

Je kunt bij een onderwerp komen door op de gewenste rubriek in de inhoud te klikken.

Wil je vanuit een rubriek terug naar de inhoud, klik dan op de tekst van de rubriek waar je bent.

Gewoon scrollen gaat natuurlijk ook.

Achter sommige opgaven staat tussen haakjes extra informatie over aspecten die ook in betreffende opgave voorkomen.

[Antwoorden zijn onder de vragen in blauw weergegeven.](#)

## **Inhoud**

Brandstoffen (bovenbouw) .....	2
Systematische naamgeving (inclusief structuurisomerie) (bovenbouw) .....	4
Reacties van koolstofverbindingen (bovenbouw) .....	12
Additie en substitutie .....	12
Esters .....	14
Ethers (alkoxyalkanen) .....	16
Redoxreacties met alcoholen .....	17
Polymeren (bovenbouw) .....	19
Stereochemie ( <i>Cis- trans-</i> en optische isomerie) (bovenbouw) .....	23
Varia (bovenbouw) .....	36

## Brandstoffen (bovenbouw)

### Opgave 1 Kraken

De vraag naar brandstoffen voor (auto)motoren is groot. Veel van deze brandstoffen haalt men uit aardolie, bijvoorbeeld door destillatie van ruwe aardolie of door het kraken van bepaalde aardoliefracties.

- 1 Leg uit of destillatie een chemische reactie is.

Destillatie is geen chemische reactie, omdat er geen nieuwe stoffen ontstaan.

Bij een kraakproces ontstaan uit dodecaan,  $C_{12}H_{26}(l)$ , twee verschillende stoffen. Een van deze stoffen is octaan.

- 2 Geef het kraken weer in een reactievergelijking met molecuulformules.



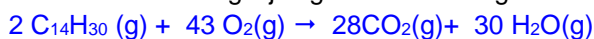
- 3 Leg uit dat bij het kraken niet uitsluitend verzadigde koolwaterstoffen kunnen ontstaan.

Als een binding tussen twee C-atomen breekt kom je twee H-atomen tekort om een verzadigde koolwaterstof te laten ontstaan. Omdat koolstof covalentie 4 heeft, moet er een dubbele binding ontstaan.

### Opgave 2 Verbranden van dieselolie

Bij het gebruik van fossiele brandstoffen ontstaat koolstofdioxide. Het wegverkeer gebruikt fossiele brandstoffen. Zo rijden de meeste bussen op dieselolie. De samenstelling van dieselolie kan met de formule  $C_{14}H_{30}$  worden weergegeven.

- 1 Geef de reactievergelijking van de volledige verbranding van dieselolie.



- 2 Leg uit waarom dieselolie een fossiele brandstof is.

Dieselolie komt uit aardolie dat ontstaan is door het afsterven van levende organismen.

- 3 Geef nog twee voorbeelden van fossiele brandstoffen.

Steenkool en aardgas.

Een bus levert op deze wijze een bijdrage aan het broeikaseffect.

- 4 Beschrijf in het kort wat wordt bedoeld met 'broeikaseffect'.

Het broeikaseffect is het verschijnsel waarbij  $CO_2$  als het ware een deken rond de aarde vormt waardoor de aarde zijn warmte niet meer kan afstaan.

Als een dieselmotor niet goed is afgesteld, treedt onvolledige verbranding op van de dieselolie. Daarbij ontstaan ongewenste producten. Eén van die producten kun je dan uit de uitlaat zien komen.

- 5 Welk product is dat?

Roet / koolstof

Een ander ongewenst product bij de onvolledige verbranding van dieselolie is een kleurloos gas.

- 6 Geef de naam van dit gas en geef een argument waarom moet worden voorkomen dat dit product ontstaat. Koolstofmonoxide / CO

(CO bindt zich sneller aan rode bloedlichaampjes dan  $O_2$ ) Het is (zodoende) een giftig gas

Omdat de voorraden fossiele brandstoffen afnemen en om het broeikaseffect terug te dringen, is men op zoek naar alternatieve brandstoffen, zoals alcohol of zonnebloemolie. Bij de verbranding van zonnebloemolie ontstaat onder andere koolstofdioxide. Maar de verbranding van zonnebloemolie draagt, in tegenstelling tot die van dieselolie, niet bij aan het broeikaseffect.

- 7 Leg uit waarom de verbranding van zonnebloemolie niet bijdraagt aan het broeikaseffect.

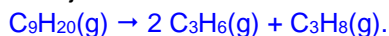
De  $CO_2$  die bij de verbranding vrijkomt, is tijdens de groei door de planten opgenomen.

### Opgave 3 Kraken

Aan benzine worden stoffen toegevoegd die de eigenschappen van benzine verbeteren. Deze stoffen ontstaan bij het kraken van koolwaterstoffen.

Bij het kraken van  $C_9H_{20}(g)$  ontstaan twee stoffen:  $C_3H_6(g)$  en  $C_3H_8(g)$ .

- 1 Schrijf van deze kraakreactie de vergelijking op.



Henk beweert: "een kraakreactie is een ontledingsreactie".

- 2 Leg uit of Henk gelijk heeft. In de uitleg moet de definitie van een ontledingsreactie vermeld worden.  
Ontleding is een reactie waarbij uit één stof meer producten ontstaan. Dat is hier het geval, dus Henk heeft gelijk.

- 3 Leg uit welke van de stoffen een onverzadigde koolwaterstof is. Daarbij moet ook de structuurformule van die stof getekend worden.

De structuurformule is  $CH_2 = CH - CH_3$ , daarin is een  $C=C$  – binding aanwezig, dus een onverzadigde koolwaterstof.

- 4 Schrijf op met welk reagens je een onverzadigde koolwaterstof kunt aantonen en wat je daarbij zult waarnemen. Doe dat op de volgende manier:

Naam van het reagens: broom- of joodwater

Kleur van het reagens vóór het aantonen: geel tot bruin

Kleur van het reagens na het aantonen: kleurloos

### Opgave 4 Bio-alcohol

Een alternatieve brandstof is bio-alcohol ( $C_2H_6O(l)$ ). Bio-alcohol ontstaat als een oplossing van glucose gaat gisten. Bij de gisting treedt een ontledingsreactie op waarbij naast een oplossing van alcohol ook koolstofdioxide in gasvorm ontstaat. De formule van glucose (in oplossing) is  $C_6H_{12}O_6(aq)$ .

- 1 Leg uit of glucose bij de koolwaterstoffen hoort.  
Een koolwaterstof bevat uitsluitend C- en H-atomen. Hier zijn ook O-atomen, dus glucose is geen koolwaterstof.
- 2 Schrijf de vergelijking op van deze vergisting.  
 $C_6H_{12}O_6(aq) \rightarrow 2 CO_2(g) + 2 C_2H_6O(aq)$
- 3 Leg uit waardoor je kunt zeggen dat gebruik van bio-alcohol geen bijdrage levert aan het broeikas effect.  
Voor de groei hebben de planten net zoveel  $CO_2$  opgenomen die bij de verbranding weer vrijkomt.

### Opgave 5 Rotting van afvalhout

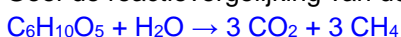
Veel afvalhout komt op stortplaatsen terecht. Door rotting gaat dit over in methaan,  $CH_4$ , en koolstofdioxide. Vooral het vrijkomende methaan wordt gezien als een bedreiging van het milieu..

- 1 Waarom wordt het vrijkomen van methaan gezien als een bedreiging voor het milieu?

Omdat methaan een broeikasgas is.

Hout bestaat voor een groot deel uit cellulose. Bij de rotting van nat hout worden cellulose en water omgezet in de gassen methaan en koolstofdioxide. De gassen methaan en koolstofdioxide ontstaan in de verhouding 1 : 1. Cellulose kan worden genoteerd als  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Hierbij is n een (groot) getal.

- 2 Geef de reactievergelijking van deze omzetting voor één  $C_6H_{10}O_5$ -groep.



Als men het hout, in plaats van het te laten verrotten, gebruikt als brandstof, is dat beter voor het milieu; er komt dan geen methaan vrij.

Bij het verbranden van hout kan onvolledige verbranding optreden.

- 3 Geef de namen van twee stoffen die wel kunnen ontstaan bij onvolledige verbranding van hout, maar die niet ontstaan bij volledige verbranding.

Koolstof (roet) en koolstofmono-oxide.

- 4 Geef de naam van een stof die, naast koolstofdioxide, zowel bij onvolledige als bij volledige verbranding van hout ontstaat.

Water

Elektriciteitscentrales kunnen, bijvoorbeeld naast steenkool, gebruik maken van afvalhout als brandstof. Het koolstofdioxide dat bij de verbranding van afvalhout ontstaat, draagt niet bij aan de versterking van het broeikas effect.

- 5 Leg uit waarom het koolstofdioxide dat bij de verbranding van afvalhout ontstaat, niet bijdraagt aan de versterking van het broeikas effect.

Bij de verbranding van hout komt evenveel CO<sub>2</sub> vrij als er eerder tijdens de groei is opgenomen.

## Opgave 6 Gefractioneerde destillatie

Bij de gefractioneerde destillatie van aardolie ontstaan geen zuivere stoffen. Elke fractie is een mengsel van vele stoffen.

- 1 Leg uit waardoor de stoffen die zich in één fractie bevinden niet goed te scheiden zijn door middel van destillatie.

De kookpunten liggen erg dicht bij elkaar..

Eén van de fracties die bovenin de kolom wordt afgescheiden, levert gasolie (benzine). Een fractie die lager in de kolom wordt afgescheiden, levert diesel.

Tussen gasolie en diesel bestaat een groot verschil in brandbaarheid.

- 2 Leg uit of de moleculen in diesel groter, kleiner, of ongeveer even groot zullen zijn als de moleculen in gasolie.

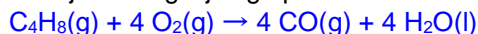
gasolie heeft het laagste kookpunt, dus de kleinste moleculen.

- 3 Leg uit welke van deze stoffen de grootste brandbaarheid heeft.

Brandbaarheid is groter als de hoeveelheid verdampte stof groter is, dus gasolie (de stof met het laagste kooktraject) is het meest brandbaar.

LPG (gasvormige fractie van aardolie) wordt gebruikt als autobrandstof. Eén van de stoffen uit LPG is C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>(g). De automotor is slecht afgesteld zodat bij de verbranding van C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>(g) koolstofmono-oxide ontstaat in plaats van koolstofdioxide.

- 4 Schrijf de vergelijking op van deze onvolledige verbranding van C<sub>4</sub>H<sub>8</sub>(g).



## Opgave 7 Kraken

Grote minder waardevolle moleculen kan men door kraken omzetten in kleinere waardevollere moleculen. Bij het kraken van C<sub>15</sub>H<sub>32</sub> ontstaat C<sub>6</sub>H<sub>14</sub> en nog twee andere moleculen.

- 1 Geef de structuurformules en de namen van twee andere moleculen die zouden kunnen ontstaan bij dit kraken. Je hoeft geen toestanden te vermelden.

Voorbeeld van een correct antwoord:

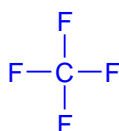


## Systematische naamgeving (inclusief structuurisomerie) (bovenbouw)

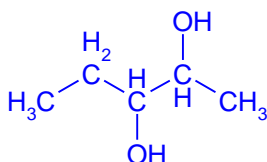
### Opgave 1 Structuurformules

- 1 Geef de structuurformules van de volgende stoffen.

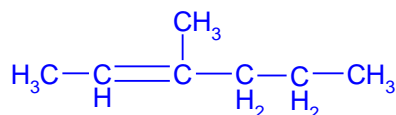
a tetrafluormethaan



b pentaan-2,3-diol



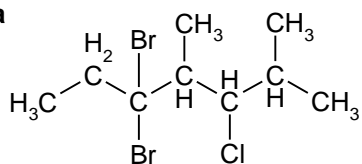
c 3-methylhex-2-een



## Opgave 2 Naamgeving

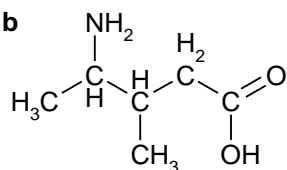
- 1 Geef de namen van de stoffen met de volgende structuurformules:

a



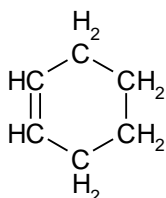
5,5-dibroom-3-chloor-2,4-dimethylheptaan.

b



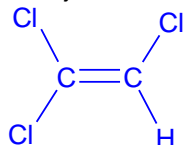
4-amino-3-methylpentaanzuur

c



cyclohexeen

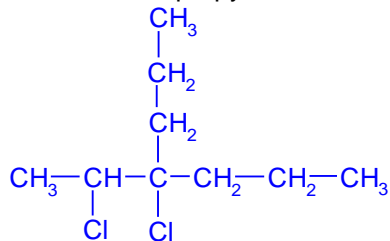
- 2 Schrijf de structuurformule op van tri,  $C_2HCl_3$



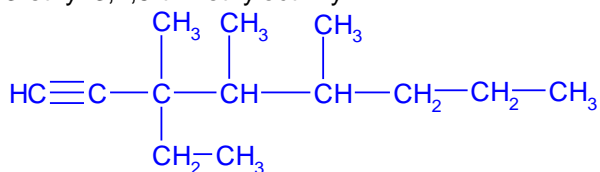
## Opgave 3 Structuurformules

Teken de structuurformules van de volgende stoffen.

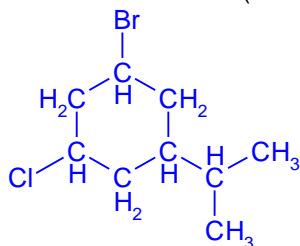
- 1 2,3-dichloor-3-propylhexaan



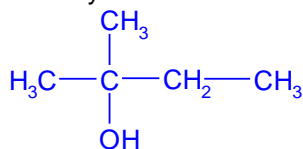
- 2 3-ethyl-3,4,5-trimethyloct-1-yn



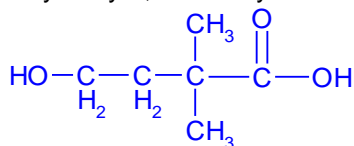
- 3 1-broom-5-chloor-3-(1-methylethyl)cyclohexaan



4 2-methylbutaan-1-ol

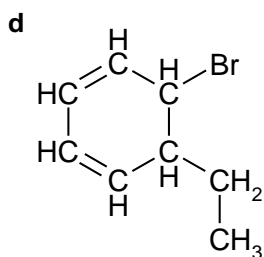
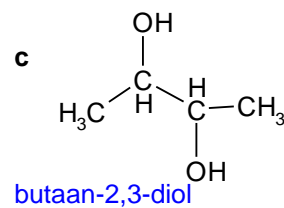
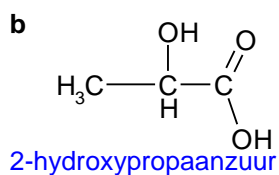
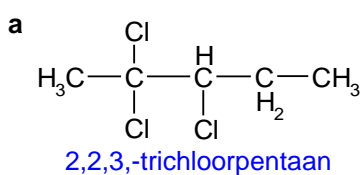


5 4-hydroxy-2,2-dimethylbutaan-1-ol

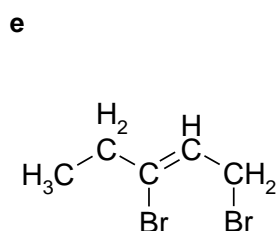


## Opgave 4 Naamgeving

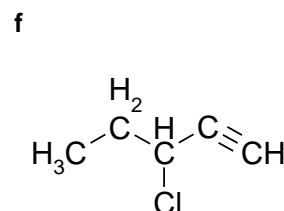
1 Geef de namen van de onderstaande verbindingen.



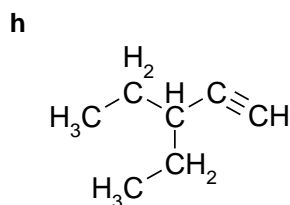
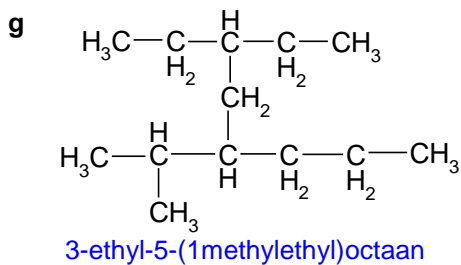
5-broom-6-ethylcyclohexa-1,3-dien



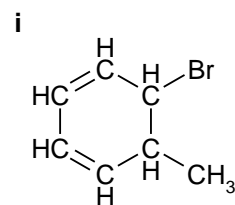
1,3-dibroompent-2-een



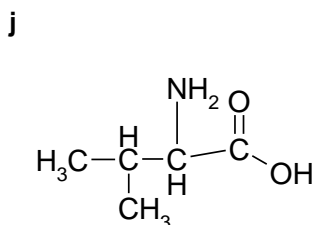
3-chloorpent-1-yn



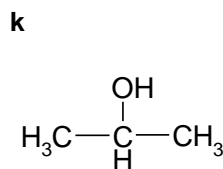
3-ethylpentyn



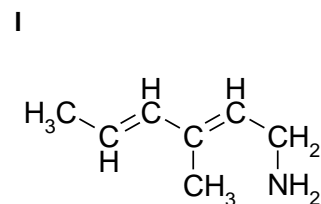
5-broom-6-methylcyclohexa-1,3-dien



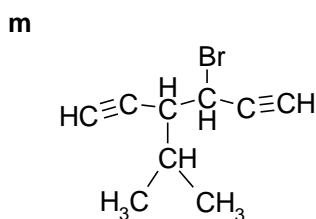
2-amino-3-methylbutaan-1-ol



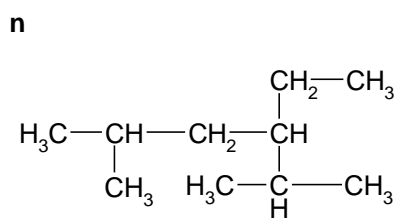
propaan-2-ol



hexa-2,4-dien-1-amine



3-broom-4-(1methylethyl)hexa-1,5-dien



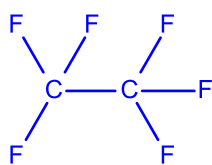
2,5-dimethyl-3-ethylhexaan

## Opgave 5 Structuurformules en naamgeving

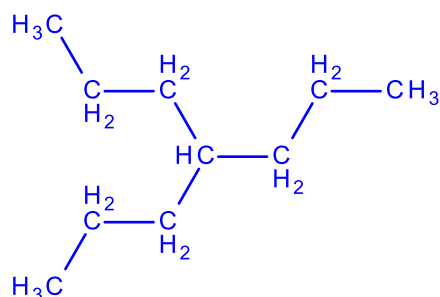
1 Geef de structuurformules van de volgende stoffen:

- |   |                                     |                                |
|---|-------------------------------------|--------------------------------|
| a hexafluorethaan                           | b propylheptaan                     | c 4-(1-methylethyl)octaan      |
| d 2,2,4-trimethylpentaan                    | e 3-ethylhexa-1,4-dieen             | f 2-amino-3-methylpentaan-3-ol |
| g 4-hydroxybutaanzuur                       | h 2-hydroxypropaandizuur            |                                |
| i pentaan-2-amine                           | j 3-methylhexa-2,4-dieen-2-amine    |                                |
| k 2,3-dihydroxybenzeencarbonzuur            | l 1,4,6-hepta-1,4,6-triyn           |                                |
| m 2-amino-3-fenylpropaanzuur                | n propaan-1,2-diol                  |                                |
| o 1,3,4,4-tetrabroom-3-(methylethyl)pentaan | p 2-methyl-3-ethylhexaan-2-ol       |                                |
| q 2-methylpropaancarbonzuur                 | r 2-chloor-3-methylbutaan-1-ol      |                                |
| s 1,1,3,-trichloor-2-propylcyclopentaan     | t 4,6-diethyl-3-fenylocta-1,5-dieen |                                |
| u 4,4-dimethyl-3-(1-methylethyl)hex-1-yn    |                                     |                                |

