijvoorbeeld draad-, plaat- of bolvormige ruimtelijke structuren (zie Figuur 27).



Figuur 27. De ruimtelijke structuur van het spiereiwit myoglobine, waarbij elke stip een aminozuur voorstelt (Kendrew e.a., 1960).

Het eerste eiwit waarvan de ruimtelijke structuur in kaart was gebracht was het spiereiwit myoglobine (zie Figuur 27). John Kendrew kreeg hiervoor met Max Perutz, die de structuur van het bloedeiwit hemoglobine ophelderde, in 1962 de Nobelprijs. Beide eiwitten bevatten tussen de polypeptideketens een ijzerhoudende haemgroep, die het bloed en het spierweefsel z'n rode kleur geeft en daarin zorgt voor het zuurstoftransport. Naast haemgroepen kunnen eiwitten tussen de polypeptideketens ook andere kleine organische groepen, moleculen of ionen bevatten.

In de structuur van eiwitten kunnen we vier niveau's onderscheiden (zie ook BINAS tabel 67). De *primaire structuur* is de aminozuurvolgorde, die bepaald wordt door de genetische informatie in het DNA (dat leer je verder bij Biologie) en die bepalend is voor de ruimtelijke structuur van het eiwit. De *secundaire structuur* bestaat uit de regelmatige ruimtelijke structuren tussen nabijgelegen aminozuren. Hierbij kun je denken aan de spiraalstructuren (α -helices) in myoglobine (zie Figuur 27). De *tertiaire structuur* is de wijze waarop iedere polypeptideketen als geheel is opgevouwen, dus de wijze waarop (zoals bij myoglobine) de α -helices zijn opgevouwen. De *quaternaire structuur* is de wijze waarop eventuele meerdere polypeptideketens (als die aanwezig zijn) ten opzichte van elkaar gesitueerd en verbonden zijn.

De unieke ruimtelijke structuur van elk eiwit is bepalend voor de fysische eigenschappen van het eiwit en de wijze waarop het reageert op andere stoffen die in levende organismen voorkomen. Enzymen bijvoorbeeld ontleen hieraan hun vaak specifieke reactiviteit. Wanneer de ruimtelijke structuur van een eiwit verandert, bijvoorbeeld door een temperatuursverandering, dan kunnen de fysische eigenschappen en de reactiviteit van het eiwit drastisch veranderen. Een bekend voorbeeld hiervan is de gelvorming van het antibacteriële enzym lysozym in het wit van een kippenei als je het ei kookt. De ruimtelijke structuur van het in water oplosbare lysozym valt dan uiteen, waardoor het eiwit niet langer oplosbaar is en een witte gel vormt. Wanneer een eiwit (door veranderde omstandigheden) zijn natuurlijke ruimtelijke structuur verliest, spreken we van een *denaturatie* van het eiwit. Bij het koken van een kippenei wordt dus het lysozym dat zich daarin bevindt gedenameerd.

Opdracht 21. Bouw met de anderen uit de klas uit de nagebouwde tripeptiden uit Opdracht 20 een polypeptide na. Bedenk dat het nagebouwde molecuul nog maar een klein stukje eiwit zou zijn. □

Vragen:

12. Wat is de aminozuurvolgorde in het nagebouwde stukje eiwit?

.....
 □

13. Leg uit waarom er in geval van myoglobine (zie Figuur 27) alleen sprake kan zijn van primaire, secundaire en tertiaire structuren en niet van een quaternaire structuur.

.....
 □

14. Als door een foutje in de genetische informatie in het DNA één enkel aminozuur in de polypeptideketen van een eiwit is vervangen door een ander aminozuur kan dit voor de werking van het eiwit desastreuze gevolgen hebben. Leg uit hoe dit kan.

.....

 □

§ 8 Onverzadigde koolwaterstoffen en ringverbindingen

§ 8.1 Alkenen en alkynen

In het intermezzo in § 6.1 heb je gelezen dat *onverzadigde stoffen* één of meer meervoudige (dubbele of drievoudige) bindingen tussen de C-atomen bevatten en dat we stoffen met alleen enkelvoudige bindingen tussen de C-atomen *verzadigd* noemen. Ook heb je toen kennis gemaakt met de alkenen en alkynen. Beide zijn voorbeelden van *onverzadigde koolwaterstoffen*. Ter herinnering: Een *alkeen* is een alkaan waarin een *enkelvoudige binding* tussen twee C-atomen (C–C) is vervangen door een *dubbele binding* (C=C) en een *alkyn* is een alkaan waarin een enkelvoudige binding is vervangen door een *drievoudige binding* (C≡C).

Naamgeving van alkenen en alkynen:

1. Zoek de langste aaneengesloten keten van C-atomen die ook de dubbele of drievoudige binding bevat. Dit is de koolstofketen die de stamnaam bepaalt (ook als een andere vertakte keten van C-atomen zonder dubbele of drievoudige binding langer is!). Bij een stam van 10 C-atomen is de stamnaam (de naam van het overeenkomstige alkaan) dus decaan.
2. Vervang de uitgang -aan in de stamnaam bij een dubbele binding door de uitgang -een en bij een drievoudige binding door de uitgang -yn. Decaan wordt dan dus deceen of decyn.
3. Bepaal het nummer van het eerste C-atoom met de dubbele of drievoudige binding. Tel daarbij vanaf de kant die de laagste nummering oplevert!
4. Zet dit nummer voor de naam van het alkeen of alkyn, zoals bijvoorbeeld gedaan is in 3-deceen of 5-decyn. Bij etheen, ethyn, propeen en propyn hoeft dit niet, daar zou het nummer steeds 1 zijn.