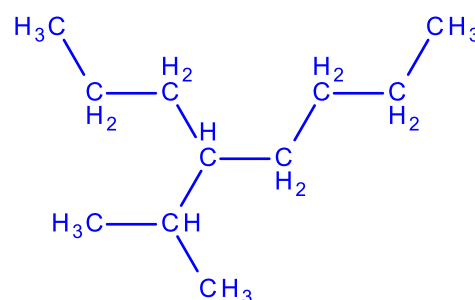
a



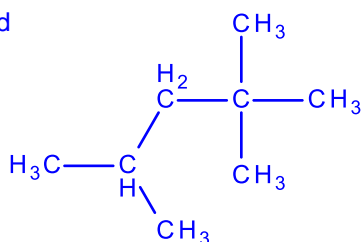
b



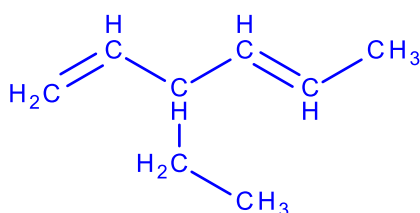
c



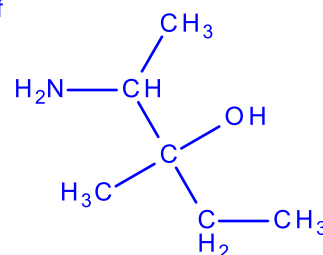
d



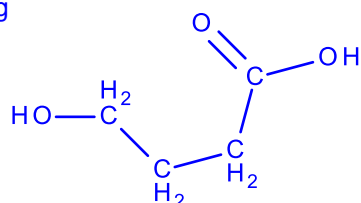
e



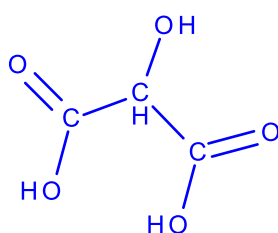
f



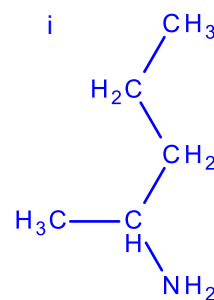
g

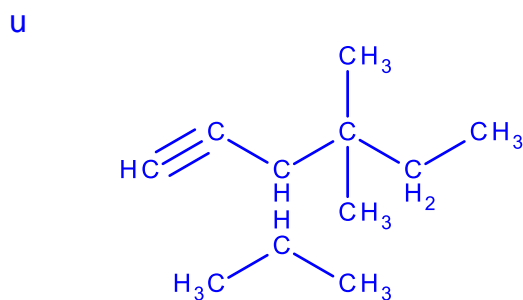
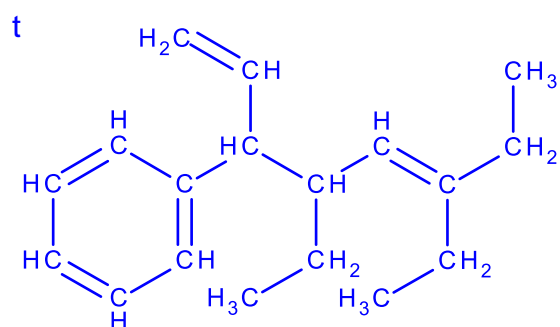
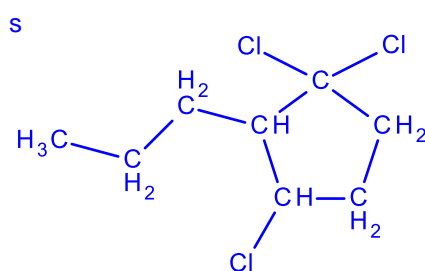
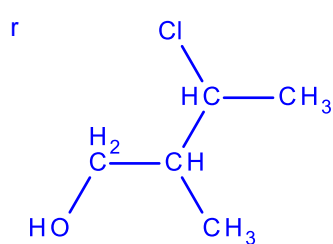
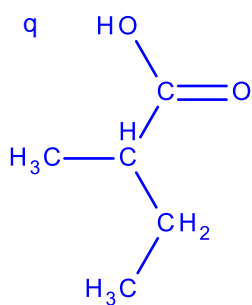
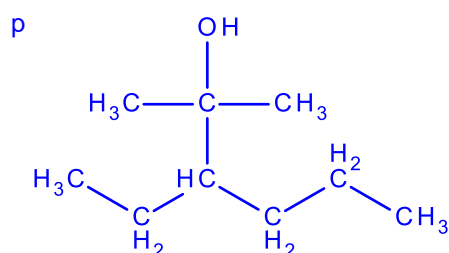
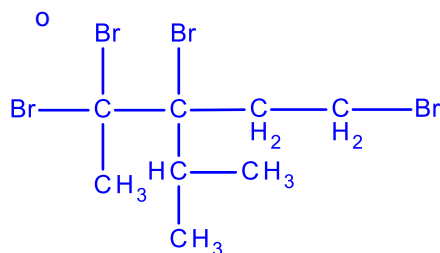
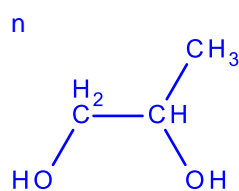
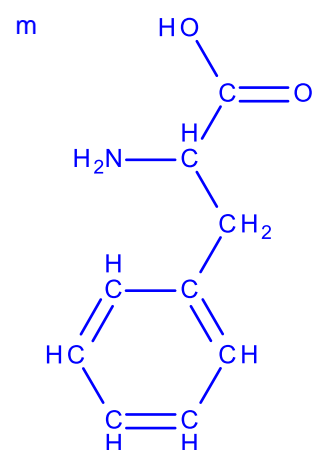
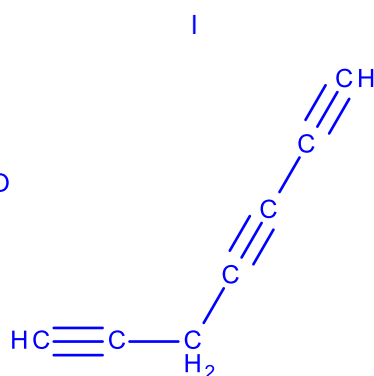
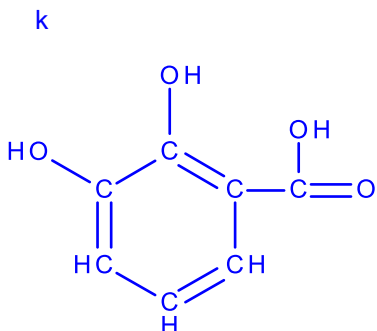
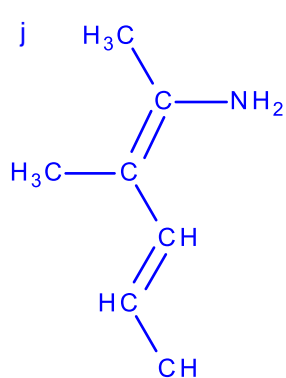


h

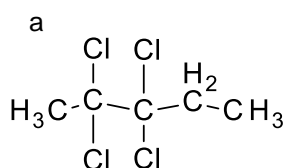


i

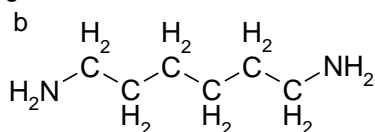




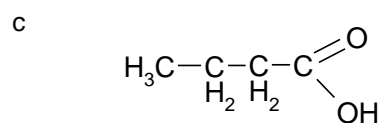
2 Geef de namen van de volgende stoffen:



2,2,3,3-tetrachloropentaan



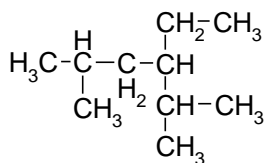
hexaan-1,6-diamine



butaanzuur

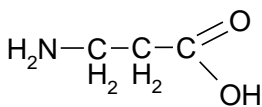


d



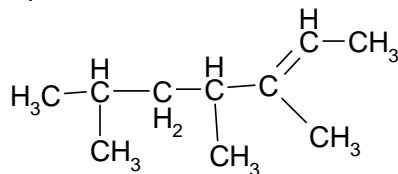
3-ethyl-2,5-dimethyl-hexaan

e



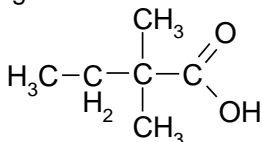
3-aminobutaanzuur

f



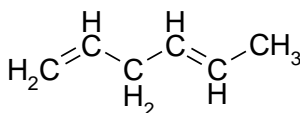
3,4,6-trimethylhept-2-een

g



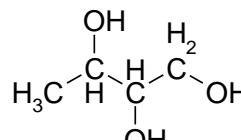
2,2-dimethylbuteenzuur

h



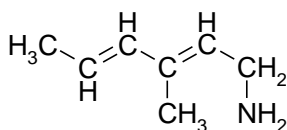
hexa-1,4-dieen

i



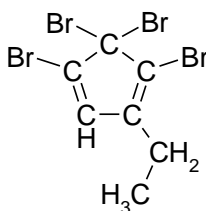
butaan-1,2,3-triol

j



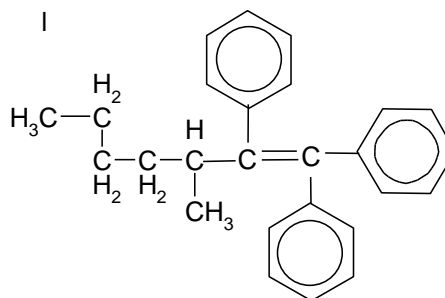
3-methylhexa-2,4-dieen-1-amine

k



1,4,5,5-tetrabromo-2-ethyl-cyclopenta-1,3-dieen

l



1,1,2-triphenyl-3-methylhept-1-een

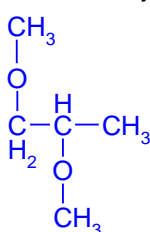
## Opgave 6 Structuur van methoxyethaan

De stof methoxyethaan heeft de structuurformule  $\text{CH}_3\text{-O-CH}_2\text{-CH}_3$ . De groep  $\text{CH}_3\text{-O-}$  heet dus methoxy-.

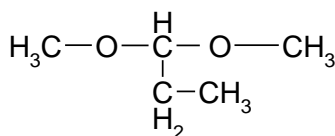
- 1 Geef de structuurformules van methoxymethaan en 1,2-dimethoxypropan.



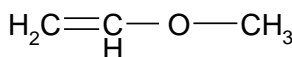
en



- 2 Geef de namen van de stoffen met de volgende structuurformules:



1,1,-dimethoxypropan

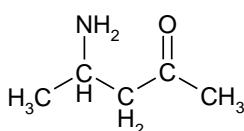


methoxyethyleen/methoxyetheen

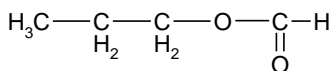
## Opgave 7 Naamgeving

Geef de systematische naam van de volgende stoffen:

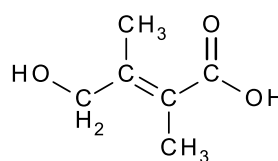
1



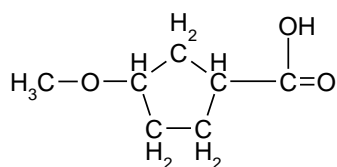
4-aminopentaaan-2-on



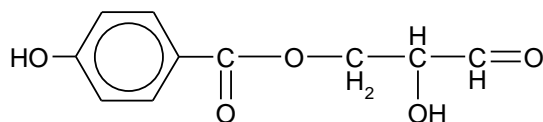
propylmethanoaat



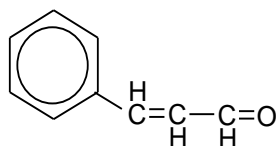
4-hydroxy-2,3-dimethylbut-2-eenzuur



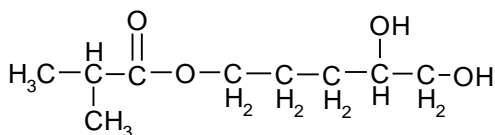
3-methoxycyclopentanecarboxylic acid



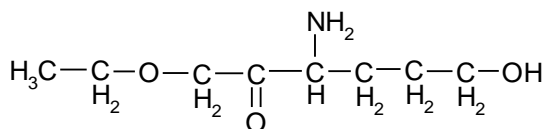
the ester of 4-hydroxybenzoic acid and 2,3-dihydroxypropanal [or (2-hydroxy-3-oxo-propyl) 4-hydroxybenzoate]



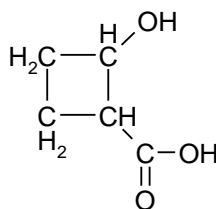
3-phenylprop-2-enal



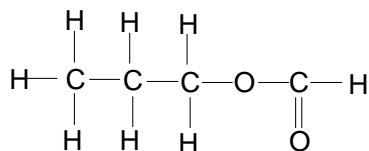
ester of 2-methylpropanoic acid and 1,2,5-pentanetriol [or 4,5-dihydroxypentyl 2-methylpropanoate]



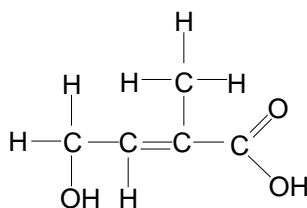
3-amino-1-ethoxy-6-hydroxyhexan-2-one



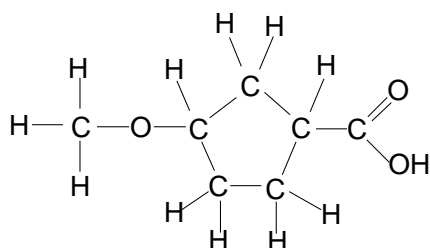
2-hydroxycyclobutanecarboxylic acid



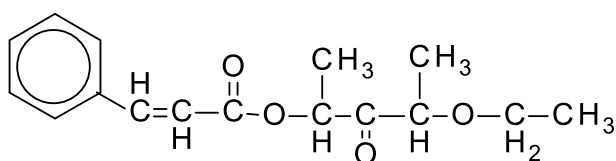
propylmethanoate



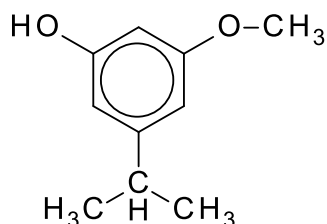
4-hydroxymethylbut-2-enoic acid



3-methoxycyclopentanecarboxylic acid



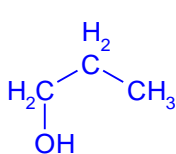
de ester van 3-fenylpropeenzuur en 4-ethoxy-2-hydroxypentaaan-3-on  
[of (3-ethoxy-1-methyl-2-oxo-butyl)-3-fenylprop-2-enoaat]



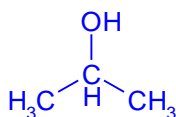
3-(1-methylethyl)-5-methoxybenzenol

### Opgave 8 Structuurisomerie

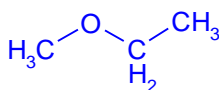
- Leg zo volledig mogelijk uit wat onder het begrip isomerie wordt verstaan.  
Verschillende stoffen met dezelfde molecuulformule.  
Men heeft een stof met de molecuulformule  $C_3H_8O$ . Er zijn drie stoffen die aan deze molecuulformule voldoen.
- Geef de drie structuurformules en de namen van deze stoffen die aan deze molecuulformule voldoen.



propan-1-ol



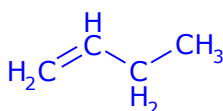
propan-2-ol



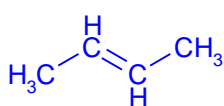
methoxyethaan

### Opgave 9 Structuurisomerie

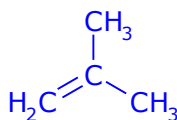
- Geef de structuurformules en de namen van de vijf isomere koolwaterstoffen met de molecuulformule  $C_4H_8$ .



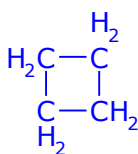
but-1-ene



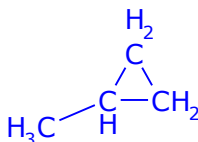
but-2-ene



methylpropene



cyclobutaan

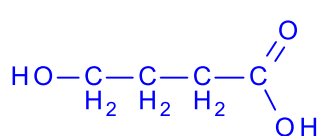


methylcyclopropane

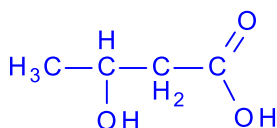
- Leg uit of het kookpunt van butaan hoger of lager dan dat van methaan zal zijn.  
Het kookpunt van butaan is hoger dan van methaan, omdat butaan een groter (zwaarder) molecuul is waardoor de vanderwaalskrachten groter zijn.
- Leg uit of het kookpunt van butaan hoger of lager dan dat van methylpropaan.  
Beide stoffen hebben dezelfde molecuulformule (zijn dus isomeren), maar het kookpunt van butaan zal hoger zijn, omdat deze moleculen gemakkelijker zijn te rangschikken dan die van methylpropaan. De afstand tussen de moleculen van methylpropaan is daardoor groter waardoor de onderling aantrekkende krachten kleiner zijn.

## Opgave 10 Struktuurisomerie

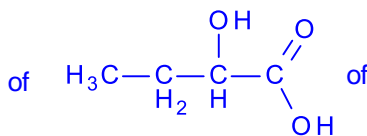
- 1 Geef de structuurformules en de namen van de vijf stoffen met de molecuulformule  $C_4H_8O_3$ .



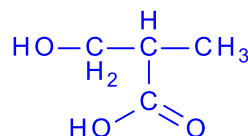
4-hydroxybutaanzuur



3-hydroxybutaanzuur



2-hydroxybutaanzuur



3-hydroxy-2-methyl-proaanzuur

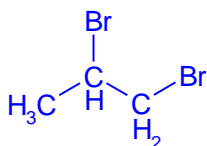
## Reacties van koolstofverbindingen (bovenbouw)

### Additie en substitutie

#### Opgave 1 Additie aan propen

Propen reageert in het donker met broom.

- 1 Geef de reactievergelijking in molecuulformules.  
 $C_3H_6 + Br_2 \rightarrow C_3H_6Br_2$
- 2 Geef de structuurformule en naam van de gevormde stof.

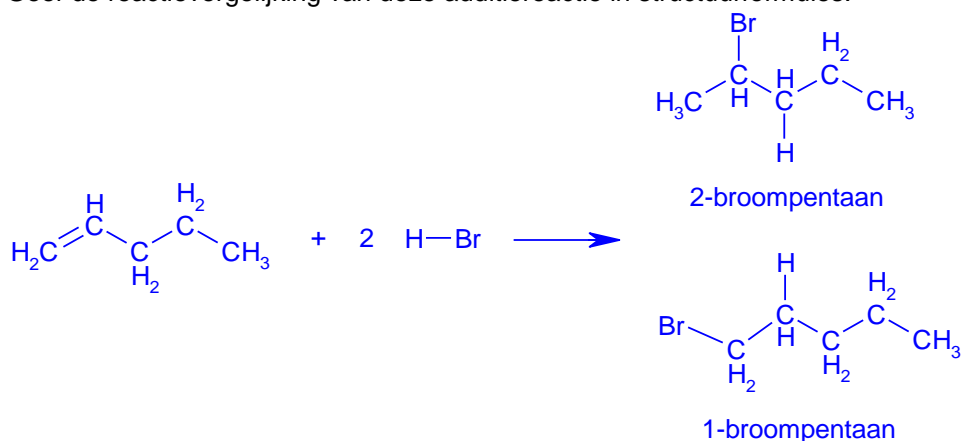


- 3 Hoe heet dit reactietype en verklaar je antwoord.  
Additiereactie. Er verdwijnt een dubbele binding door "toevoeging" van een broommolecuul

#### Opgave 2 Additie aan pent-2-een

Bij de additie van waterstofbromide aan pent-2-een ontstaan 2 isomeren.

- 1 Geef de reactievergelijking van deze additiereactie in structuurformules.



- 2 Leg uit waarom er twee isomeren zullen ontstaan.  
Een Br atoom kan zowel aan het tweede als het derde C atoom adderen:
- 3 Leg uit of bij additie van waterstofbromide aan 2-buteen ook twee isomeren zullen ontstaan.  
Nee, want de additie van een Br atoom aan het tweede of derde C atoom levert hetzelfde molecuul op, namelijk 2-broombutaan.

### Opgave 3 Substitutie bij cyclopentaan

Een alkaan reageert in het licht met chloor volgens een substitutiereactie. Als er veel chloor is ten opzichte van de hoeveelheid alkaan, treden meer reacties op. Bij elke volgende reactie neemt het aantal chlooratomen toe: eerst ontstaat een monochlooralkaan, daarna een dichlooralkaan, dan een trichlooralkaan, enzovoort.

Cyclopentaan reageert met chloor eerst tot (mono)chloorcyclopentaan.

- 1 Geef de reactievergelijking voor de vorming van monochloorcyclopentaan. Schrijf alle stoffen in molecuulformules.

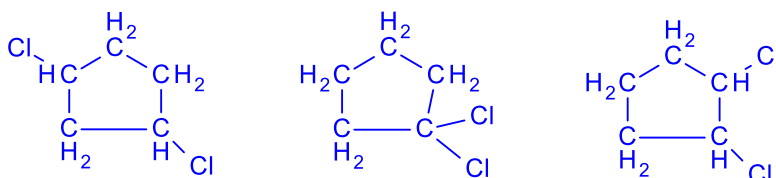


- 2 Leg uit hoeveel isomeren van monochloorcyclopentaan bij deze reactie gevormd kunnen worden.  
Er kan er maar één worden gevormd. Je moet het Cl-atoom een zo laag mogelijk plaatsnummer geven. Je komt steeds op dezelfde naam uit.

- 3 Geef de reactievergelijking voor het ontstaan van dichloorcyclopentaan uit chloor en monochloorcyclopentaan. Schrijf alle stoffen in molecuulformules.



- 4 Laat zien hoeveel isomeren van dichloorcyclopentaan bij deze reactie gevormd kunnen worden.

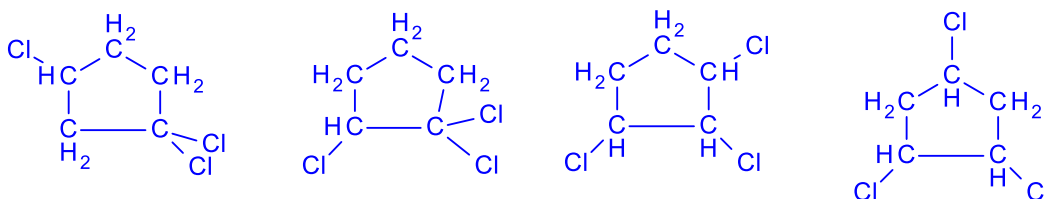


Je kunt de verschillende stappen van het substitutieproces ook in een keer weergeven.