Wanneer twee of drie enkelvoudige C–C bindingen in een alkaan zijn vervangen door dubbele bindingen (C=C) spreek je van een *alkadiën* of een *alkatriën*. Wanneer twee of drie enkelvoudige C–C bindingen zijn vervangen door drievoudige bindingen (C≡C) spreek je van een *alkadiyn* of een *alkatriyn*. In de naamgeving zet je voor alle dubbele of drievoudige binding de nummers van de eerste C-atomen voor de naam (met komma's). Tel daarbij vanaf de kant die de laagste nummering oplevert, maar tel wel steeds vanaf dezelfde kant! Goede voorbeelden zijn 1,4-hexadiën ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3$) en 2,4,6-octatriyn ($\text{CH}_3-\text{C}\equiv\text{C}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{CH}_3$).

Opdracht 22. Bekijk de volgende namen van onverzadigde koolwaterstoffen. Streep de namen die niet juist zijn door en geef de juiste naam. □

namen van alkenen en alkynen

<u>naam</u>	<u>juiste naam</u> (als de gegeven naam onjuist is)
2-hexeen
5-hepteen
butyn
4,5-octadiën
etheen
2-propyn

Opdracht 23. Bouw met de moleculenbouwdoos de moleculen na van de vijf isomeren van buteen (C_4H_8), teken in de onderstaande figuur de verkorte structuurformules en vermeld daarbij voorzover je weet de juiste naam. □

isomeren van buteen (C_4H_8)		
<u>verkorte structuurformules</u>		
1.	2.	3.
4.	5.	
<u>namen</u>		
1.	2.	3.
4.	5.	

Figuur 28. Verkorte structuurformules en namen van de vier isomeren van buteen (C_4H_8).

§ 8.2 Cycloalkanen:

Als het goed is heb je in Figuur 28 ook de verkorte structuurformule van cyclobutaan getekend. In het algemeen noemen we dit soort verzadigde, ringvormige koolwaterstoffen *cycloalkanen*. Omdat cycloalkanen dezelfde molecuulformule hebben (C_nH_{2n}) zijn het *isomeren* van overeenkomstige alkenen. Cyclohexaan is dus een isomeer van 1-hexeen (de molecuulformule is C_6H_{12}).

Net als de alkanen kunnen cycloalkanen vertakkingen bevatten. In dat geval bepaalt in de naamgeving de naam van de *ringverbinding* de stamnaam. Als er meerdere vertakkingen zijn, worden deze vertakkingen genummerd, zodanig dat de nummering zo laag mogelijk is (zie Figuur 29).

cycloöctaan	1,2-diëthylcyclobutaan
<u>verkorte structuurformule</u>	<u>verkorte structuurformule</u>
$\begin{array}{cccc} CH_2-CH_2-CH_2-CH_2 & & & \\ & & & \\ CH_2-CH_2-CH_2-CH_2 & & & \end{array}$	$\begin{array}{cccc} CH_2-CH-CH_2-CH_3 & & & \\ & & & \\ CH_2-CH-CH_2-CH_3 & & & \end{array}$

Figuur 29. Voorbeelden van cycloalkanen.

Vraag:

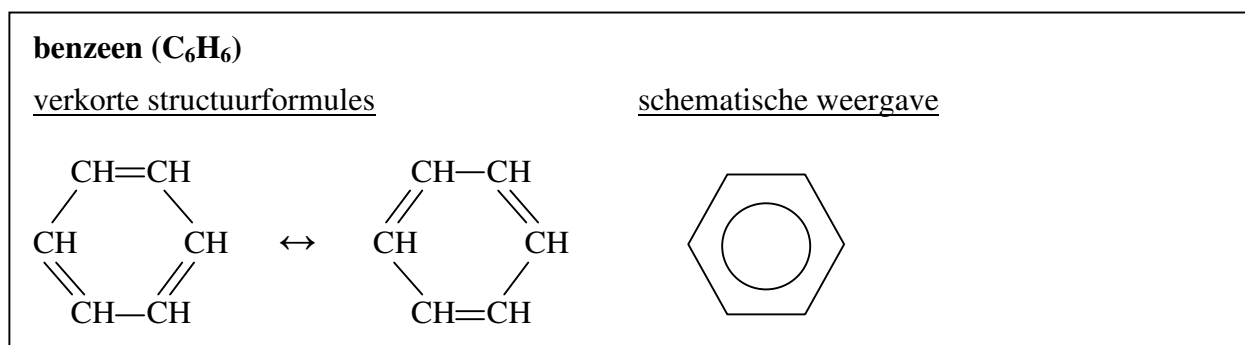
15. Geef de namen van drie isomeren van cyclopentaan:

1. 2. 3. □

Daarnaast kunnen ook in ringvormige koolwaterstoffen enkelvoudige C–C bindingen vervangen zijn door een of meer dubbele bindingen. In dat geval hebben we te maken met cycloalkenen, cycloalkadiënen, cycloalkatriënen, enz.

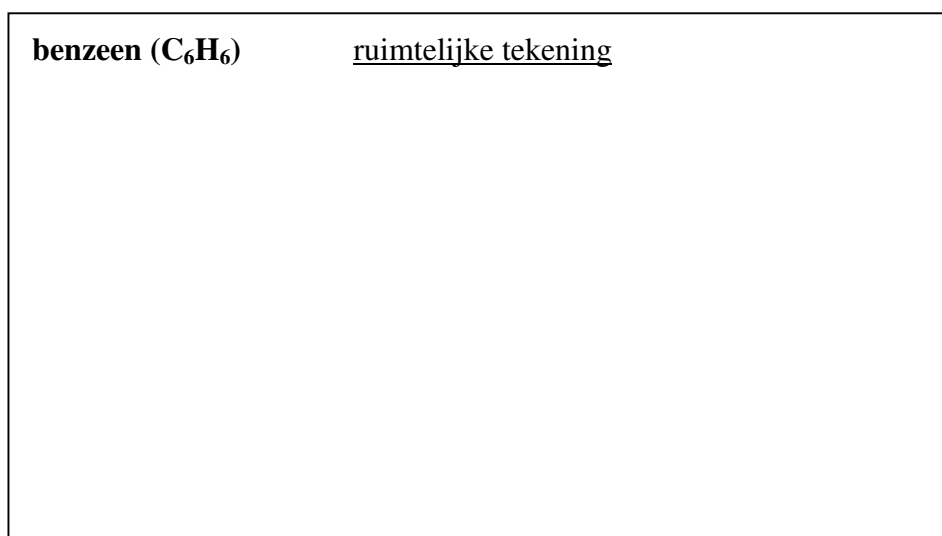
§ 8.3 Aromatische koolwaterstoffen:

Een bijzonder ringvormig koolwaterstof is *benzeen*. Dit kun je zien als een cyclohexaan waarin drie van de zes enkelvoudige C–C bindingen om en om zijn vervangen door dubbele bindingen (zie Figuur 30). De ringstructuur van benzeen werd in 1865 voorgesteld door de August Kekulé. Hij stelde benzeen voor als cyclohexatriëen en stelde voor dat de dubbele bindingen binnen de ringstructuur oscilleren, dat wil zeggen constant heen en weer gaan tussen naburige C-atomen (zie Figuur 30). Gemiddeld in de tijd is er dus anderhalve binding tussen alle C-atomen. Deze situatie wordt weergegeven door in plaats van de drie dubbele bindingen een cirkel te tekenen binnen de zeshoek van C-atomen (zie Figuur 30). Deze cirkel stelt dus drie dubbele bindingen voor zonder vaste positie in de ring van C-atomen.



Figuur 30. verkorte structuurformules en schematische weergave van benzeen (C₆H₆).

Opdracht 24. Bouw met de moleculenbouwdoos een molecuul na van benzeen en maak in de onderstaande figuur een ruimtelijke tekening volgens de Sawhorse-projectie. □



Figuur 31. Ruimtelijke tekening van benzeen (C₆H₆) volgens de Sawhorse-projectie.

Als je goed kijkt naar het nagebouwde benzeenmolecuul en de ruimtelijke structuur in Figuur 30, dan zie je dat de atomen van het benzeenmolecuul allemaal in hetzelfde vlak liggen. Deze vlakke structuur is een van de karakteristieke kenmerken van benzeen.

Net als andere koolwaterstoffen kan de *benzeenring* ook vertakkingen bevatten. Een of meer H-atomen zijn dan vervangen door alkylgroepen of andere karakteristieke groepen, denk maar eens aan 1,3-dimethylbenzeen. Methylbenzeen wordt vaak ook *tolueen* genoemd.

De benzeenring zelf kan ook als karakteristieke groep voorkomen. We spreken dan van een *fenylgroep* (C_6H_5-), denk maar eens aan 2-fenylloctaan. **Let op:** Je zou verwachten dat een benzeenring als karakteristieke groep een *benzylgroep* zou worden genoemd, maar de benzylgroep is een andere groep, namelijk $C_6H_5-CH_2-$. De benzylgroep is dus een fenylmethylgroep.

Wanneer in de benzeenring een H-atoom wordt vervangen door een hydroxylgroep ($-OH$) krijgen we het alcohol van benzeen, dat *fenol* wordt genoemd. De verkorte structuurformule van fenol is C_6H_5-OH . Vervangen we een H-atoom door een aminogroep ($-NH_2$), dan krijgen we *fenylamine* ($C_6H_5-NH_2$). De combinatie van een fenylgroep (C_6H_5-) en een carboxylgroep ($-COOH$) geeft tot slot *fenylmethaanzuur* of *benzeencarbonzuur* (C_6H_5-COOH).

Benzeenringen of fenylgroepen spelen in de organische chemie en de biochemie een belangrijke rol. Ze komen voor in de aminozuren fenylalanine, tryptofaan en tyrosine (zie BINAS tabel 67), maar ook bijvoorbeeld in kunststoffen als polyfenyl en polystyreen. Daarnaast worden stoffen als benzeen en toluen gebruikt als oplosmiddel voor organische stoffen die niet in water oplossen.

Koolwaterstoffen, die in de structuur een of meer benzeenringen (of fenylgroepen) bevatten, noemen we in het algemeen *aromatische koolwaterstoffen*. Niet-aromatische koolwaterstoffen (zoals alkanen) noemen we *alifatische koolwaterstoffen* en alifatische koolwaterstoffen met niet-aromatische ringverbindingen (zoals cycloalkanen) noemen we *alicyclische koolwaterstoffen*.

Vragen:

16. Leg uit waarom ethylbenzeen geen nummer in de naam bevat.

.....

17. Leg uit waarom je het aminozuur fenylalanine ook benzylglycine zou kunnen noemen (wat overigens niet gebeurt).

.....
.....

Opdracht 25. Teken in de onderstaande figuur de verkorte en/of schematische structuurformules van de gegeven aromatische verbindingen.

<u>naam</u>	<u>verkorte en/of schematische structuurformule</u>
tolueen	
2-fenylloctaan	
3-benzyl-2-penteen	
2-fenylbutaanzuur	
4-ethylfenol	

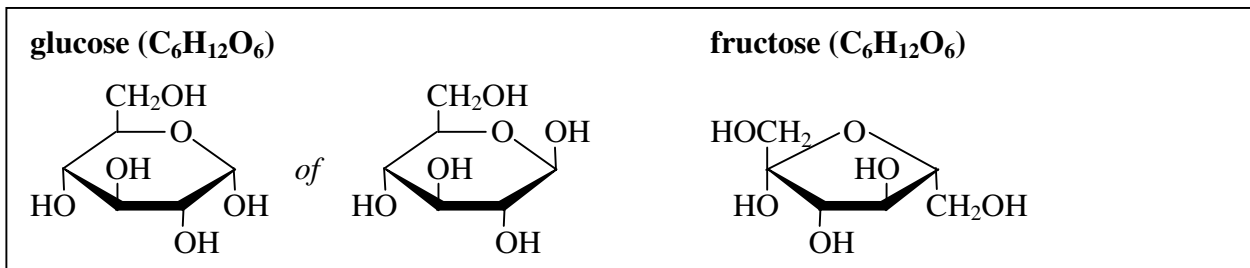
Figuur 32. Verkorte of schematische structuurformules van enkele aromatische verbindingen.