- 5 Geef de reactievergelijking voor de vorming van trichloorcyclopentaan uit chloor en cyclopentaan. Schrijf alle stoffen in molecuulformules.



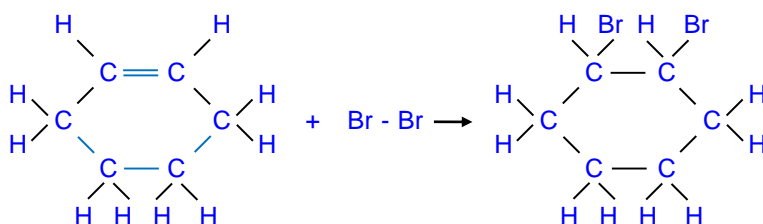
- 6 Schrijf de structuurformules op van de isomeren van trichloorcyclopentaan die bij deze reactie gevormd kunnen worden.



### Opgave 4 Additie aan cyclohexeen

Lena schenkt in een reageerbuis enige milliliters cyclohexeen, een kleurloze vloeistof met een kookpunt van 83 °C. Ze voegt in het donker enkele druppels broom toe en schudt. Het reactieproduct van broom met cyclohexeen is eveneens een kleurloze vloeistof met een kookpunt van 115 °C.

- 1 Welke kleur heeft het broom?  
Broom is bruine vloeistof.
- 2 Geef de vergelijking van de reactie die heeft plaatsgevonden in structuurformules.



In de reageerbuis bevinden zich na afloop twee stoffen.

- 3 Noteer de namen van de twee stoffen die aanwezig zijn in de reageerbuis na toevoegen van enkele druppels broom.

cyclohexeen en 1,2-dibroomcyclohexeen

- 4 Leg uit welke methode Lena het beste kan gebruiken om deze twee stoffen te scheiden.

Het zijn beide vloeistoffen met een verschillend kookpunt. Scheiding via destillatie ligt voor de hand.

Lena gaat door met broom toedruppelen, zelfs nadat alle cyclohexeen heeft gereageerd. De kleur van het broom verdwijnt nog steeds, alleen nu langzamer en alleen als er voldoende licht aanwezig is. Dan stopt ze direct met het toevoegen van broom.

- 5 Geef de reactievergelijking van deze laatste reactie in molecuulformules.



### Opgave 5 Thermolyse van butaan-1-ol

Bij de thermolyse van butaan-1-ol ontstaan waterdamp en het gasvormige etheen.

- 1 Wat is thermolyse?

Ontledingsreactie d.m.v. warmte

- 2 Geef deze reactie in structuurformules weer.



Je krijgt de opdracht aan te tonen dat er daadwerkelijk etheen is ontstaan bij de thermolyse van ethanol.

- 3 Schrijf op wat je gaat doen en wat je waarneemt en welke conclusie je uit deze waarneming trekt.

Voer het ontstane gas door broom- / joodwater. Als de bruine kleur verdwijnt is er etheen aanwezig.

Hielko wil onderzoeken of bij verhitting van methanol ook een onverzadigde koolwaterstof ontstaat.

- 4 Leg aan de hand van de structuurformule van methanol uit of bij de thermolyse van methanol, naast waterdamp, een onverzadigde koolwaterstof kan ontstaan.

Methanol,  $\text{CH}_3\text{OH}$  bevat slechts één C-atoom. (Voor een dubbele binding (onverzadigde koolwaterstof) zijn immers minstens twee C-atomen nodig.)

### Opgave 6 Additie

Alkenen dienen als grondstoffen voor een groot aantal chemische producten.

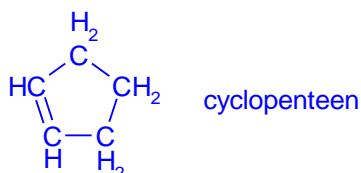
Door behandeling met waterstofhalogenide kan men halogeenwaterstoffen maken. Zo ontstaat uit bijvoorbeeld etheen en  $\text{HCl}(\text{g})$  chloorethaan:



- 1 Hoe heet bovengenoemde type reactie?

Additie

- 2 Geef de naam en de structuurformule van het alkeen waaruit chloorcyclopentaan kan worden bereid.

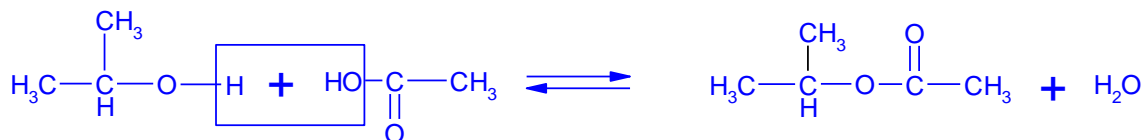


## Esters

### Opgave 1 propaan-2-ol met azijnzuur (ethaanzuur)

- 1 Geef de vergelijking van de reactie van propaan-2-ol met azijnzuur in structuurformules.

Laat bovendien duidelijk zien in welke stof de verschillende atomen van de beginstoffen terug te vinden zijn.



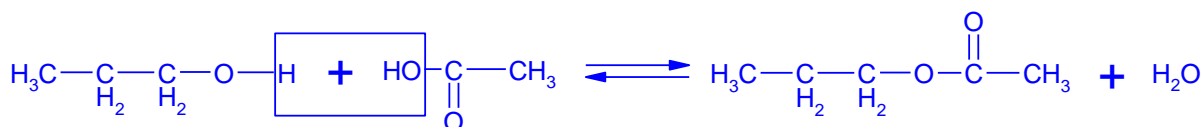
- 2 Geef de naam van de koolstofverbinding die hier ontstaat. (Een beschrijvende naam is niet toegestaan.)  
(1-methylethyl)acetaat [of (1-methylethyl)ethanoaat]

Na afloop van de reactie van propaan-2-ol met azijnzuur zijn er twee lagen ontstaan.

- 3 Leg uit waarom er twee lagen ontstaan.  
De ester kan geen H-bruggen vormen en lost daarom niet op in water. (propaan-2-ol en azijnzuur kunnen dit wel en lossen wel op in water.)
- 4 Leg uit of het kookpunt van de koolstofverbinding die is ontstaan hoger of lager is dan het kookpunt van de beginstoffen.  
De ester zal een lager kookpunt hebben omdat deze geen H-bruggen kan vormen (en de beginstoffen wel).

## Opgave 2 propaan-1-ol met azijnzuur (ethaanzuur)

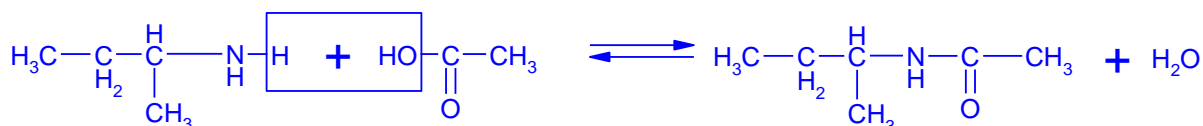
- 1 Geef de vergelijking van de reactie van propaan-1-ol met azijnzuur in structuurformules.  
Laat bovendien zien in welke stof de verschillende atomen van de beginstoffen terug te vinden zijn.



- 2 Geef de naam van de stof die hier ontstaat. (Een beschrijvende naam is niet toegestaan.)  
propylacetaat [of propylethanoaat]

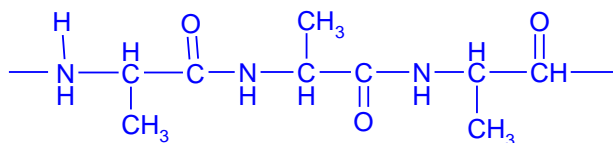
Aminen kunnen op een vergelijkbare manier met carbonzuren reageren.

- 3 Geef de reactievergelijking in structuurformules van de reactie van butaan-2-amine en mierenzuur (methaanzuur).



Op deze wijze zijn aminozuren in staat om lange ketens te vormen. Zo worden eiwitten gevormd.

- 4 Teken een stukje van de structuurformule van de stof die ontstaat als een groot aantal moleculen 2-aminopropaanzuur aan elkaar worden gekoppeld. Teken minstens drie 2-aminopropaanzuur resten.



## Opgave 3 Ethylacetaat

Ethylacetaat (ethylethanoaat) is de ester van azijnzuur en ethanol. Men wil deze twee stoffen uit ethylacetaat terug winnen.

Door water met wat zuur als katalysator toe te voegen aan ethylacetaat kunnen beide stoffen gevormd worden.

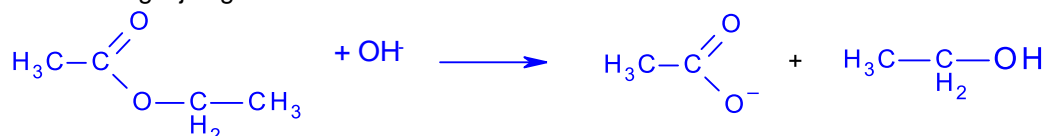
- 1 Hoe noem je zo'n reactie?  
Hydrolyse.
- 2 Leg uit waarom het rendement bij deze reactie niet 100 % zal zijn.  
Er ontstaat een evenwicht.

Wanneer ethylacetaat en voldoende natronloog samengevoegd worden, ontstaat een reactie die aflopend is.

- 3 Hoe noem je dit reactietype?

Verzeeping.

- 4 Geef de vergelijking van deze reactie in structuurformules.



Om uit het reactiemengsel azijnzuur en ethanol terug te winnen worden de volgende stappen ondernomen:

stap 1 : het reactiemengsel wordt gedestilleerd.

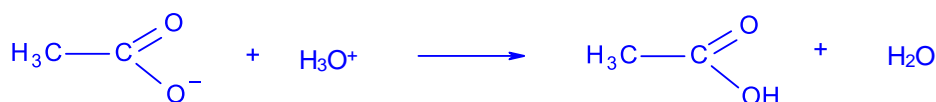
stap 2 : aan het residu wordt zoutzuur toegevoegd.

stap 3 : dit mengsel wordt weer gedestilleerd.

- 5 Waaruit bestaat het destillaat bij stap 1? Geef een verklaring voor de scheiding die ontstaat.

Ethanol (en wat water), want ethanol heeft een veel lager kookpunt dan het opgeloste zout natriumacetaat (natriumethanoaat). (Door toevoegen van zoutzuur ontstaat water, een oplossing van NaCl en natriumacetaat.)

- 6 Geef de vergelijking van de reactie die in stap 2 plaats vindt.



- 7 Waaruit bestaat het destillaat van stap 3? Geef een verklaring voor de scheiding die plaats vindt.

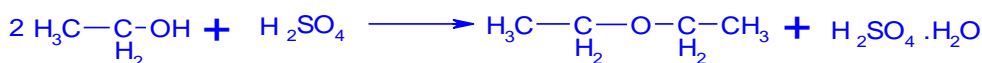
Eerst water, dan azijnzuur, want azijnzuur heeft een lager kookpunt dan het opgeloste zout natriumchloride.

## Ethers (alkoxyalkanen)

### Opgave 1 Ethoxyethaan

De ether ethoxyethaan ontstaat als je ethanol mengt met geconcentreerd zwavelzuur. Het zuur dient als *droogmiddel*, dat wil zeggen dat het alleen dient om water aan de stof te onttrekken. Zwavelzuur vormt met water een hydraat,  $\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Bij de reactie van zwavelzuur met ethanol ontstaat naast ethoxyethaan en zwavelzuurhydraat als bijproduct eene.

- 1 Geef met een reactievergelijking in structuurformules aan hoe ethoxyethaan uit ethanol ontstaat.

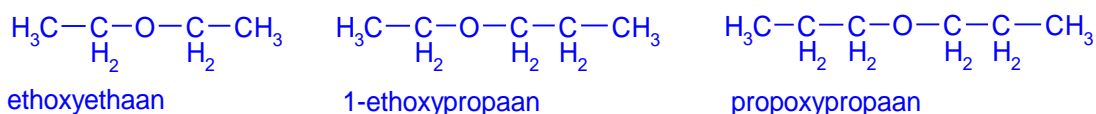


- 2 Geef met een reactievergelijking in structuurformules aan hoe etheen ontstaat.



Als je een mengsel van ethanol en propaan-1-ol met geconcentreerd zwavelzuur behandelt, ontstaat een mengsel van drie ethers. Ook ontstaan twee onverzadigde koolwaterstoffen.

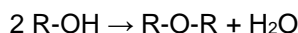
- 3 Geef de namen en structuurformules van de drie ethers en van de twee onverzadigde koolwaterstoffen die ontstaan uit een mengsel van ethanol en propaan-1-ol.



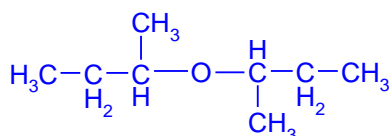


## Opgave 2

Ethers kunnen worden bereid uit alcoholen door toevoeging van geconcentreerd zwavelzuur. Bij deze reactie wordt uit twee alcoholmoleculen één watermolecuul onttrokken. Deze bereidingswijze kan als volgt worden weergegeven:

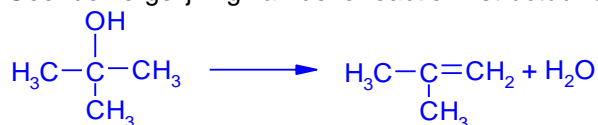


- 1 Geef de structuurformule van de ether die op deze wijze uit butaan-2-ol kan worden gemaakt.

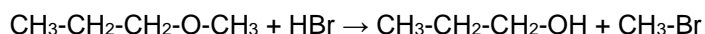


Als geconcentreerd zwavelzuur wordt toegevoegd aan 2-methylpropan-2-ol dan ontstaat geen ether. Er blijkt een reactie op te treden waarbij uit een alcoholmolecuul één watermolecuul wordt onttrokken.

- 2 Geef de vergelijking van deze reactie in structuurformules.



Ethers kunnen met waterstofbromide reageren. Een voorbeeld van zo'n reactie is:



- 3 Geef de systematische naam van de ether die in bovengenoemde reactie wordt omgezet.

1-methoxypropan

Naast de genoemde producten zullen ook twee andere producten ontstaan.

- 4 Geef de structuurformules van deze twee producten.

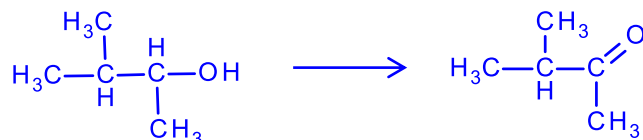
CH<sub>3</sub>-OH en CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-Br

## Redoxreacties met alcoholen

### Opgave 1

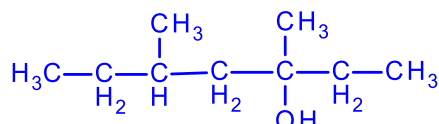
Ga na of de volgende verbindingen reageren met een oxidator. Geef het eventuele reactieproduct (naam en structuur) dat ontstaat of geef aan waarom er geen reactie plaatsvindt.

- 1 3-methylbutaan-2-ol



Product: 3-methylbutanon

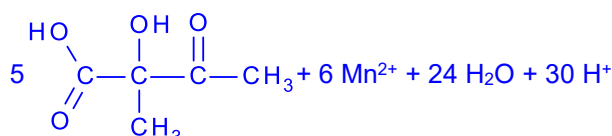
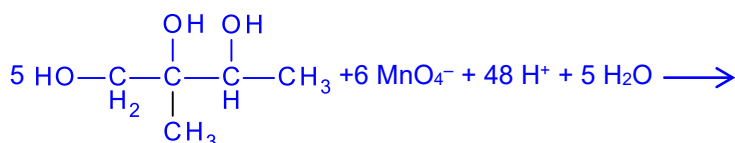
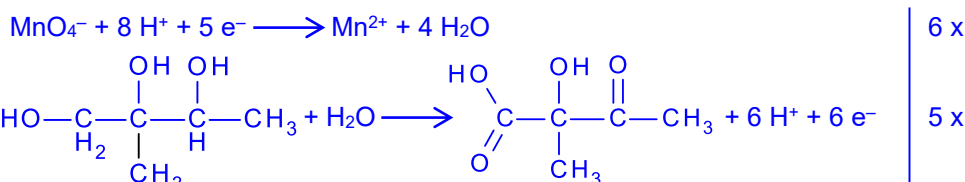
- 2 3,5-dimethylheptaan-3-ol



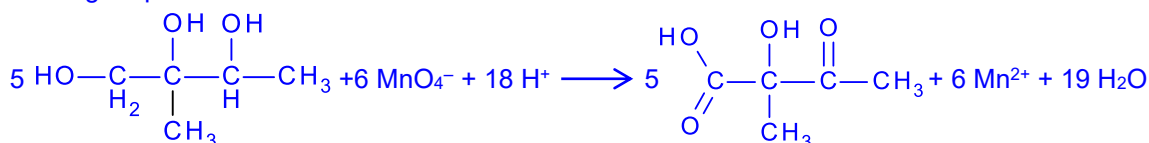
Geen reactie, omdat het een tertiaire alcohol is (geen H-atom aan het koolstof-atom dat aan de OH-groep zit).

## Opgave 2

- Leid de vergelijking af van de reactie als 2-methyl-1,2,3-butaantriol volledig reageert met een overmaat aangezuurde kaliumpermanganaatoplossing. Hierbij ontstaan onder andere  $\text{Mn}^{2+}$  ionen. Noteer de organische stoffen in structuurformules.

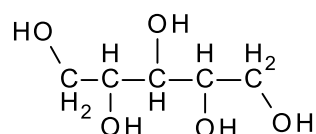


Na wegstrepen:

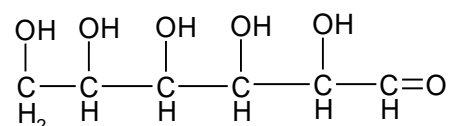


## Opgave 3..Xylitol

Xylitol is de niet-systematische naam voor een verbinding waarvan de structuurformule als volgt kan worden weergegeven:

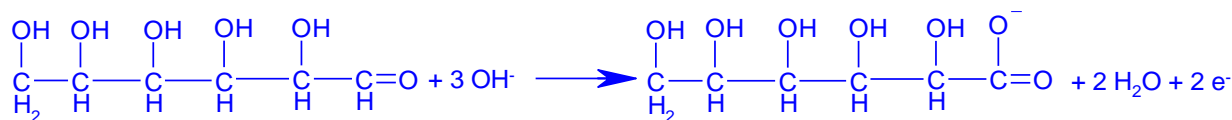


Xylitol wordt gebruikt als zoetstof in suikervrije kauwgom. Suikerhoudende kauwgom bevat glucose als zoetstof. De structuurformule van glucose ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) kan als volgt worden weergegeven:



Om onderscheid te maken tussen suikervrije en suikerhoudende kauwgom kan men het zogenoemde Hainesreagens gebruiken. Hainesreagens is een basische oplossing waarin een oxidator voorkomt die reageert met glucose als reductor. Bij deze redoxreactie reageert van een glucosemolecuul uitsluitend de aldehydegroep.

- Geef van deze redoxreactie de vergelijking van de halfreactie waarin glucose de reductor is.
  - Geef daarbij glucose in de bovenstaande structuurformule weer.
  - Geef ook het organische reactieproduct weer in structuurformule.
  - Houd bij het opstellen van de reactievergelijking rekening met het basische milieu waarin de reactie plaatsvindt.



Hainesreagens bevat een oxidator die geschikt is om onderscheid te maken tussen suikervrije en suikerhoudende kauwgom. Permanganaat ( $\text{MnO}_4^-$ ) is ook een oxidator. Toch is een aangezuurde kaliumpermanganaatoplossing niet geschikt om onderscheid te maken tussen suikervrije en suikerhoudende kauwgom.

- 2 Leg aan de hand van de bovenstaande structuurformules van glucose en xylitol uit hoe het komt dat een aangezuurde kaliumpermanganaat-oplossing niet geschikt is om onderscheid te maken tussen glucose en xylitol.

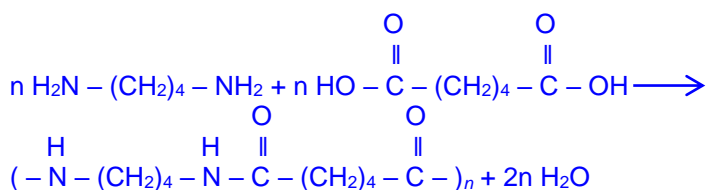
Permanganaationen zijn in zuur milieu een sterke oxidator (Tabel 48). Beide stoffen bevatten OH groepen die met een kaliumpermanganaatoplossing reageren.

## Polymeren (bovenbouw)

### Opgave 1 Nylon

Het polyamide nylon-4,6 is een copolymeer dat wordt gemaakt uit de volgende twee monomeren: butaan-1,4-diamine en hexaandizuur.

- 1 Geef de vergelijking van de polymerisatiereactie in structuurformules. Geef het aantal repeterende eenheden in het polymeer aan met  $n$ .



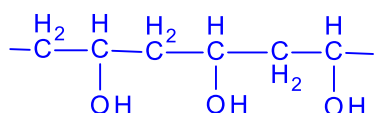
Lars zegt uit de formule van het polymeer te kunnen afleiden dat nylon-4,6 een thermoplast is.

- 2 Leg uit of Lars gelijk heeft.  
Er kunnen geen vertakkingen ontstaan (de monomeren hebben elk twee groepen die bij de koppeling worden betrokken, dus ontstaat een ketenpolymeer, zonder dubbele bindingen, dus zonder mogelijkheden voor crosslinking) dus een thermoplast.

### Opgave 2 Polyvinylalcohol

Ethenol wordt ook wel vinylalcohol genoemd. Het hiervan afgeleide polymeer heet polyvinylalcohol (PVA).

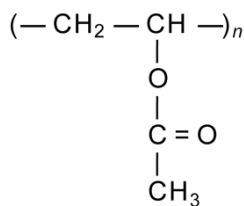
- 1 Teken de structuurformule van een stukje van 3 eenheden uit het midden van de keten van polyvinylalcohol.



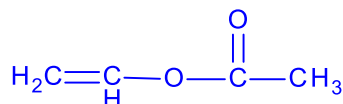
PVA wordt niet rechtstreeks uit ethenol gemaakt omdat dit monomeer niet stabiel is.

De bereiding van PVA vindt plaats in twee stappen.

Eerst wordt het polymeer polyvinylacetaat gemaakt door polyadditie van vinylacetaat. De structuurformule van polyvinylacetaat is hieronder afgebeeld.

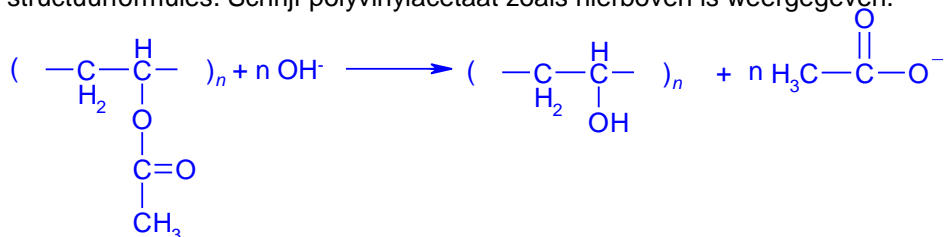


- 2 Schrijf de structuurformule op van het monomeer waaruit polyvinylacetaat gemaakt wordt.



Polyvinylacetaat wordt daarna in basisch milieu verzeep waarbij o.a. PVA ontstaat.

- 3 Schrijf de vergelijking op van het verzeepen van polyvinylacetaat. Schrijf de koolstofverbindingen in structuurformules. Schrijf polyvinylacetaat zoals hierboven is weergegeven.



Polyvinylalcohol wordt gebruikt in oogdruppels. Daarbij wordt PVA gemengd met water.

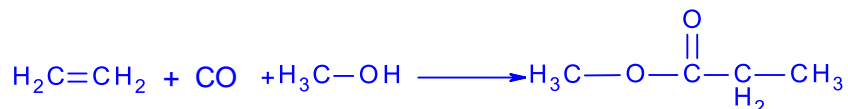
- 4 Leg uit waardoor PVA mengt met water. Geef in je uitleg aan welke groepen in de polymeermoleculen daarbij een rol spelen.

Door de aanwezigheid van OH-groepen vormt PVA waterstofbruggen met water.

### Opgave 3 Methylpropanoaat

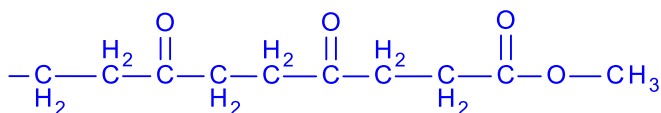
Uit etheen, koolstofmonooxide en methanol kan met een geschikte katalysator methylpropanoaat worden gemaakt.

- 1 Schrijf de vergelijking op van deze reactie. Schrijf het reactieproduct in structuurformule.



Wanneer een iets andere katalysator wordt gebruikt ontstaat uit gelijke hoeveelheden etheen en koolstofmono-oxide en een zeer kleine hoeveelheid methanol een ketenpolymeer, waarbij één uiteinde te beschouwen is als een methylester. In het polymeer zijn de monomeren etheen en koolstofmono-oxide om en om aan elkaar gekoppeld.

- 2 Teken de structuurformule van het uiteinde van de keten waarin de methylester voorkomt en drie monomeereenheden.

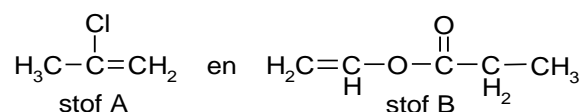


Dit polymeer is zeer sterk en men wil het gebruiken voor bumpers van auto's. Daarvoor moeten de polymeerkorrels verwarmd en in vormen gegoten worden.

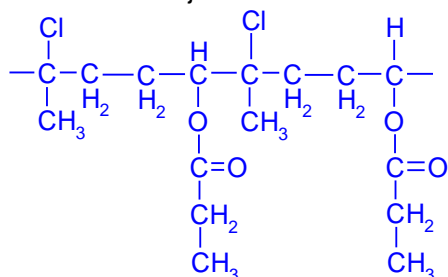
- 3 Leg uit of het polymeer voor deze manier van verwerken geschikt zal zijn.

Het polymeer is (een ketenpolymeer, dus) een thermoplast, dus het kan worden gesmolten en in een vorm gegoten.

11/11/2016



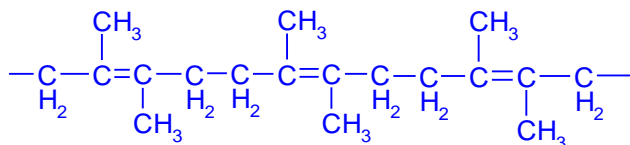
- 1 Geef de structuurformule van een stukje uit het midden van het polymeer dat uit stof A en stof B kan ontstaan. Dit stukje moet vier monomeereenheden bevatten: twee van stof A en twee van stof B.



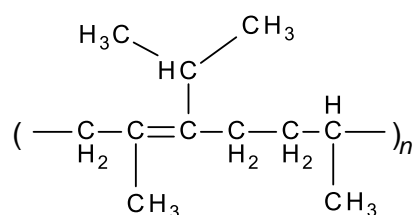
15 JULY 2004

Een grondstof die hiervoor kan worden gebruikt is 2,3-dimethylbuta-1,3-diën.

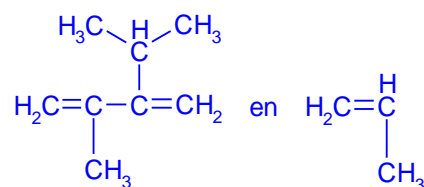
- 1 Teken een brokstuk van drie eenheden uit het midden van de rubber die uit 2,3-dimethylbuta-1,3-diën ontstaat.



Hieronder is de repeterende eenheid van zo'n copolymeer weergegeven, waarin twee monomeren om en om zijn gekoppeld:



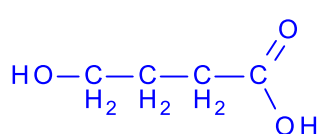
- 2** Teken de structuurformules van de twee monomeren die zijn gebruikt voor bovenstaand copolymeer.



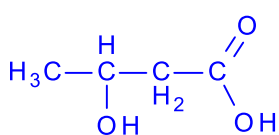
15 JULY 2005

Om te bepalen welke stof het is, worden enkele proeven gedaan. Hierbij worden de volgende waarnemingen gedaan:

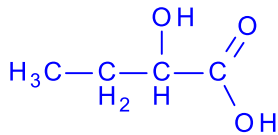
- De stof wordt gemengd met water; hij blijkt goed op te lossen.
  - De ontstane oplossing kleurt blauw lakmoes rood.
  - De stof reageert niet met broom.
  - De stof reageert met een oxidator.
  - Uit de stof kan een polymeer ontstaan.
- Leg voor elk van de experimenten uit wat je hieruit over de structuur van de stof kunt afleiden.
    - De stof kan waterstofbruggen vormen en bevat dus  $\text{-OH}$  groepen.
    - De stof is een zuur en bevat dus een  $\text{-COOH}$  groep.
    - De stof bevat geen dubbele bindingen.
    - De stof is een primaire of secundaire alcohol.
    - De stof is een primaire alcohol (condensatiepolymerisatie).
  - Teken een mogelijke structuurformule van de onbekende stof die in overeenstemming is met de resultaten van de proeven.



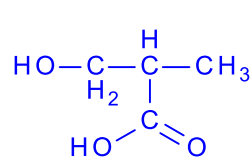
4-hydroxybutaanzuur



3-hydroxybutaanzuur

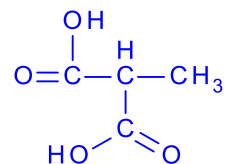
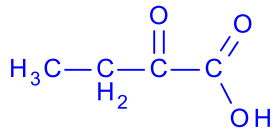
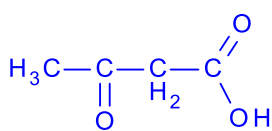
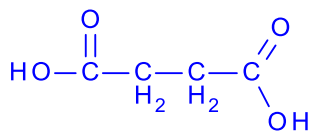


2-hydroxybutaanzuur

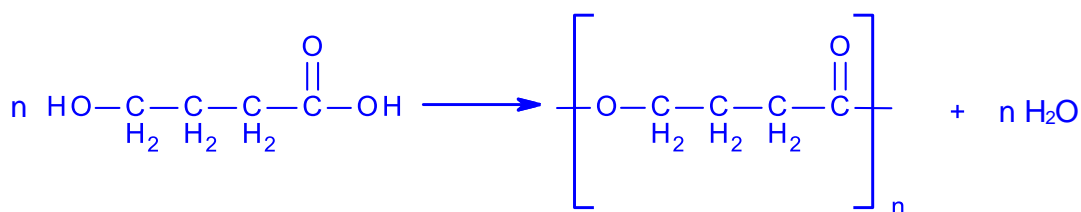


3-hydroxy-2-methyl-propaanzuur

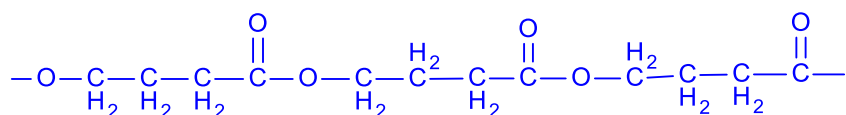
- Geef de systematische naam van de stof.  
Zie antwoord vraag 2.
- Geef de structuurformule van het reactieproduct als de stof reageert met een overmaat van een sterke oxidator.



- Geef de polymerisatie van de stof weer in een reactievergelijking in molecuulformules.  
Geef het polymeer weer met behulp van de repeterende eenheid.



- Teken een stukje uit het midden van het polymeer dat uit de stof kan ontstaan. Dit moet uit minstens drie monomeereenheden bestaan.



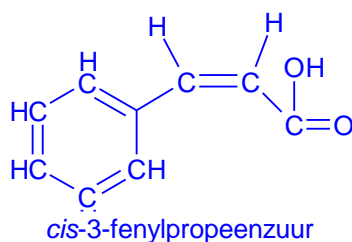
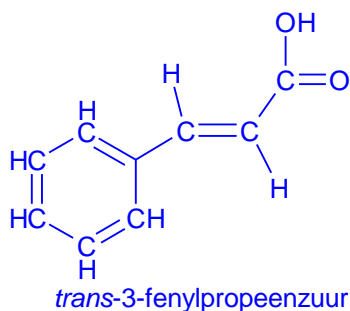
- Leg uit of dit polymeer geschikt is om er lange soepele draden van te spinnen.  
Dit polymeer is geschikt om er lange soepele draden van te spinnen omdat het ketenmoleculen zijn die langs elkaar kunnen glijden; daardoor is het polymeer vervormbaar en lange draden zodoende buigzaam.

## Stereochemie (Cis- trans- en optische isomerie) (bovenbouw)

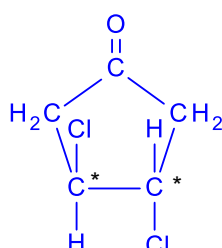
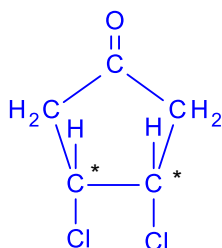
### Opgave 1 Structuren

- 1 Teken de structuren van alle stereo-isomeren van de volgende stoffen. Laat ik de tekeningen duidelijk zien wat de verschillen tussen deze structuren zijn. Geef asymmetrische C-atomen aan als C\* en geef bij ieder isomeer aan of het optisch actief is of niet.

a. 3-fenylpropeenzuur

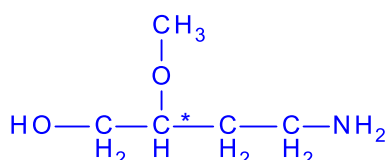


b. 3,4-dichloorcyclopentanon



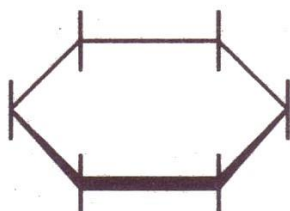
*cis*-3,4-dichloorcyclopentanon is niet optisch actief, omdat er een spiegelvlak in het molecuul aanwezig is.

c. 4-amino-2-methoxybutanol



### Opgave 2 Cyclohexaan

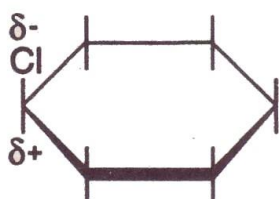
Cyclohexaan is een koolwaterstof die onder andere wordt toegepast als apolair oplosmiddel. Door reactie van cyclohexaan met chloor ontstaan diverse substitutieproducten. Hoewel de ringstructuur van een cyclohexaanmolecuul niet vlak is, kunnen de verschillende substitutieproducten goed beschreven worden door toch een vlakke ringstructuur aan te nemen:



In deze weergave wordt aangenomen dat van de twaalf H atomen zich zes boven en zes onder het vlak van de zesring bevinden.

Door vervanging van één H atoom door een Cl atoom ontstaat een molecuul monochloorcyclohexaan. De moleculen van monochloorcyclohexaan zijn dipoolmoleculen.

Op grond van verschillen in elektronegativiteit van de atomen Cl, C en H kan men de ladingsverdeling in een molecuul monochloorcyclohexaan als volgt aangeven:



Door in een cyclohexaanmolecuul twee H atomen te vervangen door Cl atomen kan een molecuul 1,4-dichloorcyclohexaan ontstaan. Omdat door de ringstructuur geen volledige draaiing mogelijk is om de C-C bindingen, kunnen twee stereo-isomeren van 1,4-dichloorcyclohexaan onderscheiden worden:



trans-1,4-dichloorcyclohexaan



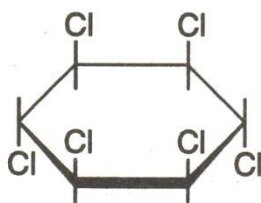
cis-1,4-dichloorcyclohexaan

Van één van deze twee stereo-isomeren zijn de moleculen dipoolmoleculen.

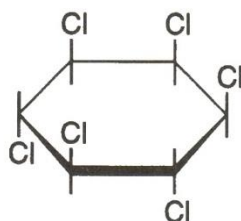
- 1 Leg uit van welke van deze stereo-isomeren de moleculen dipoolmoleculen zijn.

De *cis*-verbinding bezit een ladingsverdeling met de  $\delta^+$  lading onder de ring en de  $\delta^-$  lading erboven. De moleculen van *cis*-verbinding zijn dus dipoolmoleculen

Door in een cyclohexaanmolecuul aan elk C atoom één van de twee H atomen te vervangen door een Cl atoom ontstaat een molecuul 1,2,3,4,5,6-hexachloorcyclohexaan. Van 1,2,3,4,5,6-hexachloor-cyclohexaan bestaan verschillende stereo-isomeren. Eén daarvan is het insecticide lindaan:

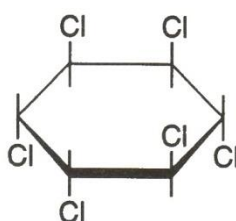


Twee andere voorbeelden van stereo-isomeren van 1,2,3,4,5,6-hexachloorcyclohexaan zijn:



Stof A

en



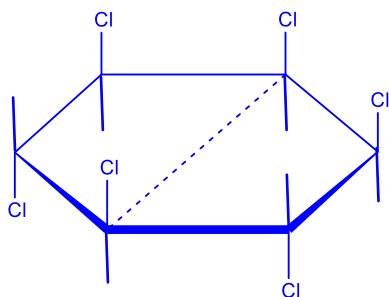
Stof B

Eén van de twee stoffen A en B is optisch actief. Van deze stof bestaat dus een spiegelbeeldisomeer. Van de andere stof (de niet optisch actieve) bestaat geen spiegelbeeldisomeer. Dit hangt samen met het feit dat in de moleculen van die stof een vlak van symmetrie te vinden is. Dit vlak staat loodrecht op het vlak van de ring en snijdt het vlak van de ring volgens een bepaalde lijn.

- 2 Neem de structuurformule van de niet optisch actieve stof (A of B) over en geef daarin de bedoelde snijlijn aan.

Stof A vertoont symmetrie en is daarom niet optisch actief.

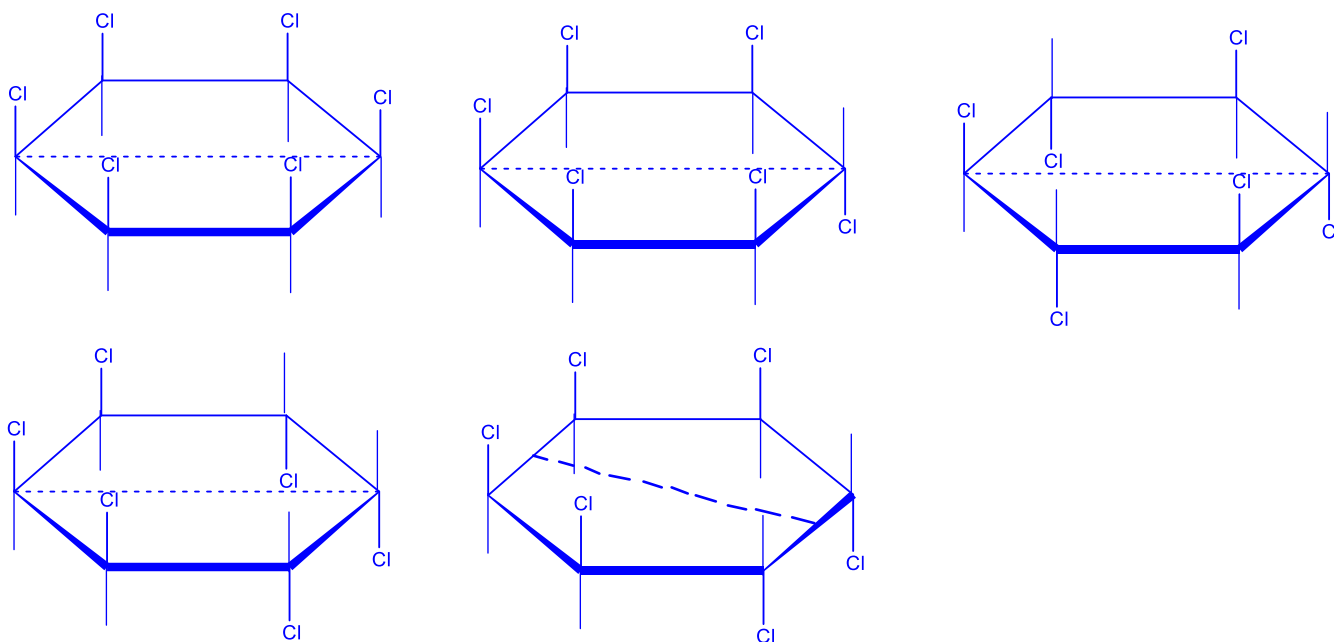




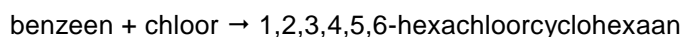
Van 1,2,3,4,5,6-hexachloorcyclohexaan bestaan naast de al genoemde vier stereo-isomeren (dus met inbegrip van het spiegelbeeld isomeer) nog andere stereo-isomeren. Onder deze andere stereo-isomeren zijn geen spiegelbeeldisomeren.

- 3 Geef de structuren van die andere stereo-isomeren op dezelfde wijze weer als de bovengenoemde voorbeelden.

Als er geen spiegelbeeldisomeren zijn, zijn er inwendige spiegelvlakken (symmetrie vlakken) zoals bij stof A. Van de C atomen mag worden aangenomen dat ze in een vlak liggen, dus is er sprake van vormen van cis-trans isomerie. Zoek naar structuren met 6, 5, 4 of 3 Cl atomen aan één kant van de ring. Structuren met 3 of minder Cl atomen omhoog hebben natuurlijk 3 of meer Cl atomen naar beneden en deze structuren zijn gelijk aan die met evenveel Cl atomen omhoog.



Bij de industriële bereiding van linaan wordt niet uitgegaan van cyclohexaan maar van benzeen. Onder invloed van ultraviolet licht wordt benzeen omgezet volgens:



De bereiding kan plaatsvinden via een batchproces, waarbij in een procesgang 300 kg linaan bereid wordt. Daartoe wordt een reactor gevuld met benzeen. Terwijl de vloeistof bestraald wordt met ultraviolet licht, wordt net zo lang chloor ingeleid tot het reactiemengsel bestaat uit 20 massaprocent 1,2,3,4,5,6-hexachloorcyclohexanen. De overige 80% is benzeen; dit dient als oplosmiddel. Na aftappen van de reactor wordt uit het reactiemengsel het benzeen afgescheiden. Het overgebleven mengsel blijkt voor 15 massaprocent uit linaan te bestaan. De overige stereo-isomeren vormen de resterende 85 massaprocent.

- 4 Bereken met hoeveel kg benzeen men de reactor moet vullen om in de boven beschreven procesgang 300 kg linaan te verkrijgen.