§ 9 Koolhydraten

Een andere belangrijke groep van organische ringverbindingen vormen de *koolhydraten*. Hiertoe behoren diverse suikers, zetmeel, cellulose en glycogeen. Omdat de algemene molecuulformule van koolhydraten $C_n(H_2O)_m$ is, is vroeger gedacht dat koolhydraten hydraten van koolstof zijn, dat wil zeggen verbindingen van koolstof met een hoeveelheid watermoleculen. Nu weten we dat de structuur van koolhydraten heel anders is en dat deze structuur is opgebouwd uit een of meer sacharideringen. Een *sacharidering* is een cyclohexaan of cyclopentaan, waarin één CH_2 -eenheid is vervangen door een O-atoom en waarbij aan elk C-atoom een hydroxylgroep ($-OH$) en/of een hydroxymethylgroep ($-CH_2-OH$) gebonden is.

§ 9.1 Mono- en disachariden (suikers)

Monosachariden zijn koolhydraten die bestaan uit één sacharidering. Tot de monosachariden behoren suikers als *glucose* (druivensuiker) en *fructose* (vruchtensuiker). Deze bestaan uit een zes-, respectievelijk een vijfhoekige sacharidering, zoals te zien is in Figuur 33. Van glucose zijn twee vormen getekend (α - en β -glucose). Deze zijn niet identiek, maar isomeren van elkaar.



Figuur 33. Schematische structuurformules van (α - en β -)glucose en fructose.

Opdracht 26. Bouw met de moleculenbouwoos een molecuul na van α -glucose of fructose. Let er op dat er in de klas van beide suikers evenveel moleculen worden nagebouwd.

Bewaar je nagebouwde molecuul!

Vragen:

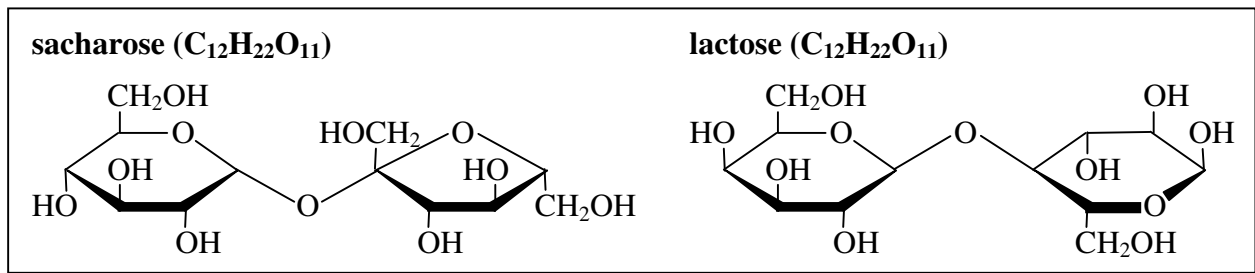
18. Bekijk een nagebouwd molecuul van α -glucose en Figuur 33 en leg uit waarom α -glucose en β -glucose wel isomeren van elkaar zijn, maar niet identiek zijn.

.....
.....

19. Leg uit waarom fructose ook een isomeer is van α -glucose en β -glucose.

.....
.....

Wanneer twee monosachariden door een *condensatiereactie* aan elkaar verbonden worden, onder afsplitsing van een watermolecuul (zie § 6.4 en § 7.4), ontstaat een *disacharide*. Voorbeelden hiervan zijn suikers als *sacharose* (de gewone suiker uit de keuken) en *lactose* (melksuiker). Sacharose (of *sucrose*) ontstaat door het “samensmelten” van α -glucose en fructose (zie Figuur 33 en Figuur 34). Lactose ontstaat door het “samensmelten” van β -galactose (een ander monosacharide, zie BINAS tabel 67) en α -glucose (zie Figuur 33 en Figuur 34).



Figuur 34. Schematische structuurformules van sacharose en lactose.

Opdracht 27. Bouw met anderen uit de klas uit de nagebouwde moleculen van α -glucose en fructose een sacharosemolecuul na.

Bewaar na afloop de nagebouwde α -glucosemoleculen! □

Vraag:

20. Geef de reactievergelijking voor de condensatiereactie tussen α -glucose en fructose waarbij sacharose en water worden gevormd.

..... □

§ 9.2 Polysachariden (zetmeel, cellulose en glycogeen)

Wanneer meerdere monosachariden door condensatiereacties aan elkaar verbonden worden, kunnen er polysachariden ontstaan. Deze macromoleculen kunnen tientallen tot zelfs duizenden sacharideringen bevatten, die verbonden kunnen zijn in lange ketens of vertakte netwerken. De lange ketens ontstaan door condensatie van de eerste en vierde hydroxylgroep (–OH) in de ring (geteld vanaf het O-atoom in de ring) met de vierde en eerste hydroxylgroepen van naburige sacharideringen. De vertakte netwerken kunnen ontstaan als tussen de ketens dwarsverbindingen worden gevormd door condensatie van de eerste hydroxylgroep in de ring met de hydroxymethylgroep (–CH₂–OH) van een naburige sacharidering.