15% 1,2,3,4,5,6-hexachloorcyclohexaan  $\equiv$  300 kg in het uiteindelijke reactiemengsel.

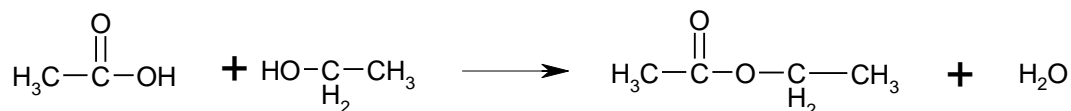
Massa reactiemengsel = 300 kg : 15% x 100% = 2000 kg

De hoeveelheid vormt 20% van de massa vóór afscheiding benzeen. Massa overmaat benzeen = 80% : 20% x 2000 g = 8000 kg. De molverhouding waarin 1,2,3,4,5,6-hexachloorcyclohexaan uit benzeen wordt gevormd is 1 : 1, dus 2000 kg : 290,82 kg/mol linaan = 6,877 mol linaan = 6,877 mol benzeen = 6,877 mol x 78,12 kg/mol = 537 kg benzeen.

Totale hoeveelheid benzeen = 8000 kg + 547 kg = 8,5 · 10<sup>3</sup> kg

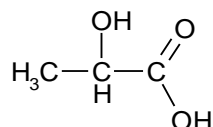
### Opgave 3 Alkaanzuren

Bij verwarming van een alkaanzuur met een alcohol vindt vaak waterafsplitsing plaats; behalve water wordt daarbij een ester gevormd. Zo treedt bij de verwarming van een mengsel van azijnzuur en ethanol de volgende reactie op:



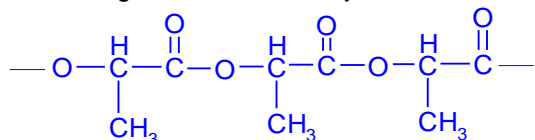
Ook bij verwarming van een hydroxyalkaanzuur treedt in vele gevallen waterafsplitsing op. Op welke manier die waterafsplitsing tot stand komt, hangt af van het soort hydroxyalkaanzuur dat verwarmd wordt.

Melkzuur is een voorbeeld van een 2-hydroxyalkaanzuur. De structuurformule van melkzuur is:



Door verwarming van melkzuur kan polymelkzuur gemaakt worden. Polymelkzuur is een voorbeeld van een polyester.

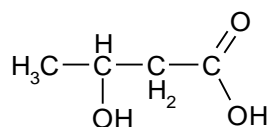
- 1 Geef van polymelkzuur een gedeelte uit het midden van een polymeermolecuul in structuurformule weer. Dit gedeelte dient te zijn ontstaan uit drie moleculen melkzuur.



Van melkzuur bestaan twee optische isomeren: rechtsdraaiend en linksdraaiend melkzuur. Polymelkzuur dat gemaakt is van uitsluitend rechtsdraaiend melkzuur wordt bijvoorbeeld toegepast in de vorm van draad om wonden te hechten. Polymelkzuur dat gemaakt is van uitsluitend rechtsdraaiend melkzuur wordt in het lichaam aanzienlijk sneller afgebroken dan polymelkzuur dat gemaakt is van uitsluitend linksdraaiend melkzuur. Het verschijnsel dat van een optisch actieve stof de ene vorm sneller in het lichaam wordt afgebroken dan de andere vorm komt vaker voor.

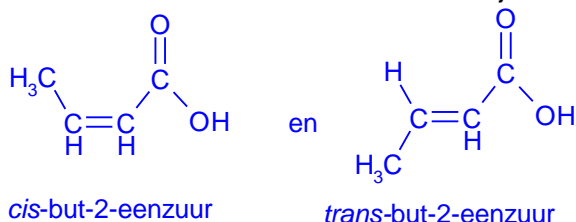
- 2 Leg uit hoe het komt dat in zo'n geval een van de vormen sneller in het lichaam wordt afgebroken dan de andere vorm.  
Slechts voor één van beide optische actieve vormen is in het lichaam een enzym aanwezig. Dit heeft een zodanig ruimtelijke structuur dat het spiegelbeeldisomeer er "niet in past". Dit zal er in het algemeen toe leiden dat het passende isomeer door het enzym wordt omgezet of afgebroken; het andere spiegelbeeldige molecuul niet.

Bij verwarming van 3-hydroxyalkaanzuren worden alkeenzuren gevormd. Een voorbeeld van een 3-hydroxyalkaanzuur is 3-hydroxybutaanzuur. De structuurformule van 3-hydroxybutaanzuur is:



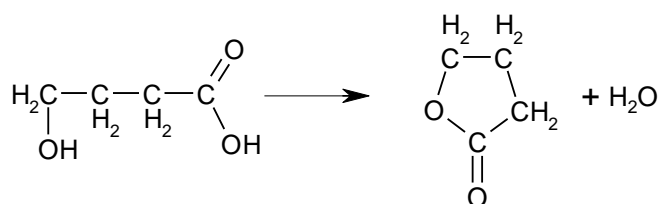
Bij verwarming van 3-hydroxybutaanzuur ontstaat onder andere but-3-eenzuur. Daarnaast ontstaan nog twee andere buteenzuren.

- 3 Geef aan welke twee buteenzuren dat zijn.

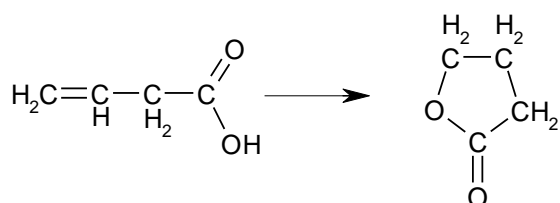


Bij verwarming van een 4-hydroxyalkaanzuur of van een 5-hydroxyalkaanzuur worden geen alkeen-zuren gevormd, maar vindt een interne verestering plaats. Hierbij ontstaan zogenaamde lactonen; dit zijn cyclische esters.

Zo kan uit 4-hydroxybutaanzuur een lacton ontstaan, waarvan de moleculen een vijfring bezitten:

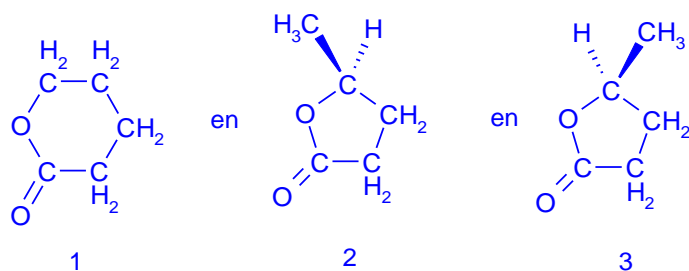


Een lacton kan onder bepaalde omstandigheden ook ontstaan uit een alkeenzuur. Zo kan het bovengenoemde lacton ook ontstaan uit but-3-eenzuur:



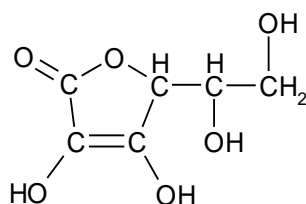
Bij dit soort reacties worden geen lactonen gevormd waarvan de moleculen een vierring bevatten. Bij verwarming van pent-4-eenzuur ontstaan drie lactonen. Twee van deze lactonen hebben hetzelfde smeltpunt.

- 4 Leg aan de hand van structuurformules uit welke drie lactonen bij verwarming van pent-4-eenzuur ontstaan.



Als het O atoom zich bindt aan het laatste C atoom (C5) ontstaat product 1. Er kan ook een vijfring ontstaan doordat het O atoom zich bindt aan C4 en het H atoom aan C5. Omdat er een asymmetrisch C atoom wordt gevormd zijn er twee producten (2 en 3) mogelijk.

Vitamine C heeft de volgende structuurformule:

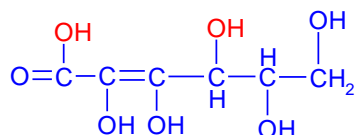


Vitamine C is te beschouwen als een lacton dat door ringsluiting is ontstaan uit een verbinding X. Op

grond van uitsluitend bovenstaande gegevens zijn voor verbinding X twee mogelijkheden te bedenken waarvan behalve de structuurformules ook de molecuulformules verschillen.

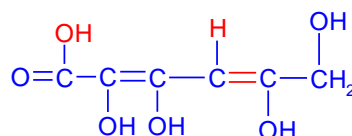
- 5 Geef die twee mogelijke structuurformules voor verbinding X.

Verbinding X als hydroxyalkaanzuur



Uit de OH groepen kan zich  $\text{H}_2\text{O}$  afsplitsen en wordt vitamine C gevormd.

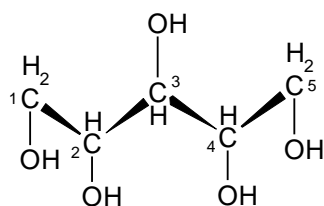
Verbinding X als alkeen- $\alpha$ -keto- $\gamma$ -hydroxyzuur



H komt op C5, tellend vanaf zuurgroep.

## Opgave 4..Xylitol

Xylitol is de niet-systematische naam voor een verbinding waarvan de structuurformule als volgt kan worden weergegeven:

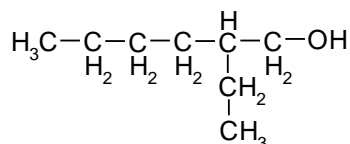


De C atomen in deze structuurformule zijn genummerd. Een deel van deze structuurformule is ruimtelijk weergegeven; de aanduidingen en en naar voren gerichte bindingen aan. Als men zich deze naar voren gerichte bindingen voorstelt in een plat vlak, liggen de OH groepen aan de C atomen 2 en 4 onder dat vlak; de OH groep aan het C atoom 3 ligt boven het vlak. Sommige van de C atomen in een molecuul xylitol zijn asymmetrisch.

- Welke van de (genummerde) C atomen zijn asymmetrisch?  
Aan de atomen C2 en C4 zijn vier verschillende groepen gebonden, dus asymmetrisch.
- Leg aan de hand van de bovenstaande structuurformule uit of xylitol optisch actief is.  
Xylitol is niet optisch actief; het heeft een spiegelvlak dat door C3 en de H en OH, die aan C3 gebonden zijn, loopt.
- Geef de systematische naam van xylitol, zonder daarin rekening te houden met de aanwezigheid van asymmetrische C atomen.  
Pentaan-1,2,3,4,5-pent(a)ol

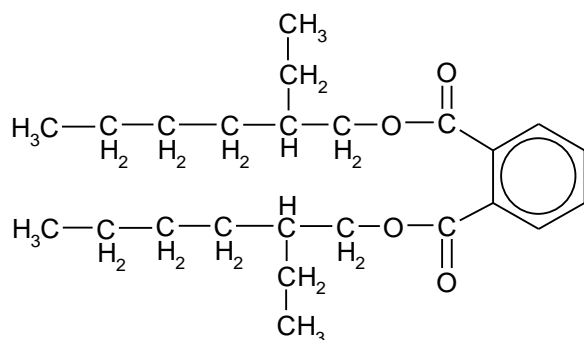
## Opgave 5 Dioctylftalaat

De verbinding dioctylftalaat wordt als weekmaker in plastics verwerkt. Dioctylftalaat wordt bereid uit ftaalzuur (benzeen-1,2-dicarbonzuur) en iso-octanol ( $\text{C}_8\text{H}_{18}\text{O}$ ). De structuurformule van iso-octanol is:



Een molecuul iso-octanol bevat een asymmetrisch C atoom (in de bovenstaande structuurformule het vijfde C atoom van links). Van iso-octanol bestaan twee stereoisomeren, in dit geval optische isomeren.

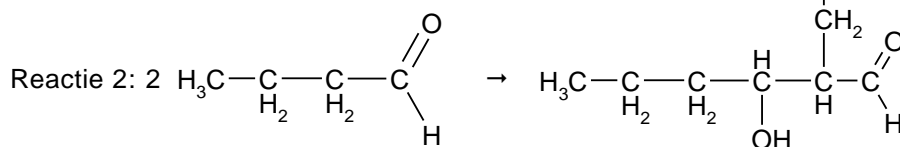
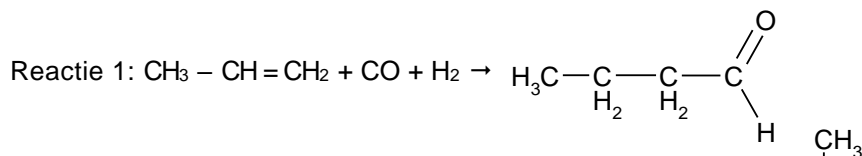
Ook van dioctylftalaat bestaan stereo-isomeren. De structuurformule van dioctylftalaat kan als volgt worden weergegeven:



- 1 Leg mede aan de hand van deze structuurformule uit hoeveel stereo-isomeren er bestaan van dioctylftalaat.

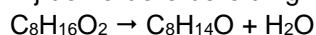
Het molecuul dioctylftalaat bevat twee asymmetrische C atomen, dus zouden er vier stereo-isomeren zijn. Omdat beide C\* atomen door dezelfde groepen worden omgeven zijn er twee hetzelfde. Er zijn dus drie stereo-isomeren.

Voor de industriële bereiding van iso-octanol gaat men uit van propene, koolstofmonoxide en waterstof. De bereiding van iso-octanol is een continu proces waarbij vier achtereenvolgende reacties plaatsvinden. De eerste twee reacties verlopen als volgt.

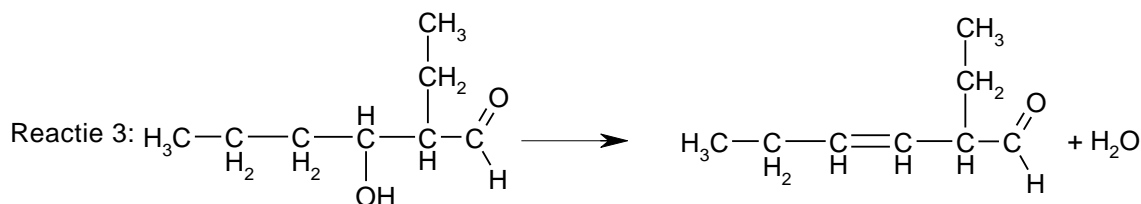


- 2 Geef de systematische naam van het reactieproduct  $\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$  van reactie 2.  
2-ethyl-3-hydroxyhexanal

Bij de verdere bereiding van iso-octanol treedt eerst afsplitsing van  $\text{H}_2\text{O}$  op:



Eén van de hierbij optredende reacties kan als volgt worden weergegeven.



Een molecuul  $\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}$  met de boven weergegeven structuurformule bevat één asymmetrisch C atoom. Toch bestaan er meer dan twee stereo-isomeren met deze structuurformule.

- 3 Leg uit hoeveel stereo-isomeren  $\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}$  er met bovenstaande structuurformule bestaan.  
Er is in  $\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}$  één asymmetrisch C atoom en er kan cis- trans-isomerie optreden. Er zijn hier dus  $2 \times 2 = 4$  stereo-isomeren mogelijk.

Bij de laatste reactie (reactie 4) ter bereiding van iso-octanol vindt additie plaats.

Reactie 4:  $\text{H}_2$  reageert met  $\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}$  onder vorming van uitsluitend iso-octanol.

Alle reacties 1 tot en met 4 van de beschreven industriële bereiding van iso-octanol vinden plaats in één fabriek.

Uit bovenstaande gegevens kan de molverhouding  $\text{CO} : \text{H}_2$  afgeleid worden waarin deze stoffen in

die fabriek moeten worden geleid.

- 4 Leg uit welke molverhouding CO : H<sub>2</sub> dat moet zijn.

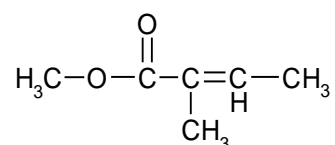
Voor de vorming van 1 mol C<sub>8</sub>H<sub>14</sub>O is 2 mol CO en 2 mol H<sub>2</sub> nodig.

Voor de omzetting van 1 mol C<sub>8</sub>H<sub>14</sub>O in iso-octanol is 2 mol H<sub>2</sub> nodig.

Totaal: 2 mol CO en 4 mol H<sub>2</sub>. Dus aantal mol CO : aantal mol H<sub>2</sub> = 1 : 2

### Opgave 6 Methanol en koolstofdioxide

Tussen methanol, koolstofmonoxide en but-2-yn kan onder invloed van een katalysator een additiereactie plaatsvinden. Daarbij ontstaat een verbinding met de volgende structuurformule:



Deze verbinding is een ester.

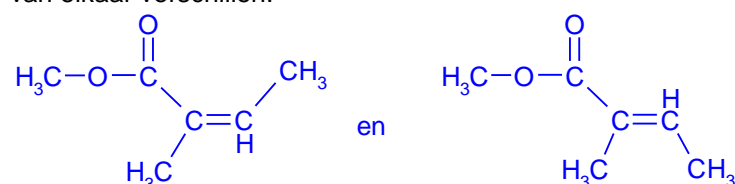
Men kan de naam van een ester omschrijven. Zo kan men ethylethanoaat omschrijven als de ester van ethanol en ethaanzuur.

- 1 Geef op dezelfde manier de omschrijving van de naam van de verbinding met de bovenstaande structuurformule.

De ester van methanol en 2-methylbut-2-eenzuur.

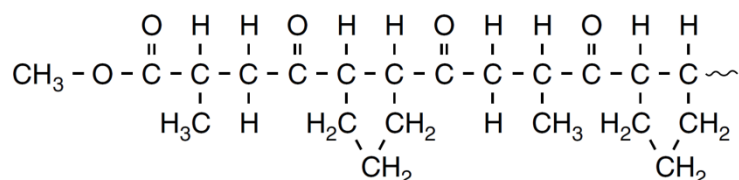
Er bestaan twee verbindingen met de bovenstaande structuurformule. De moleculen van deze twee verbindingen verschillen onderling slechts in hun ruimtelijke structuur.

- 2 Geef de structuurformules van deze twee verbindingen zodanig weer dat daaruit duidelijk blijkt in welk opzicht de posities van atomen en/of atoomgroepen in de molecuulstructuren van deze verbindingen van elkaar verschillen.

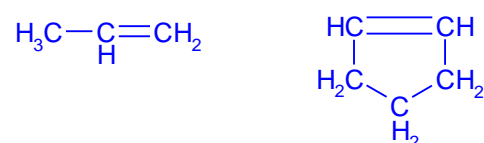


Methanol en koolstofmonoxide kunnen ook met andere koolwaterstoffen dan but-2-yn additiereacties geven. Onder bepaalde omstandigheden kunnen daarbij (additie)polymeren gevormd worden.

Bij een reactie tussen methanol, koolstofmonoxide en twee koolwaterstoffen X en Y ontstaat in aanwezigheid van een geschikte katalysator een additiepolymeer. Dit polymeer kan met de formule CH<sub>3</sub>O(C<sub>10</sub>H<sub>14</sub>O<sub>2</sub>)<sub>n</sub> H worden weergegeven. Hieronder is een deel van de structuurformule van dit additiepolymeer gegeven:



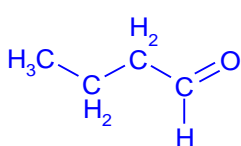
- 3 Geef de structuurformules van de koolwaterstoffen X en Y die voor het maken van dit additiepolymeer zijn gebruikt.



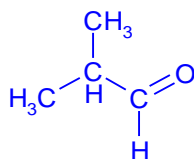
## Opgave 7 Tetrahydrofuraan

Er bestaan diverse verbindingen met de molecuulformule  $C_4H_8O$ , bijvoorbeeld alkanalen.

- 1 Geef de structuurformules van de alkanalen met de molecuulformule  $C_4H_8O$ .



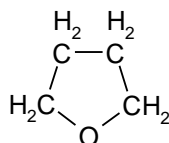
butanal



2-methylpropanal

Er zijn ook verbindingen met de molecuulformule  $C_4H_8O$  die op te vatten zijn als cyclische ethers. In een cyclische ether bevat de ring van een molecuul, behalve koolstofatomen, ook een zuurstofatoom.

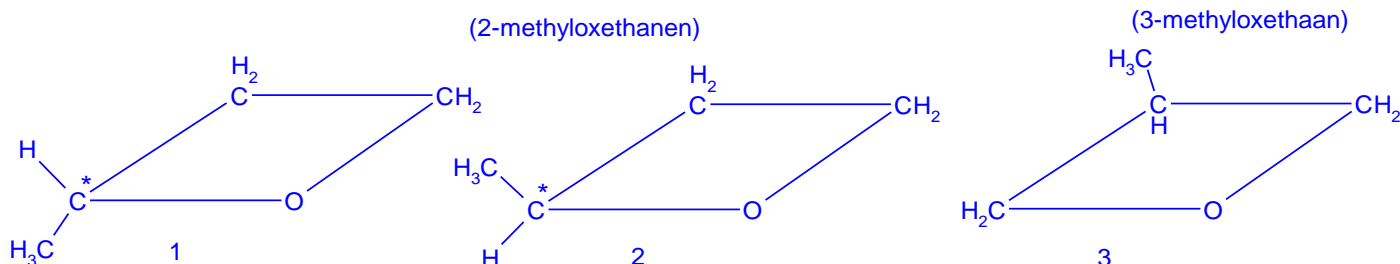
Een voorbeeld van een cyclische ether met de molecuulformule  $C_4H_8O$  is tetrahydrofuraan. Deze verbinding heeft de volgende structuurformule:



Een molecuul tetrahydrofuraan bevat een vijfring.

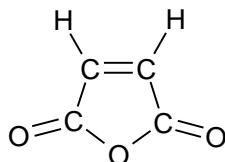
Er bestaan drie cyclische ethers met de molecuulformule  $C_4H_8O$  waarvan de moleculen een vierring bevatten; twee van die verbindingen zijn optische isomeren van elkaar.

- 2 Leg met behulp van structuurformules uit welke drie cyclische ethers met de molecuulformule  $C_4H_8O$  dat zijn.



Configuratie 1 en 2 zijn elkaars spiegelbeeldisomeren en vertonen optische activiteit.

De verbinding tetrahydrofuraan wordt in een fabriek volgens een continu proces gemaakt uitgaande van buteendizuuranhydride ( $C_4H_2O_3$ ). De structuurformule van buteendizuuranhydride is:



De omzetting van buteendizuuranhydride in tetrahydrofuraan vindt plaats via buteendizuur:  $HOOC - CH = CH - COOH$ .

Deze verbinding wordt in een reactor gevormd door de reactie van buteendizuuranhydride met water. Bij deze reactie wordt in een molecuul buteendizuuranhydride de  $C = C$  binding niet verbroken.

Er zijn twee verbindingen buteendizuur bekend. Slechts een daarvan wordt bij de reactie van buteendizuuranhydride met water gevormd.

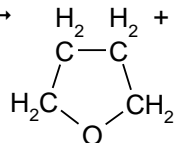
- 3 Met welke aanduiding in de naam wordt het buteendizuur dat bij deze reactie wordt gevormd, onderscheiden van het andere buteendizuur?

Met de aanduiding *cis*.

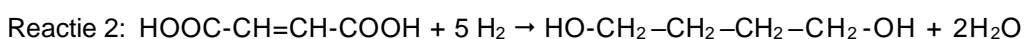
- 4 Leg uitgaande van de structuur van een molecuul buteendizuuranhydride uit hoe verklaard moet worden dat het andere buteendizuur bij deze reactie niet gevormd wordt.

De C=C is *star* en de H atomen van de C=C binding bevinden zich aan dezelfde kant. Een reactie met water heeft tot gevolg dat zodoende de COOH groepen tegenover de H atomen van de C=C binding komen te liggen. Hierbij ontstaat dus *cis*-buteendizuur.

Men scheidt in de fabriek het gevormde buteendizuur als zuivere stof af en laat het vervolgens in een andere reactor reageren met waterstof. Daarbij treden gelijktijdig de volgende twee reacties op.



tetrahydrofuran



butaan-1,4-diol

Daarna scheidt men het ontstane mengsel in de afzonderlijke stoffen tetrahydrofuraan, butaan-1,4-diol en water. Deze scheiding is mogelijk doordat de kookpunten van deze drie stoffen aanzienlijk verschillen. Zo is er een groot verschil tussen de kookpunten van tetrahydrofuraan en butaan-1,4-diol.

- 5 Leg uit welke van deze twee koolstofverbindingen het hoogste kookpunt zal hebben.

Tussen butaan-1,4-diolmoleculen kunnen zich waterstofbruggen vormen. Tetrahydrofuraan kan dit niet. butaan-1,4-diol heeft zodoende het hoogste kookpunt.

In de reactor waarin de genoemde reacties 1 en 2 plaatsvinden, wordt per seconde 12 mol zuiver buteendizuur via de reacties 1 en 2 volledig omgezet in tetrahydrofuraan en butaan-1,4-diol en water. Hierbij ontstaat 35 mol water.

- 6 Bereken hoeveel mol tetrahydrofuraan die reactor per seconde verlaat. Stel daarbij het aantal mol tetrahydrofuraan dat per seconde ontstaat op x.

Reactie 1:  $x \text{ mol furaan} \equiv x \text{ mol buteendizuur} \equiv 3x \text{ mol H}_2\text{O}$

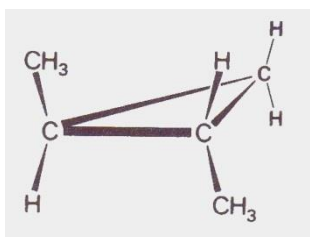
Reactie 2  $(12 - x) \text{ mol buteendizuur} \equiv 2(12 - x) \text{ mol H}_2\text{O}$

Totaal:  $12 \text{ mol buteendizuur} \equiv 3x + 24 - 2x \text{ mol H}_2\text{O} \rightarrow 3x + 24 - 2x = 35 \rightarrow x = 11 \text{ mol}$

Per seconde verlaat dus 11 mol furaan de reactor.

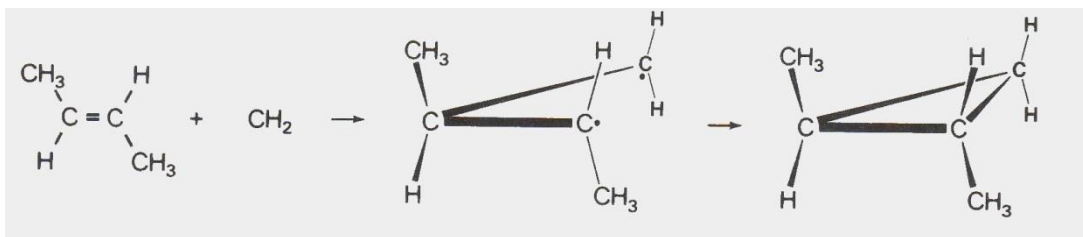
## Opgave 8 1,2-dimethylcyclopropan

Als men diazomethaan,  $\text{CH}_2\text{N}_2$ , laat reageren met *trans*-but-2-een ontstaan verscheidene reactieproducten. Van één van de reactieproducten kan de structuurformule als volgt in een ruimtelijke tekening worden weergegeven:



Voor het ontstaan van dit reactieproduct is een mechanisme voorgesteld waarbij men veronderstelt dat tussentijds een zogenaamd "dubbelradicaal" gevormd wordt:

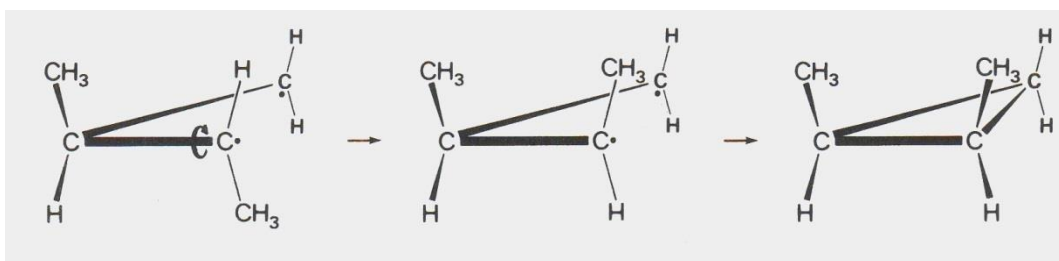




In het reactiemengsel dat ontstaat als men diazomethaan laat reageren met *trans*-but-2-een, wordt ook *cis*-1,2-dimethylcyclopropan aangetroffen.

- 1 Leg uit hoe het voorgestelde mechanisme een verklaring biedt voor het ontstaan van deze *cis*-verbinding.

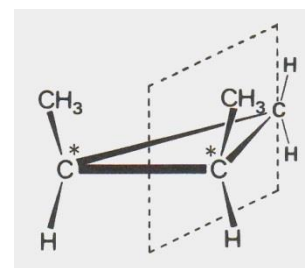
Het dubbelradicaal heeft slechts enkelvoudige C-C bindingen waardoor er draaiing om deze bindingen mogelijk is. Indien de "voorste" C-C binding eerst 180° draait en de radicalen vervolgens een binding vormen, komen de CH<sub>3</sub> groepen aan dezelfde kant van het vlak van de driering en is de *cis* verbinding ontstaan:



*Cis*-1,2-dimethylcyclopropan is niet optisch actief.

- 2 Laat aan de hand van de molecuulbouw van *cis*-1,2-dimethylcyclopropan zien dat deze stof niet optisch actief is.

verskil tussen de *trans*- en *cis* verbinding is dat de laatste een inwendig spiegelvlak heeft dat door het CH<sub>2</sub> hoekpunt loopt en de tegenoverliggende C-C binding loodrecht in het midden snijdt (zie hier-naast). Daardoor wordt de optische activiteit van het linker asymmetrische C\* atoom opgeheven door die van het rechter C\* atoom dat een tegengestelde omringing heeft. Het totale molecuul vertoont daarom geen draaiing van het polarisatievlak van gepolariseerd licht.

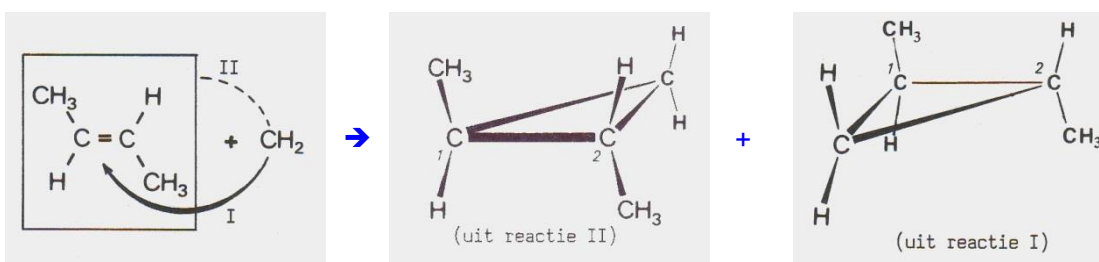


Het

Het *trans*-cycloalkaan waarvan hierboven de structuurformule in een ruimtelijke tekening is weergegeven, is wel optisch actief. Toch is het reactiemengsel dat ontstaat als men diazomethaan met *trans*-but-2-een laat reageren, niet optisch actief.

- 3 Leg uit hoe het mogelijk is dat het ontstane mengsel niet optisch actief is. Licht je antwoord toe met een ruimtelijke tekening.

Het getekende *trans*-cycloalkaan (zie opgave) is optisch actief en het totale productmengsel niet. Dan moet er in het productmengsel ook een ander cycloalkaan aanwezig zijn dat de optische activiteit van het getekende cycloalkaan precies opheft. Dit kan als er van het spiegelbeeld van de getekende *trans* verbinding evenveel ontstaat, m.a.w. als er een racemisch mengsel wordt gevormd.

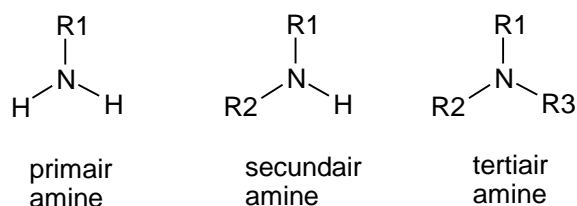


Toelichting:

Zoals geldt voor elk alkeen liggen ook in trans-2-buteen de C=C binding en de daaraan grenzende enkelvoudige bindingen in één vlak. De kans dat CH<sub>2</sub> dit vlak aan de “voorkant” of aan de “achterkant” nadert is even groot. Nadering aan de voorkant (reactie I) leidt tot een ander trans-1,2-dimethylcyclopropan dan de trans verbinding die in de opgave is getekend. Deze beide trans verbindingen zijn elkaars spiegelbeeld en worden d.m.v. reactie I en II in gelijke hoeveelheden gevormd.

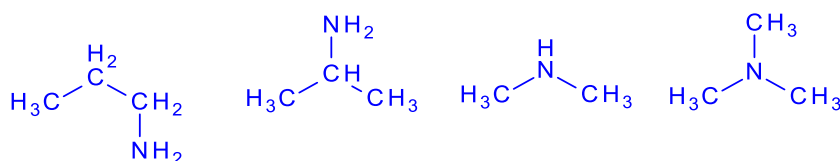
## Opgave 9 Aminen

Aminen zijn organische stikstofverbindingen die zowel wat betreft molecuulstructuur als wat betreft eigenschappen verwantschap vertonen met ammoniak. Je kunt een molecuul van een amine afgeleid denken van een ammoniakmolecuul door daarin één, twee of drie waterstofatomen te vervangen door koolwaterstofgroepen, zoals alkylgroepen. Al naar gelang één, twee of drie waterstofatomen zijn vervangen, spreken we van respectievelijk primaire, secundaire en tertiaire aminen:

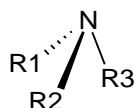


In deze structuurformules stellen R1, R2 en R3 koolwaterstofgroepen voor.

- 4 Geef de structuurformules van alle aminen met de molecuulformule C<sub>3</sub>H<sub>9</sub>N.



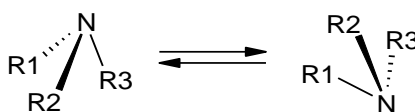
De ruimtelijke bouw van een molecuul van een amine vertoont veel overeenkomst met die van een ammoniakmolecuul. In beide gevallen wordt een pyramidale structuur verondersteld, met het stikstofatoom in de top van de pyramide. Zo kan een molecuul van een tertiair amine als volgt ruimtelijk worden weergegeven:



In dit soort tekeningen stelt een streepje (—) een binding voor *in* het vlak ; - stellen bindingen voor die respectievelijk naar voren en achteren gericht zijn.

Gezien de ruimtelijke structuur van een aminemolecuul zou je kunnen verwachten dat elk tertiair amine waarin R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> en R<sub>3</sub> verschillend zijn stereo-isomerie vertoont.; men kan zich twee stereo-isomeren voorstellen waarvan de moleculen elkaars spiegelbeeld zijn. Deze beide stereo-isomeren zouden dan ook optische activiteit moeten vertonen. Men heeft echter bij dit soort aminen, waarvan wordt verondersteld dat twee stereo-isomeren bestaan, nooit optische activiteit waargenomen. Men is er ook nooit in geslaagd de beide stereo-isomeren van elkaar te scheiden.

Om een en ander te verklaren wordt verondersteld dat de beide spiegelbeeldisomeren met elkaar in evenwicht zijn, waarbij de groepen R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub> en R<sub>3</sub> snel “omklappen”:



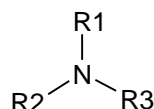
Je zou aan dit evenwicht een evenwichtsconstante *K* kunnen toekennen.

- 5 Leg uit of je uit de bovenstaande gegevens de waarde van  $K$  kunt voorspellen.

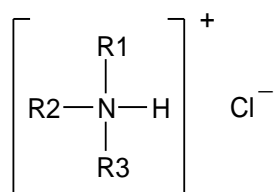
Elk tertiair amine met verschillende R1, R2 en R3 zou, gescheiden van zijn spiegelbeeld isomeer, optische activiteit vertonen. Omdat dit niet gevonden wordt, moet je aannemen dat er van beide isomeren evenveel in het evenwicht aanwezig is. De evenwichtsconstante zal daarom de waarde 1 hebben ( $K = [\text{amine}(1)] / [\text{amine}(2)]$  waarin amine(1) en amine(2) elkaars spiegelbeeld voorstellen. Geen optische activiteit betekent  $[\text{amine}(1)] = [\text{amine}(2)]$  en zodoende  $K = 1$ ).

Evenals ammoniak zijn aminen zwakke basen. Door opname van  $\text{H}^+$  vormen zij positieve

ionen. Zo ontstaat bij de reactie van het tertiaire amine

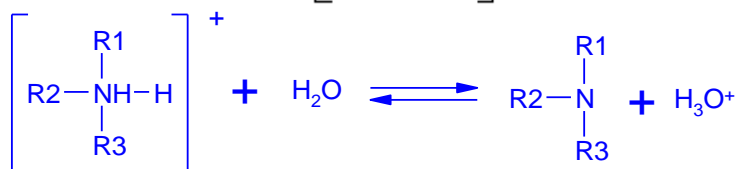


met waterstofchloride het volgende zout:



Elk zout van deze soort waarin R1, R2 en R3 verschillend zijn, blijkt stereo-isomerie te vertonen. Wordt van een dergelijk zout één van de twee optisch actieve stereo-isomeren in water opgelost, dan treedt een reactie op waarbij het positieve ion een proton afstaat. Daarbij stelt zich een evenwicht in. De ontstane oplossing blijkt na verloop van tijd niet meer optisch actief te zijn.

- 6 Geef de vergelijking van  $\left[ \begin{array}{c} \text{R1} \\ | \\ \text{R2}-\text{N}-\text{H} \\ | \\ \text{R3} \end{array} \right]^+$  in water.

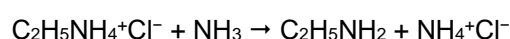
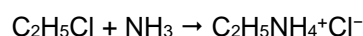


- 7 Leg uit hoe het komt dat de ontstane oplossing na verloop van tijd geen optische activiteit meer vertoont.

Het tertiaire amine dat in bovenstaande reactie ontstaat, komt na korte tijd na snel omklappen in evenwicht met zijn spiegelbeeldisomeer. Zodra dit laatste een proton opneemt, ontstaat een positief ion dat optisch actief is maar tegengesteld aan het oorspronkelijke positieve ion.

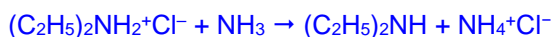
Omdat beide isomeren van het amine (binnen korte tijd) in de verhouding 1 : 1 zullen voorkomen, zal ook de verhouding van de daarvan afgeleide ionen 1 : 1 bedragen met als gevolg: geen optische activiteit (racemisch mengsel).

Primaire aminen kunnen worden bereid door een chlooralkaan te laten reageren met ammoniak. Deze omzetting verloopt in twee stappen:

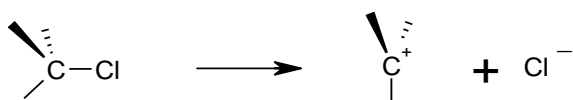


In het ontstane reactiemengsel wordt, naast ethylamine, ook onder andere diethylamine,  $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{NH}$  gevormd. Er wordt aangenomen dat dit secundaire amine gevormd wordt uit het ontstane primaire amine.

- 8 Geef de vergelijking voor de vorming van  $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{NH}$  uit het primaire amine.



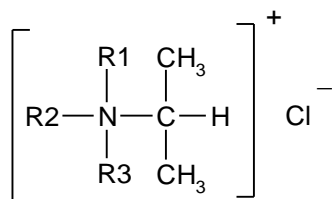
Onderzoek aan de reactie van ammoniak met één van de stereo-isomeren van 2-chloorbutaan in een polair oplosmiddel heeft uitgewezen dat van het daarbij gevormde primaire amine beide stereo-isomeren in het reactiemengsel aanwezig zijn. Men verklaart het feit dat beide stereo-isomeren ontstaan met de aanname dat uit 2-chloorbutaan eerst carbokationen (positief geladen alkylgroepen) met een vlakke structuur ontstaan:



De ontstane carbokationen reageren dan door met ammoniakmoleculen waarbij, na afsplitsing van  $\text{H}^+$ , de beide stereo-isomeren ontstaan.

Als een tertiair amine,  $\begin{array}{c} \text{R1} \\ | \\ \text{R2}-\text{N}-\text{R3} \end{array}$ , waarin R1, R2 en R3 verschillend zijn, zou reageren

met één van de stereo-isomeren van 2-chloorbutaan, dan kun je verwachten dat het volgende zout zal ontstaan:



Als deze reactie plaatsvindt, mag je ook verwachten dat van dit zout een aantal stereo-isomeren ontstaan.

- 9 Leg uit hoeveel stereo-isomeren je dan mag verwachten, als is uitgegaan van één van de stereo-isomeren van 2-chloorbutaan.

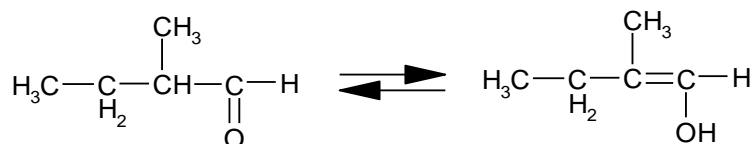
In het gegeven zout komen twee asymmetrische centra voor: het N- en het C-atoom waaraan de substitutie plaatsvond. Je kunt daarom maximaal 4 ( $=2^2$ ) stereo-isomeren verwachten.

Dat het 2-chloorbutaan waarvan met uitgaat, optisch actief is, betekent niet dat er slechts één van de beide omringingen van het C-atoom zal ontstaan. Er worden namelijk carbokationen gevormd die vlak zijn en dus zelf niet optisch actief. De twee spiegelbeeldisomeren van het tertiaire amine kunnen het vlakke carbokation van beide kanten naderen en een binding aangaan. Er zijn zodoende vier mogelijke stereo-isomeren.

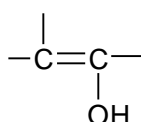
## Varia (bovenbouw)

### Opgave 1 Keto-enol tautomerie

Als men 2-methylbutanal in water oplost, stelt zich het volgende evenwicht in:



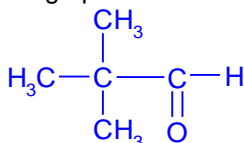
De alcohol in dit evenwicht is een zogenaamd enol, dat wil zeggen een alcohol met



als karakteristieke groep.

Enolvorming kan optreden bij alkanalen met meer dan één C atoom per molecuul. Er zijn echter alkanalen met meer dan één C atoom per molecuul waarbij geen enolvorming optreedt.

- 1 Geef de structuurformule van een alkanal met meer dan één C atoom per molecuul waarbij geen enolvorming optreedt.