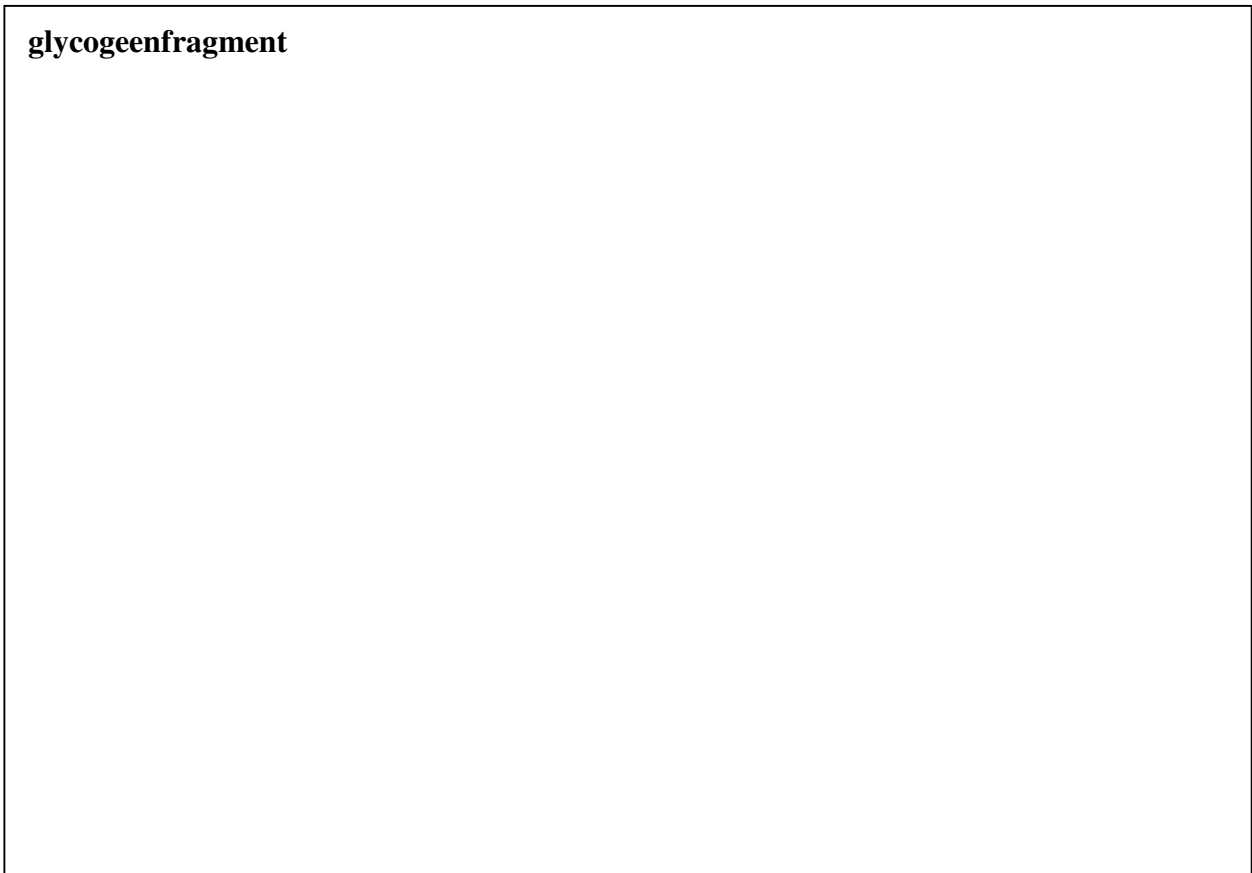
Voorbeelden van polysachariden zijn *zetmeel*, *cellulose* en *glycogeen*. In BINAS tabel 67 kun je zien dat *zetmeel* (of *amylose*) bestaat uit ketens van gecondenseerde α -glucosemoleculen en dat *cellulose* bestaat uit ketens van gecondenseerde β -glucosemoleculen. Daarentegen bestaat glycogeen uit vertakte amyloseketens.

Het zetmeel dat we met ons voedsel binnen krijgen, wordt bij de spijsvertering *gehydrolyseerd* met water (het omgekeerde proces van condensatie). Daarbij ontstaat α -glucose. Het α -glucose wordt opgenomen in het bloed en getransporteerd naar de cellen, waar het gebruikt wordt als brandstof. De α -glucose die niet meteen nodig is, wordt door het lichaam opgeslagen door het om te zetten in glycogeen. Glycogeen vormt daarmee de energievoorraad van het lichaam.

Cellulose zit in veel natuurlijke vezels en geeft planten hun stevigheid. Hout bestaat voor ongeveer de helft uit cellulose en katoen en watten zijn bijna zuivere cellulose. Daarnaast wordt cellulose als grondstof gebruikt in de fabricage van papier, textielvezels, viscose, celluloid en cellofaan. In tegenstelling tot zetmeel en glycogeen, die zijn opgebouwd uit α -glucosemoleculen, kunnen wij cellulose, dat is opgebouwd uit β -glucosemoleculen, niet verteren.

Opdracht 28. Bouw (als je dat nog niet hebt gedaan) met de moleculenbouwdoos een molecuul na van α -glucose, bouw daarmee met de anderen uit de klas een stukje glycogeen na (zie BINAS tabel 67) en geef in onderstaande figuur de schematische structuurformule van het nagebouwde glycogeenfragment.

glycogeenfragment



Figuur 35. Schematische structuurformule van het nagebouwde glycogeenfragment.

Vragen:



21. Geef de reactievergelijking voor de hydrolyse van zetmeel. Ga er van uit dat het zetmeel is opgebouwd uit 100 α -glucosemoleculen.
.....
22. Geef de reactievergelijking voor de vorming van glycogeen uit 100 α -glucosemoleculen.
.....
23. Wat voor soort reacties vinden er plaats bij de vorming van glycogeen uit α -glucose?
.....
24. Bekijk nog eens de polysachariden in BINAS tabel 67. Waaraan kun je zien dat cellulose is opgebouwd uit β -glucosemoleculen?
.....
.....

§ 10 Overzicht

§ 10.1 Overzicht van koolwaterstoffen en karakteristieke groepen

In de voorgaande paragrafen heb je kennis gemaakt met verschillende soorten koolwaterstoffen en verschillende karakteristieke groepen die daaraan verbonden kunnen zijn (in de plaats van een H-atoom in het koolwaterstof). In Tabel 6 is een overzicht gegeven van een aantal belangrijke soorten koolwaterstoffen en hun naamgeving. In Tabel 7 is hetzelfde gedaan voor een aantal belangrijke karakteristieke groepen.

Tabel 6. Belangrijke soorten koolwaterstoffen

koolwaterstof	karakteristieke binding	algemene molecuulformule	voorbeelden
<u>alkaan</u>	$-C-C-$ *	C_nH_{2n+2}	<u>hexaan</u> (C_6H_{14})
<u>alkeen</u>	$-C=C-$	C_nH_{2n}	2- <u>hexeen</u> (C_6H_{12} of $C_2H_4=C_4H_8$)
<u>alkyn</u>	$-C\equiv C-$	C_nH_{2n-2}	2- <u>hexyn</u> (C_6H_{10} of $C_2H_3\equiv C_4H_7$)
<u>cycloalkaan</u>	ringverbinding	C_nH_{2n}	cyclohexaan (C_6H_{12} of )
<u>benzeen</u>		C_6H_6	benzeen (C_6H_6)

* behalve in methaan, waarin deze binding uiteraard niet voorkomt (alleen $-C-H$ bindingen)

Tabel 7. Belangrijke karakteristieke groepen

groepsnaam	groepsformule	voorvoegsel *	achtervoegsel *	voorbeelden
alkylgroep (methyl, ethyl, ...)	$-C_nH_{2n+1}$ ($-CH_3$, $-C_2H_5$, ...)	alkyl-	-	3- <u>methyl</u> heptaan
fenylgroep	$-C_6H_5$	fenyl-	-	2- <u>fenyl</u> propaanzuur
carboxylgroep	$-COOH$	-	-zuur <i>-carbonzuur</i>	ethaan <u>zuur</u> (<i>groeps-C telt mee in stamnaam</i>) methaan <u>carbonzuur</u> (<i>groeps-C telt niet mee</i>)
hydroxylgroep	$-OH$	<i>hydroxy-</i>	-ol	2-butanol 2- <u>hydroxy</u> butaanzuur <u>fenol</u>
thiolgroep	$-SH$	<i>mercapto-</i>	-thiol	2-pentaan <u>thiol</u> 4- <u>mercapto</u> -1-butanol
aminogroep	$-NH_2$	<i>amino-</i>	-amine	1-butaan <u>amine</u> <u>aminobenzeen</u>

* *Cursief gedrukt is een tweede, alternatieve mogelijkheid (als de eerste niet mogelijk is)*

§ 10.2 Overzicht van de naamgeving

Met de naamgeving van organische stoffen (koolwaterstoffen met een of meer karakteristieke groepen) heb je stukje bij beetje ook al kennis gemaakt. Laten we de belangrijkste regels nog eens kort op een rijtje zetten:

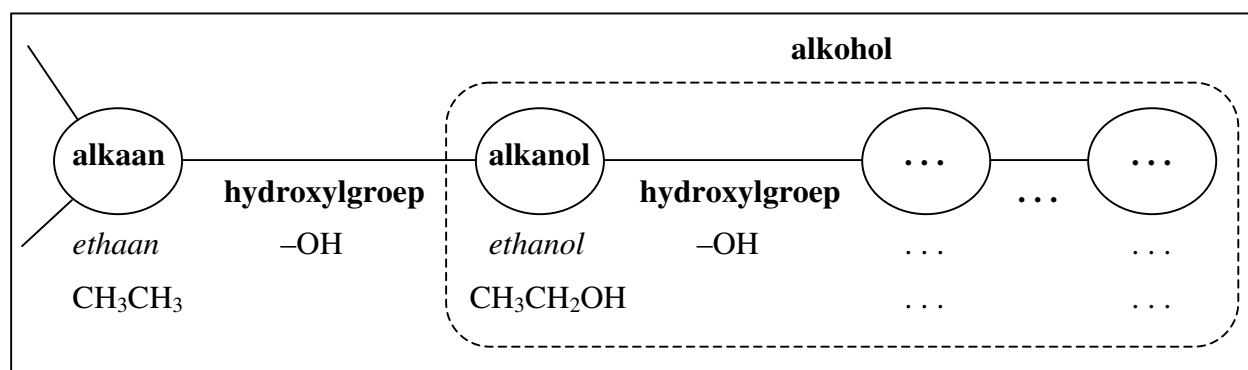
1. Zoek in de molecuulstructuur de langste aaneengesloten keten van C-atomen, dat wil zeggen het **grootste lineaire of ringvormige koolwaterstof**, al dan niet voorzien van dubbele of drievoudige bindingen (dus een van de soorten koolwaterstoffen uit Tabel 6). Deze keten is de stam van het molecuul. De stamnaam wordt bepaald door de aard van de stam (zie Tabel 6) en het aantal C-atomen daarin. Is de stam een alkaan met 6 C-atomen, dan is de stamnaam hexaan. Is de stam een benzeenring, dan is de stamnaam benzeen.
2. Is de stam een alkeen of een alkyn, bepaal dan het nummer van het eerste C-atoom met de **dubbele of drievoudige binding**. Zet dit nummer voor de naam van het alkeen of alkyn, als het nodig is om onderscheid te maken (zoals in 1-hexeen en 2-hexeen, zie Tabel 6). Tel vanaf de kant die de laagste nummering oplevert!
3. Bepaal aan welke C-atomen in de stam welke **karakteristieke groepen** zitten (zie Tabel 7). Tel vanaf de kant die de laagste nummering oplevert, maar tel steeds vanaf dezelfde kant!
4. Bij de bepaling van een achtervoegsel voor een karakteristieke groep wordt uitgegaan van de **volgorde**: 1. carboxylgroep, 2. hydroxylgroep, 3. thiogroep en 4. aminogroep. Slechts één achtervoegsel is toegestaan. Is dit gebruikt voor een andere groep, dan wordt het alternatieve voorvoegsel gebruikt. Voor alkyl- en fenylgroepen wordt altijd een voorvoegsel gebruikt.
5. Bepaal de karakteristieke groep die het **achtervoegsel** bepaalt. Zet indien nodig het nummer van het C-atoom waaraan deze groep zit voor de stamnaam of direct voor het achtervoegsel als er voor de stamnaam al een nummer staat. Voorbeelden: 2-heptanol en 2-hexeen-3-ol. Let op: benzeen met een hydroxylgroep wordt fenol en met een aminogroep fenylamine.
6. Bepaal voor de andere karakteristieke groepen de **voorvoegsels**. Zet deze voorvoegsels in alfabetische volgorde (dus ethyl voor methyl) met indien nodig de bijbehorende nummers van de C-atomen waaraan ze zitten voor de stamnaam (en het nummer dat daar al voor staat). Voorbeelden: 3-methyl-2-heptanol en 2-amino-3-ethyl-2-hexeen-1-ol.
7. Wanneer een karakteristieke groep meerdere keren voorkomt, gebruik dan de **telwoorden** di, tri, tetra, penta, hexa, enz. Zet deze telwoorden direct voor het achter- of voorvoegsel. Voorbeelden: 1,4-butaandithiol en 2,3,3,4,4,5-hexamethylhexaan.