Er bestaan twee optisch actieve isomeren van 2-methylbutanal. Als men linksdraaiend 2-methylbutanal in water oplost ontstaat een oplossing waarvan de optische activiteit afneemt en uiteindelijk verdwijnt.

- 2 Leg aan de hand bovenstaande gegevens uit hoe verklaard moet worden dat de optische activiteit van de oplossing verdwijnt.

De linksdraaiende vorm gaat over in een enol die geen asymmetrisch centrum meer heeft, dus geen optische activiteit vertoont.

De kans dat uit het enol zowel links- als rechtsdraaiend 2-methylbutanal ontstaat, is even groot. Langzamerhand ontstaat er een racemisch mengsel van beide optische isomeren die in evenwicht zijn met het enol. Hierdoor ontstaat een oplossing die geen optische activiteit meer vertoont.

Bij het enoliseren van 2-methylbutanal, zullen twee soorten enolmoleculen ontstaan.

- 3 Leg uit of het enol van 2-methylpropanal ook twee soorten moleculen zullen bestaan.

Vergelijk in je uitleg de molecuulstructuren van de enolen van 2-methylbutanal en 2-methylpropanal.

Bij de enolvorm van 2-methylbutanal is cis-trans-isomerie mogelijk als gevolg van de dubbele binding:



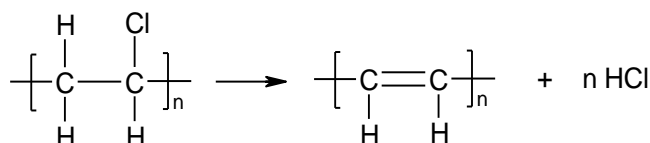
De enolstructuur van 2-methylpropanal vertoont deze cis-trans-isomerie niet, omdat aan één van de dubbel gebonden C atomen twee dezelfde groepen zitten; er is maar één soort moleculen:



## Opgave 2 Verhitting van PVC

Een veel gebruikte kunststof is polychlooretheen. Deze kunststof, met de formule  $(\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl})_n$  is beter bekend als PVC (polyvinylchloride).

Eén van de reacties die optreedt bij de verhitting van PVC is als volgt weer te geven:



- 1 Bereken de verandering in de energie-inhoud (enthalpie) die optreedt als één molecuul  $(\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl})_n$  wordt omgezet in één molecuul  $(\text{C}_2\text{H}_2)_n$ . Neem hierbij aan dat  $n = 3000$ .

De verandering in warmte-inhoud is te berekenen uit de bindingsenergieën per mol (tabel 58)

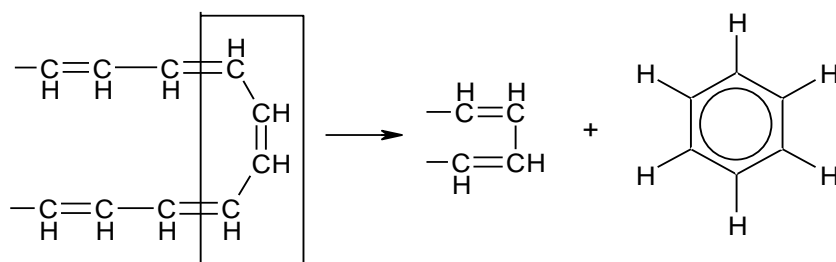
Soort proces	Kost energie (+) of levert energie (-)
Verbreken van 1 mol C-C bindingen	+3,5·10 <sup>5</sup> J
Verbreken 1 mol C-H bindingen	+4,1·10 <sup>5</sup> J
Verbreken van 1 mol C-Cl bindingen	+3,3·10 <sup>5</sup> J
Vormen 1 mol C=C bindingen	-6,1·10 <sup>5</sup> J
Vormen 1 mol H-Cl bindingen	<u>-4,3·10<sup>5</sup> J</u>
Verandering energie-inhoud voor 1 mol eenheden C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl is:	+0,5·10 <sup>5</sup> J

Uit bovenstaande volgt dat het energie-effect bij de omzetting  $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl} \rightarrow \text{C}_2\text{H}_2 + \text{HCl}$  voor één eenheid  $0,5 \cdot 10^5 \text{ J} / 6,02 \cdot 10^{23} = 8,3 \cdot 10^{-20} \text{ J}$  bedraagt, dus voor de omzetting van één molecuul  $(\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl})_{3000}$  is nodig:  $8,3 \cdot 10^{-20} \text{ J} \times 3000 = 2 \cdot 10^{-16} \text{ J}$ .

Bij verdere verhitting kan uit  $(\text{C}_2\text{H}_2)_n$  benzeen ontstaan. Voor het ontstaan zijn twee mogelijke mechanismen opgesteld.

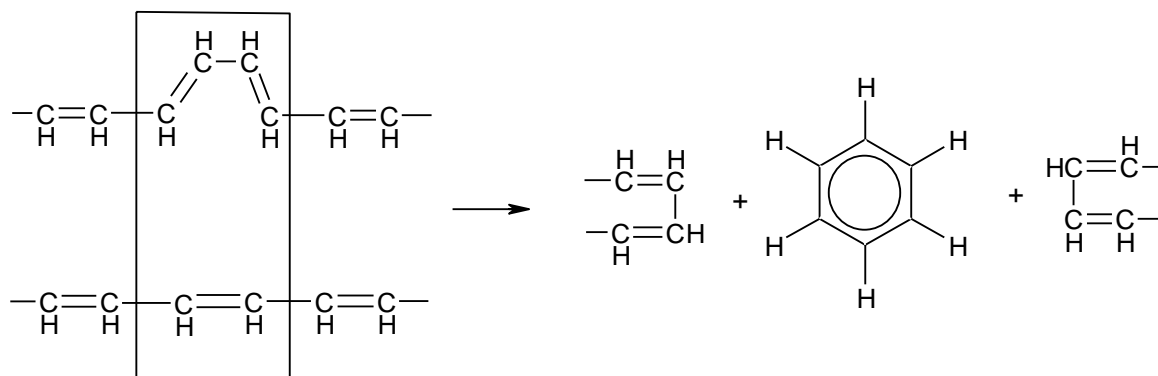
#### Mechanisme 1

Binnen een polymermolecuul vindt cyclisatie plaats

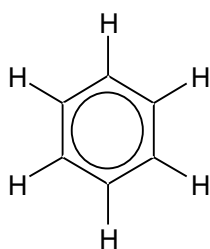


#### Mechanisme 2

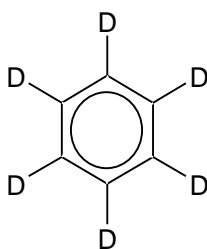
Tussen twee aangrenzende polymermoleculen vindt cyclisatie plaats; daarin zijn telkens één  $\text{C}_2\text{H}_2$  eenheid van het ene polymermolecuul en twee  $\text{C}_2\text{H}_2$  eenheden van het andere polymermolecuul betrokken.



Om deze mechanismen te toetsen werd een mengsel verhit van twee soorten PVC, namelijk PVC gemaakt uit  $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$  en PVC uit  $\text{C}_2\text{D}_3\text{Cl}$ . In deze formules stellen C, H en D respectievelijk de isotopen  $^{12}\text{C}$ ,  $^1\text{H}$  en  $^2\text{H}$  voor. Bij verhitting van het mengsel van de twee soorten PVC kwamen HCl en DCl vrij. Bij verdere verhitting ontstond benzeen, waarvan uitsluitend de soorten met de volgende structuurformules (A en B) werden aangetoond:



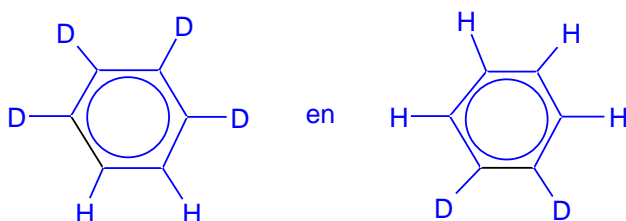
A



B

Op basis van dit proefresultaat moet mechanisme 2 worden verworpen.

- 2 Geef de structuurformule(s) van de andere soort of soorten benzeen die men had moeten aantreffen als mechanisme 2 juist zou zijn geweest.



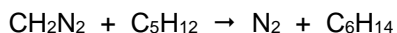
Toelichting: Het eerste product verwacht je als de “bovenste” keten (zie mechanisme 2) PVC voorstelt dat D in plaats van H bevat. Het tweede product ontstaat als de “onderste” keten D-houdend PVC voorstelt.

- 3 Leg uit of men de beide soorten benzeen met de structuurformules A en B ook had aangetroffen als mechanisme 2 juist zou zijn geweest.

De structuurformules A en B zou je ook via mechanisme 2 kunnen verkrijgen, namelijk door combinatie van twee PVC-ketens uitsluitend opgebouwd uit  $C_2H_3Cl$  (geeft A), respectievelijk twee PVC-ketens uitsluitend opgebouwd uit  $C_2D_3Cl$  (geeft B).

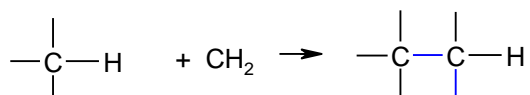
### Opgave 3 Diazomethaan

Diazomethaan,  $CH_2N_2$ , reageert gemakkelijk met alkanen. Mengt men diazomethaan met een grote overmaat pentaan dan worden stikstof en alkanen met de formule  $C_6H_{14}$  gevormd:



De gevormde alkanen zijn hexaan, 2-methylpentaan en 3-methylpentaan.

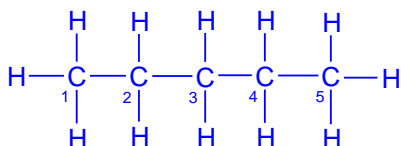
Men neemt aan dat bij dit soort reacties in eerste instantie het diazomethaan ontleedt in het zeer reactieve methyleen ( $CH_2$ ) en stikstof. De reactieproducten die ontstaan als men diazomethaan met een alkaan laat reageren wijzen erop dat de gevormde methyleendeeltjes zich voegen tussen het C atoom en het H atoom van een C-H binding van een alkaanmolecuul:



Men veronderstelt dat deze reactie in één stap verloopt: gelijktijdig wordt een C-H binding verbroken en worden een C-C binding en een C-H binding gevormd (mechanisme I).

Laat men diazomethaan in een grote overmaat pentaan reageren dan blijkt de molverhouding waarin hexaan, 2-methylpentaan en 3-methylpentaan ontstaan, zo te zijn dat men moet aannemen dat reacties volgens mechanisme I bij alle C-H bindingen van pentaan even gemakkelijk plaatsvinden.

- 1 Leg uit in welke molverhouding de genoemde alkanen ontstaan als men diazomethaan in een grote overmaat pentaan laat reageren.



De zes C–H bindingen van C(1) en C(5) zijn gelijkwaardig. Een reactie met CH<sub>2</sub> leidt hier tot het product hexaan.

De vier C–H bindingen van C(2) en C(4) zijn gelijkwaardig en geven na reactie met CH<sub>2</sub> 2-methylpentaan.

De twee C–H bindingen van C(3) zijn gelijkwaardig en geven na reactie met CH<sub>2</sub> het isomeer 3-methylpentaan.

De te verwachten molverhouding van hexaan, 2-methylpentaan en 3-methylpentaan is zodoende

6 : 4 : 2 = 3 : 2 : 1.

Door in de bovenbeschreven proef pentaan in een grote overmaat te gebruiken wordt tegengegaan dat behalve de drie genoemde alkanen nog andere alkanen ontstaan.

- 2 Leg uit dat bij gebruik van slechts een geringe overmaat pentaan verwacht mag worden dat ook andere alkanen ontstaan.

Bij een grote overmaat pentaan is elk methyleendeeltje, ook als de reactie vrijwel afgelopen is, hoofdzakelijk omringd door pentaanmoleculen.

Bij een geringe overmaat pentaan zijn er, vooral tegen het einde van de reactie, ook reactieproducten (hexaan, 2-methyl- en 3-methylpentaan) aanwezig in hoeveelheden vergelijkbaar met die van pentaan. Daardoor is de kans op reactie tussen deze producten en een methyleendeeltje sterk vergroot zodat alkanen met zeven C-atomen kunnen ontstaan..

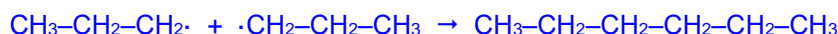
Bij een proef waarin men diazomethaan in een grote overmaat propaan laat reageren vindt men de reactieproducten butaan en 2-methylpropaan in een verhouding die erop wijst dat ook in dit geval reacties volgens mechanisme I plaatsvinden. Men vindt echter in het reactiemengsel ook zeer kleine hoeveelheden van vier andere alkanen, waaronder ethaan en hexaan. Men veronderstelt daarom dat in dit geval, naast mechanisme I, nog een ander mechanisme een rol speelt. In dit mechanisme (mechanisme II) onttrekt in een eerstes tap een methyleendeeltje e en H atoom aan een propaanmolecuul ( $C_3H_8 + CH_2 \rightarrow C_3H_7\cdot + \cdot CH_3$ ) waarna gevormde radicalen zich aaneenhechten.

- 3 Leg uit dat mechanisme II het ontstaan van ethaan en hexaan verklaart.

Ethaan ontstaat uit twee methylradicalen:

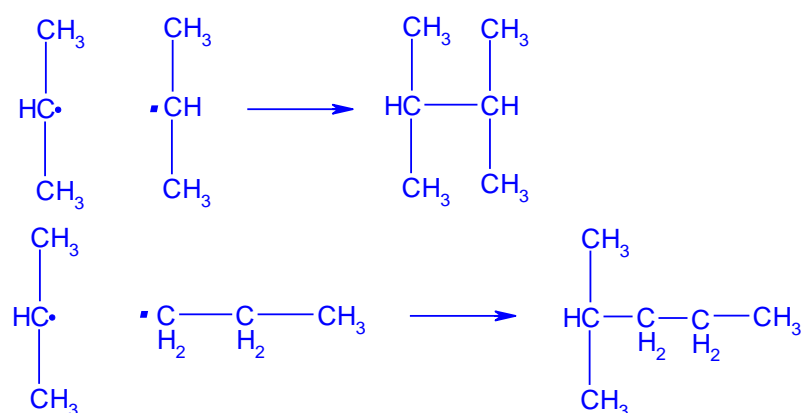


Hexaan ontstaat uit twee propylradicalen:



- 4 Geef de structuurformules van de andere twee alkanen die op grond van mechanisme I niet en op grond van mechanisme II wél in het reactiemengsel verwacht mogen worden.

Uit C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> ontstaat volgens mechanisme II het radicaal C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>·. Hierbij kan het vrije (ongepaarde) elektron ook op het middelste C-atoom zitten. Dit radicaal (2-propylradicaal) kan met een zelfde radicaal reageren of met een 1-propylradicaal, waardoor twee verschillende alkanen (isomeren van hexaan) gevormd worden.



Toelichting: De bedoelde alkanen kunnen niet volgens mechanisme I uit propaan zijn ontstaan.

Het antwoord "butaan en methylpropaan" is niet juist, omdat deze stoffen weliswaar volgens mechanisme II kunnen ontstaan, maar ook volgens mechanisme I.



## Opgave 4 Methanol als brandstof voor motoren

Methanol kan gebruikt worden als brandstof voor verbrandingsmotoren. Een nadeel van methanol in vergelijking met benzine is de lagere energiedichtheid.

Onder de energiedichtheid van een vloeibare brandstof verstaan we in deze opgave de energie die vrijkomt bij de volledige verbranding van 1 liter van die brandstof bij 298 K en  $p = p_0$ .

De energiedichtheid van methanol kan berekend worden met behulp van de dichtheid van methanol ( $0,79 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  bij 298 K) en de verbrandingswarmte van methanol ( $-7,3 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ ). Onder de verbrandingswarmte van een stof verstaan we de verandering van de energie-inhoud die optreedt bij volledige verbranding van 1 mol van die stof bij 298 K en  $p = p_0$ .

- 1 Bereken de energiedichtheid van methanol.

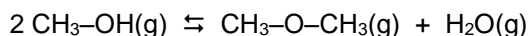
De massa van 1 L methanol = 790 g

$790 \text{ g methanol} \div 32,04 \text{ g/mol} = 24,38 \text{ mol}$

De energiedichtheid van 1L methanol is  $24,38 \text{ mol} \times 7,3 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1} = 1,8 \cdot 10^7 \text{ J}$

Uit methanol kan benzine gemaakt worden. Daartoe wordt methanol eerst omgezet in methoxymethaan.

Hierbij wordt methanoldamp van hoge druk en hoge temperatuur geleid in een reactor (reactievat) waarin zich een geschikte katalysator bevindt. In de reactor stelt zich het volgende evenwicht in:



Bij de uitvoering van deze reactie worden in de praktijk de volgende doelen nagestreefd:

- I Van het ingeleide methanol moet in de reactor een zo hoog mogelijk percentage omgezet worden in methoxymethaan en water.
- II De omzetting moet in een zo kort mogelijke tijd plaatsvinden.

- 2 Leg uit of de keuze van een hoge druk invloed heeft op het gestelde in doel I.

Doel I wordt door hoge druk niet bereikt, omdat hier evenveel gasvormige deeltjes links en rechts in de evenwichtsreactie voorkomen, heeft drukverandering geen invloed op de ligging van het evenwicht, dus ook niet op het percentage omgezet methanol.

Toelichting:  $K = \frac{[\text{CH}_3\text{OCH}_3][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CH}_3\text{OH}]^2}$

Door verhoging van bijvoorbeeld de druk met een factor 2 worden alle concentraties 2 maal zo groot; zowel teller als noemer nemen met een factor 4 toe,  $K$  verandert hierdoor niet.

- 3 Leg uit of de keuze van een hoge druk invloed heeft op het gestelde in doel II.

Bij hogere druk wordt de concentratie methanol verhoogd en daarmee de botsingskansen van de moleculen. Het evenwicht wordt daardoor sneller bereikt. Hogere druk heeft dus wel invloed op het gestelde in II.

Voor een optimaal verloop van deze omzetting is het noodzakelijk dat de eenmaal ingestelde temperatuur in de reactor constant wordt gehouden. Of de reactor daarbij gekoeld of verwarmd moet worden, hangt af van de verandering van de energie-inhoud (warmte-inhoud) van de genoemde reactie naar rechts. Deze energieverandering kan berekend worden met behulp van gegevens uit de tabellen 57 en 59, waarbij aangenomen mag worden dat de waarden uit deze tabellen ook bij de heersende hoge temperatuur en druk gelden.

- 4 Bereken de verandering in energie-inhoud van deze reactie naar rechts per mol gevormd

$\text{CH}_3\text{OCH}_3\text{(g)}$  met behulp van gegevens uit de tabellen 57 en 59.

De reactie naar rechts kan opgesplitst gedacht worden in de volgende ontledings- en vormingsreacties, bovendien moet er voor de overgang  $\text{CH}_3\text{OH(g)} \rightarrow \text{CH}_3\text{OH(l)}$  rekening worden gehouden met de condensatiewarmte:

Condensatie:	$2 \text{CH}_3\text{OH(g)} \rightarrow 2 \text{CH}_3\text{OH(l)}$	$\Delta E = 2 \times 0,37 \cdot 10^5 \text{ J}$
Ontleding van methanol:	$2 \text{CH}_3\text{OH(l)} \rightarrow 2 \text{C(s)} + 4 \text{H}_2\text{(g)} + \text{O}_2\text{(g)}$	$\Delta E = 2 \times 2,39 \cdot 10^5 \text{ J}$
Vorming van methoxymethaan:	$2 \text{C} + \frac{1}{2} \text{O}_2\text{(g)} + 3 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OCH}_3\text{(g)}$	$\Delta E = -1,84 \cdot 10^5 \text{ J}$
Vorming van waterdamp:	$\text{H}_2\text{(g)} + \frac{1}{2} \text{O}_2\text{(g)} \rightarrow \text{H}_2\text{O(g)}$	$\Delta E = -2,42 \cdot 10^5 \text{ J}$
	$2 \text{CH}_3\text{OH(g)} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{OCH}_3\text{(g)} + \text{H}_2\text{O(g)}$	$\Delta E = -0,22 \cdot 10^5 \text{ J}$

Toelichting: Energieveranderingen worden beschouwd vanuit het systeem. Als er bij reactie energie vrij-

komt is dit een vermindering van de energie-inhoud en negatief voor het systeem. Omgekeerd geldt dezelfde redenering. Zodoende is ontledingswarmte = – vormingswarmte, en condensatiewarmte = – verdampingswarmte. In dit geval komt er dus  $0,22 \cdot 10^5$  J bij de vorming van methoxymethaan vrij.

- 5 Leg uit of tijdens het optreden van deze reactie de reactor gekoeld of verwarmd moet worden. Neem hierbij aan dat de gasstroom die de reactor in gaat, dezelfde temperatuur en druk heeft als de gasstroom die uit de reactor komt.  
Het energie-effect is negatief, met andere woorden het systeem staat energie af, dus is het een exotherme reactie. Om de temperatuur van de gasstroom constant te houden, moet de vrijkomende warmte worden afgevoerd; er moet dus worden gekoeld.

## Opgave 5 Weekmaker

Sommige plastics zoals PVC (polychlooretheen) zijn stijve en stugge materialen.

Om ze soepel te maken, wordt vaak gebruik gemaakt van zogenoemde weekmakers.

In een tijdschrift stond een artikel over weekmakers. In het volgende tekstfragment staat een deel van dit artikel. Weekmakers zijn bij kamertemperatuur vloeistoffen.