Opdracht 29. Geef in de onderstaande figuur de verkorte structuurformules van de gegeven organische stoffen. □

<u>naam</u>	<u>verkorte structuurformule</u>
3-methyl-2-heptanol	
2-hexeen-3-ol	
2-amino-3-ethyl-2-hexeen-1-ol.	
1,4-butaandithiol	

Figuur 36. Verkorte structuurformules van enkele organische stoffen.

Opdracht 30. Maak op een vel A4-papier (of een vel A3-papier als je het groot wilt aanpakken) een *begrippenkaart*. In een begrippenkaart zijn verschillende *hoofdbegrippen* met elkaar verbonden door *verbindende begrippen*. Zo zijn de hoofdbegrippen **alkaan** en **alkanol** met elkaar verbonden door het verbindende begrip **hydroxylgroep**, immers een alkanol is een alkaan met een hydroxylgroep. In de begrippenkaart zijn de hoofdbegrippen verbonden met lijnen (zie het voorbeeld in Figuur 37). Deze lijnen kunnen kort zijn, maar ook lang, dwars over het papier. Bij elke lijn zet je zo mogelijk het verbindende begrip. Wanneer meerdere hoofdbegrippen samen zijn te brengen onder één noemer, een *groepsbegrip* (zoals bijvoorbeeld een **alkanol** valt onder het algemenere **alkohol**), kun je een cirkel om de hoofdbegrippen tekenen en dit groepsbegrip erbij zetten. Gebruik alle begrippen uit de lijst hieronder tenminste één keer (alleen verbindende begrippen mag je vaker gebruiken) en zet in andere kleuren de formules van karakteristieke groepen en voorbeelden van stoffen bij de begrippen. **Tip:** Maak eerst een kladversie! □



Figuur 37. Een stukje begrippenkaart.

Lijst van begrippen voor de begrippenkaart: (vink ze maar af!)

- | | | |
|--|--|---|
| <input type="checkbox"/> alicyclisch koolwaterstof | <input type="checkbox"/> benzeenring | <input type="checkbox"/> meervoudig onverzadigd vetzuur |
| <input type="checkbox"/> alifatisch koolwaterstof | <input type="checkbox"/> carbonzuur | <input type="checkbox"/> monosacharide |
| <input type="checkbox"/> alkaan | <input type="checkbox"/> carboxylgroep | <input type="checkbox"/> natuurlijk aminozuur |
| <input type="checkbox"/> alkaanamine | <input type="checkbox"/> condensatiereactie | <input type="checkbox"/> onverzadigd koolwaterstof |
| <input type="checkbox"/> alkaandiol | <input type="checkbox"/> cycloalkaan | <input type="checkbox"/> onverzadigd vetzuur |
| <input type="checkbox"/> alkaanthiol | <input type="checkbox"/> dipeptide | <input type="checkbox"/> peptidebinding |
| <input type="checkbox"/> alkaantriol | <input type="checkbox"/> disacharide | <input type="checkbox"/> polypeptide |
| <input type="checkbox"/> alkaanzuur | <input type="checkbox"/> drievoudige binding | <input type="checkbox"/> polysacharide |
| <input type="checkbox"/> alkanol | <input type="checkbox"/> dubbele binding | <input type="checkbox"/> ringverbinding |
| <input type="checkbox"/> alkeen | <input type="checkbox"/> eiwit | <input type="checkbox"/> sacharidering |
| <input type="checkbox"/> alcohol | <input type="checkbox"/> enkelvoudige binding | <input type="checkbox"/> thiolgroep |
| <input type="checkbox"/> alkylgroep | <input type="checkbox"/> enzym | <input type="checkbox"/> tripeptide |
| <input type="checkbox"/> alkyn | <input type="checkbox"/> fenylgroep | <input type="checkbox"/> vertakt alkaan |
| <input type="checkbox"/> amine | <input type="checkbox"/> hydrolysereactie | <input type="checkbox"/> verzadigd koolwaterstof |
| <input type="checkbox"/> aminogroep | <input type="checkbox"/> hydroxylgroep | <input type="checkbox"/> verzadigd vetzuur |
| <input type="checkbox"/> aminozuur | <input type="checkbox"/> isomerie | <input type="checkbox"/> vetzuur |
| <input type="checkbox"/> aromatisch koolwaterstof | <input type="checkbox"/> karakteristieke groep | <input type="checkbox"/> vet |
| <input type="checkbox"/> benzeen | <input type="checkbox"/> koolwaterstof | |

Het maken van de begrippenkaart in Opdracht 30 is bedoeld om je een beter overzicht te geven van alle begrippen en hun onderlinge verbanden. Waarschijnlijk zul je ze daardoor beter leren onthouden. **Pas op:** niet alle begrippen uit de tekst zijn opgenomen in Opdracht 30.

Bronnen

Kabel-Van den Brand, M.A.W.; Korver, E.J. & Franken, P.W. (2003): "*Chemie Overal – Sk vwo NG/NT 1*", 2e druk, 2e oplage, EPN, Houten.

Kendrew, J.C.; Dickerson, R.E.; Strandberg, B.E.; Hart, R.G.; Davies, D.R.; Phillips, D.C. & Shore, V.C. (1960): "*Structure of myoglobin*", Nature 185, p. 422-427.

McMurry, J. (1984): "*Organic Chemistry*", Brooks/Cole Publishing Company, Monterey, Californië, Verenigde Staten van Amerika.

Pieren, L.O.F.; Scheffers-Sap, M.; Scholte, H.G.M.; Vroemen, E.H.M. & Davids, W (1998): "*Chemie – vwo bovenbouw – scheikunde 1 deel 1*", 5e druk, Wolters-Noordhoff, Groningen.

Pieren, L.O.F.; Scheffers-Sap, M.; Scholte, H.G.M.; Vroemen, E.H.M. & Davids, W (1999): "*Chemie – vwo bovenbouw – scheikunde 1 deel 2*", 5e druk, Wolters-Noordhoff, Groningen.

Stryer, L. (1988): "*Biochemistry*", 3e druk, W.H. Freeman & Company, New York, Verenigde Staten van Amerika.

Van de Wetering, C. (2003): "*De energieke aarde – Over aardolie, 's werelds belangrijkste energiebron en grondstof*", Kenmerk onderwijsvoorlichting (in opdracht van Shell Nederland), Zorn Uitgeverij, Leiden.

Internetsites:

<http://www.wikipedia.nl> (publieke internet encyclopedie)

<http://mediatheek.thinkquest.nl/~llc258> (site over systematische naamgeving met 3D-animaties)

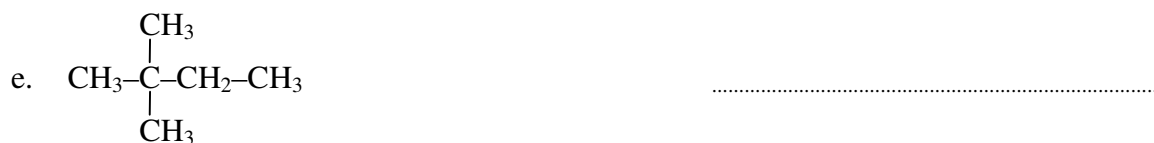
<http://cheminf.cmbi.ru.nl/wetche/vwo/index.html> (site voor het maken van molecuulmodellen)

<http://www.acdlabs.com> (site van Advanced Chemistry Development (ACD/Labs) met gratis (downloadable freeware) chemisch tekenprogramma ChemSketch 8.0 voor onder andere het maken van (3D-)molecuultekeningen)

<http://www.natuurlijkerwijs.com> (site over kruiden en voedingscomponenten (aminozuren, koolhydraten, vitaminen, E-nummers, enz.))

Extra oefenopgaven

25. Benoem de volgende koolwaterstoffen:



26. Welke van de zes koolwaterstoffen in vraag 25 zijn isomeren van elkaar?

.....

27. Geef de namen en verkorte structuurformules van drie isomeren van heptaan.

1.

2.

3.

28. Benoem de volgende organische stoffen:



29. Geef de reactievergelijking voor de volledige verbranding van:
(Neem aan dat stikstofoxiden niet gevormd worden, maar dat eventueel stikstof vrijkomt)
- a. Methaan:
 - b. 1-butanol:
 - c. 3-heptyn:
 - d. 3,3-dimethyl-1-octaanamine:
 - e. Glycerol:
 - f. Cysteïne:

30. Geef de reactievergelijking voor de condensatiereactie tussen β -galactose en α -glucose, waarbij lactose en water gevormd worden (zie BINAS tabel 67). Gebruik de schematische structuurformules voor de sachariden.
-

31. Rangschik de volgende koolwaterstoffen naar toenemend kookpunt:
- a. Hexaan, butaan, decaan en methaan

 - b. 2,2-dimethyloctaan, decaan, 2,2,3,3,4-pentamethylpentaan, 3-methylnonaan

32. Ethanol is een vluchtige vloeistof. Dat wil zeggen dat ethanol bij kamertemperatuur (25 °C) en normale druk gemakkelijk verdampt, ook al ligt het kookpunt bij 78 °C.
- a. Geef de verkorte structuurformule en de molecuulformule van ethanol.

 - b. Laat met een berekening zien hoeveel L ethanol damp er kan ontstaan, als 1,00 L ethanol verdampt bij kamertemperatuur en normale druk.

33. Hieronder zie je een worduku. Een worduku is een sudoku (een heel populaire puzzelsoort) met 9 verschillende letters in plaats van de cijfers van 1 tot en met 9. Een aantal vakjes is reeds ingevuld met één van de 9 letters. De overige vakjes vul je zelf in op zo'n manier dat in elke horizontale lijn, in elke verticale kolom én in elk blokje van drie bij drie de 9 letters maar één keer voorkomen.

a. Los de worduku op en vind het verborgen woord in de grijze vakjes op de diagonaal.

	O				N			
				L	P			D
	T			O		A		
P		T			D			O
			L		I	D		T
I	E							
				T			A	P
			I					
O	N	I					L	

Verborgen woord:

.....

b. In de grijze vakjes op de diagonaal zie je nu een woord. Leg uit wat dit woord betekent.

.....

.....

c. Geef een voorbeeld van het verborgen woord.

..... □