### tekstfragment

Weekmakers worden aan polymeren toegevoegd om een meer flexibel eindproduct te krijgen of om een specifieke verwerkingsmethode mogelijk te maken. Weekmakers ontleen hun werking aan het feit dat ze de interacties tussen de polymeerketens verzwakken, waardoor een materiaal minder stijf wordt. Hoe meer een weekmaker in staat is om zich tussen de polymeerketens door te bewegen, hoe efficiënter de weekmaker is. Een hoge mate van beweeglijkheid leidt echter ook tot een grotere kans dat de weekmaker uit het polymeer migreert naar de omgeving. De migratie van weekmakers naar het milieu kan aanleiding geven tot allerlei ongewenste (eco)toxicologische effecten.

*naar: "Kunststof en Rubber", K. Molenveld, WUR, Wageningen*

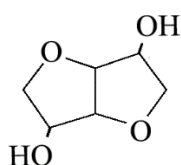
Met "interacties tussen de polymeerketens" wordt een bepaald type binding bedoeld.

Plastics worden vaak ingedeeld in thermoplasten en thermoharders.

- 1 Leg uit dat het gebruik van een weekmaker zinvol is bij een thermoplast en niet bij een thermoharder. Betrek in je uitleg de soort(en) binding die in thermoplasten en thermoharders voorkomt (voorkomen).  
Tussen de moleculen van een thermoplast heersen vanderwaals- of molecuulbindingen. Deze zijn vrij zwak en sterk afhankelijk van de afstand tussen de polymeermoleculen. Weekmakers kunnen gemakkelijk tussen de polymeermoleculen zitten en vergroten zo de afstand tussen de moleculen. Door de zwakkere vanderwaalsbindingen wordt de stof soepeler. Bij thermoharders worden de polymeerketens door dwarsverbindingen (atoombindingen) met elkaar verbonden. Weekmakers hebben hier geen invloed op.

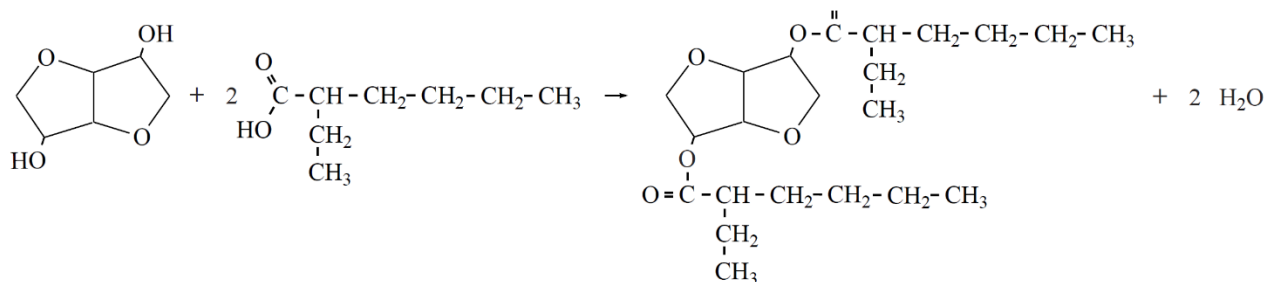
Vanwege de mogelijke bezwaren van het gebruikelijke type weekmakers wordt op een instituut in Wageningen onderzocht of weekmakers zijn te ontwikkelen die vriendelijker zijn voor mens en milieu. Daarbij heeft men gevonden dat de stof isosorbide een geschikte stof is om weekmakers te synthetiseren die aan de gestelde voorwaarden voldoen.

De structuurformule van isosorbide kan als volgt worden weergegeven

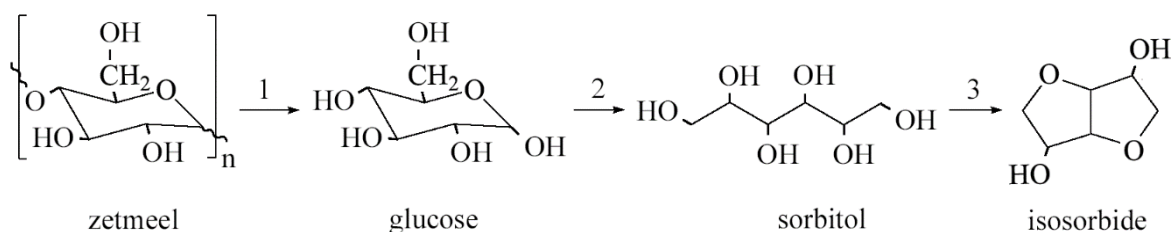


Een voorbeeld van zo'n nieuw type weekmaker is de di-ester van isosorbide en 2-ethylhexaanzuur.

- 2 Geef de reactievergelijking voor het ontstaan van deze weekmaker. Gebruik daarin structuurformules voor de organische verbindingen. Voor isosorbide mag de structuurformule worden gebruikt die op de vorige pagina is weergegeven.



Als grondstof voor de bereiding van isosorbide wordt zetmeel gebruikt. Bij deze bereiding spelen drie omzettingen een rol. Hieronder zijn deze omzettingen schematisch weergegeven.



Geef de namen van de stoffen X en Y. Noteer je antwoord als volgt:

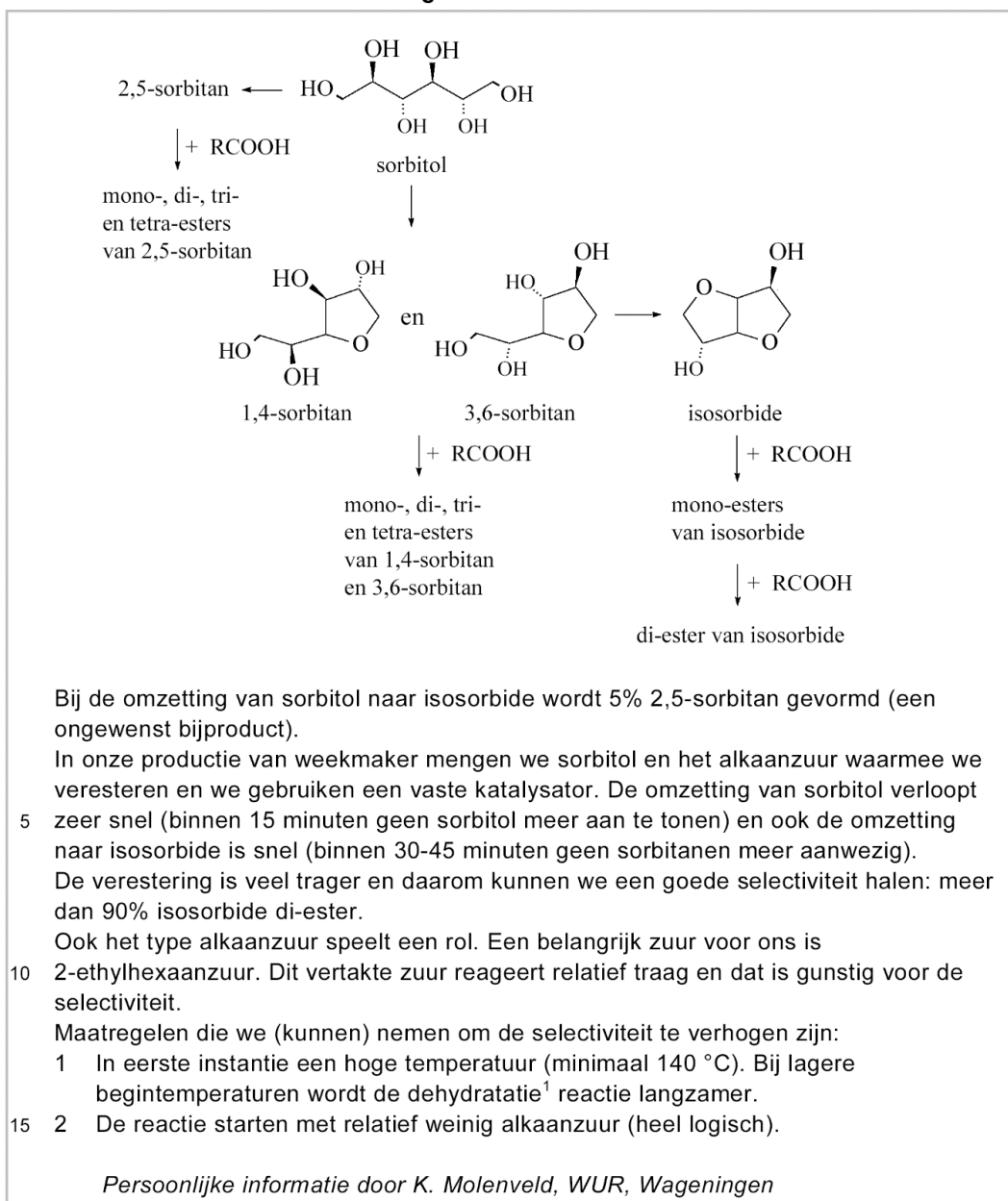
stof X is: water

stof Y is: waterstof

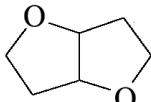
De omzetting van sorbitol tot isosorbide verloopt in een aantal stappen.

Bij het onderzoek in Wageningen bleek dat het handig is om het isosorbide niet eerst te isoleren tijdens de bereiding van de weekmaker. Eén van de onderzoekers heeft een reactieschema en aanvullende gegevens verstrekt over de wijze waarop de productie van de weekmaker vanuit sorbitol verloopt. Deze informatie is hierna weergegeven.

### reactieschema en toelichting

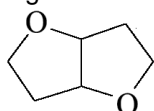


In het reactieschema zijn sommige structuurformules ruimtelijk getekend. In deze structuren komen de bindingen die zijn getekend met uit het vlak van tekening naar voren en de bindingen die zijn getekend met ... lijn achter het vlak van tekening. Door de formules op deze manier weer te geven, wordt onder andere duidelijk dat 1,4-sorbitan en 3,6-sorbitan stereo-isomeren zijn. Maar de gegeven schematische weergave van het molecuul isosorbide kan een misverstand oproepen. Door het molecuul zo weer

te geven, lijkt het alsof het gedeelte  vlak is. Dat geldt wel bij benadering voor elk van

beide vijftringen afzonderlijk, maar de hoek tussen de vlakken van beide vijftringen is niet gelijk aan 180°. Beide vijftringen liggen dus niet in één plat vlak.

- 3 Leg uit dat de hoek tussen de vlakken van beide vijftringen in het gedeelte



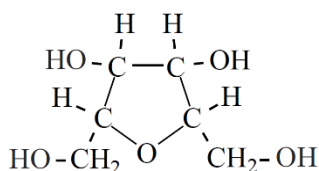
van het isosorbidemolecuul niet gelijk is aan 180°.

De 2 gemeenschappelijke C-atomen tussen de ringen hebben 4 enkele bindingen om zich heen. Een C-atoom met 4 enkelvoudige bindingen heeft een tetraëdrische omringing met bijbehorende bindingshoeken van  $109,5^\circ$ . De hoek tussen de twee vlakken kan dus nooit  $180^\circ$  zijn.

Bij de vorming van 1,4-, 2,5-, en 3,6-sorbitan vindt dehydratatie plaats. De getallen in de voorvoegsels van de namen van deze stoffen geven de nummers aan van de C-atomen van het sorbitolmolecuul waarvan de OH-groepen met elkaar hebben gereageerd.

Met behulp van deze gegevens en de informatie uit de voetnoot kan de structuurformule van 2,5-sorbitan worden afgeleid.

- 4 Geef de structuurformule van 2,5-sorbitan. Teken hierin alle C, H en O-atomen.



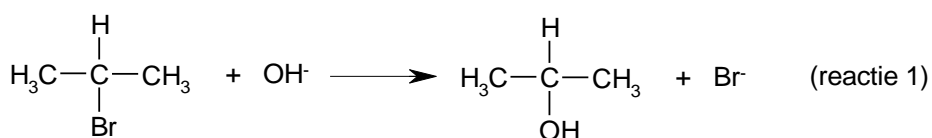
- 5 Leg uit waarom de genoemde verschillen in reactiesnelheid (zie regels 4 tot en met 8) maken dat een goede selectiviteit wordt bereikt bij de beschreven bereiding van de weekmaker. Betrek in je uitleg één of meer gegevens uit het reactieschema.  
*Er kunnen uit de sorbitanen ook esters gevormd worden. Wanneer de (concurrerende) vorming van isosorbide sneller verloopt dan de estervorming, krijgen de esters nauwelijks kans om gevormd te worden.*
- 6 Leg uit waarom starten met relatief weinig alkaanzuur bij de beschreven bereiding van de weekmaker de selectiviteit verhoogt (zie regel 15).  
*Bij een lage concentratie van alkaanzuur is de snelheid van de vorming van ongewenste esters laag en ook de vorming van deze esters gering.*

noot 1 Onder dehydratatie wordt een reactie verstaan waarbij water wordt afgesplitst. In dit geval reageren twee OH-groepen in hetzelfde molecuul met elkaar. Hierbij wordt tevens een cyclische ether gevormd.

## Opgave 6 De reactie van 2-broompropaan met een oplossing van NaOH

Een broomalkaan kan met een oplossing van natriumhydroxide reageren onder vorming van een alkanol en bromide. Om inzicht te krijgen in het mechanisme van een dergelijke reactie wordt vaak een reactiesnelheidsonderzoek uitgevoerd.

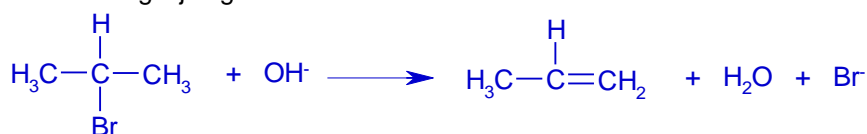
Eén van de reacties die onderzocht is, is de vorming van propaan-2-ol uit 2-broompropaan in basisch milieu:



De snelheid van een reactie kan worden gedefinieerd als de afname van de concentratie van een uitgangsstof per tijdseenheid of als de toename van de concentratie van een reactieproduct per tijdseenheid.

Bij reactie 1 kiest men als definitie de toename van de concentratie van propaan-2-ol per tijdseenheid. In een oplossing van 2-broompropaan en natriumhydroxide treedt naast reactie 1 een reactie op waarbij uit 2-broompropaan propaan ontstaat (reactie 2).

- 1 Geef de vergelijking van reactie 2 in structuurformules.

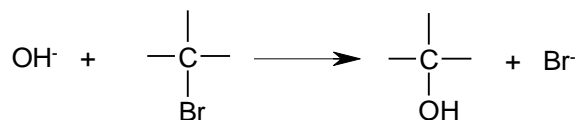


- 2 Leg uit of, gezien het optreden van reactie 2, de snelheid van reactie 1 gedefinieerd kan worden als de afname van  $[\text{OH}^-]$  per tijdseenheid.

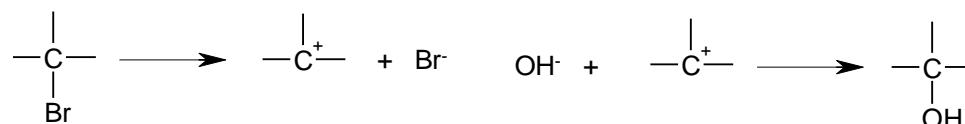
Omdat in reactie 2 worden ook OH<sup>-</sup>-ionen gebruikt, is de afname van [OH<sup>-</sup>] per tijdseenheid niet geschikt als definitie voor de afzonderlijke snelheid van reactie 1

Voor de vorming van alkanolen uit broomalkanen in basisch milieu zijn twee mogelijke mechanismen opgesteld.

Mechanisme I: een hydroxide-ion hecht zich aan een molecuul broomalkaan, en wel aan het koolstofatoom waaraan het broomatoom gebonden is; tegelijkertijd wordt een bromide-ion afgesplitst.



Mechanisme II: eerst splitst een molecuul broomalkaan zich in een bromide-ion en een positief geladen alkylgroep (carboniumion of carbokation); daarna hecht zich een hydroxide-ion aan deze positieve alkylgroep.



Door middel van reactiesnelheidsonderzoek is uit te maken in hoeverre een reactie als reactie 1 verloopt volgens mechanisme I of volgens mechanisme II. Van reacties die volgens mechanisme I verlopen, is de snelheid afhankelijk van zowel de concentratie van het broomalkaan als van de concentratie van hydroxide:

$$s = k [\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{Br}] [\text{OH}^-]$$

Van reacties die volgens mechanisme II verlopen, is de snelheid niet afhankelijk van de concentratie van hydroxide maar wel afhankelijk van de concentratie van het broomalkaan:

$$s = k' [\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{Br}]$$

In de uitdrukkingen voor de reactiesnelheden stellen  $k$  en  $k'$  reactiesnelheidsconstanten voor.

- 3 Leg uit wat men uit bovenstaande kan concluderen ten aanzien van de snelheid van de eerste stap van mechanisme II in vergelijking met de snelheid van de tweede stap van mechanisme II  
Een reactie verloopt zo snel als de langzaamste stap toelaat. Het feit dat de reactiesnelheid onafhankelijk is van de [OH<sup>-</sup>] maakt duidelijk dat de tweede stap niet snelheidsbepalend is, dus blijkbaar veel sneller verloopt dan de eerste stap.

Om na te gaan in hoeverre reactie 1 volgens mechanisme I of volgens mechanisme II verloopt, heeft men twee proeven uitgevoerd met verschillende concentraties van 2-broompropaan en OH<sup>-</sup>, steeds bij dezelfde constante temperatuur.

In onderstaande tabel zijn voor beide proeven de gemeten reactiesnelheden van de vorming van propaan-2-ol volgens reactie 1 opgenomen, samen met de concentraties van 2-broompropaan en OH<sup>-</sup> in de mengsels bij het begin van de twee proeven.

[2-broompropaan] in mol·L <sup>-1</sup>	[OH <sup>-</sup> ] in mol·L <sup>-1</sup>	snelheid van reactie 1 in mol·L <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>
0,10	0,10	6,4 · 10 <sup>-7</sup>
0,050	0,050	2,6 · 10 <sup>-7</sup>

Het resultaat van deze proeven leidt tot de veronderstelling dat bij reactie 1 zowel mechanisme I als mechanisme II een rol speelt.

- 4 Leg dit uit aan de hand van het resultaat van deze proeven.  
Op grond van mechanisme I met  $s = k [\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{Br}] [\text{OH}^-]$  zou halvering van beide concentraties aan het

begin van de proef moeten leiden tot een reactiesnelheid die 4x zo klein is als  $6,4 \cdot 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ .  
Op grond van mechanisme II met  $s = k [\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{Br}]$  zou halvering van beide concentraties moeten leiden tot een aanvangssnelheid van de reactie die slechts 2x zo klein is als  $6,4 \cdot 10^{-7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ;  $[\text{OH}^-]$  heeft hier namelijk geen invloed op de reactie snelheid.

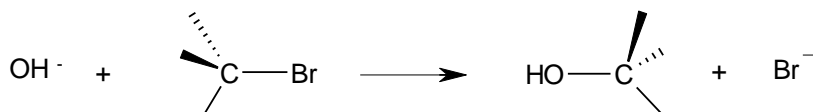
[2-broompropaan] in $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	$[\text{OH}^-]$ in $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	snelheid van reactie 1 in $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$	volgens:
0,10	0,10	$6,4 \cdot 10^{-7}$	werkelijk
0,050	0,050	$1,6 \cdot 10^{-7}$	mechanisme I
0,050	0,050	$3,2 \cdot 10^{-7}$	mechanisme II
0,050	0,050	$2,6 \cdot 10^{-7}$	werkelijk

De werkelijk gevonden waarde voor de reactiesnelheid bij de laagste concentraties ligt in tussen de waarden die voor mechanisme I, respectievelijk mechanisme II voorspeld kunnen worden. Hieruit zou je kunnen concluderen dat beide mechanismen een rol spelen.

(Mechanisme I beschrijft het verloop van een  $\text{S}_{\text{N}}2$ -reactie; mechanisme II beschrijft dat van een  $\text{S}_{\text{N}}1$ -reactie.)

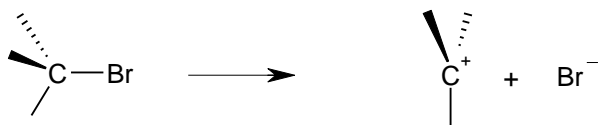
Reacties zoals reactie 1 gaan in de meeste gevallen gepaard met een verandering in de ruimtelijke bouw van de moleculen.

Als zo'n reactie volgens mechanisme I verloopt, zullen de groepen rondom het koolstofatoom waaraan de reactie plaatsvindt "omklappen". De moleculen van het reactieproduct krijgen daardoor een "configuratie" die tegengesteld is aan die van de moleculen van de uitgangsstof:



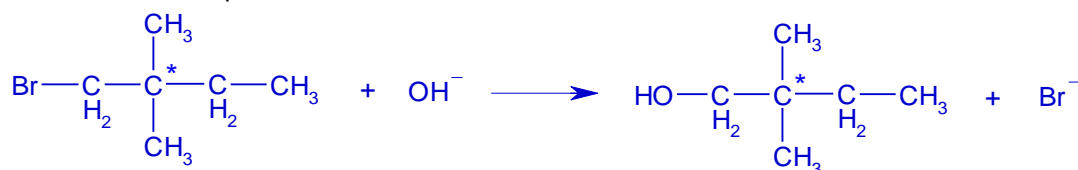
In dit soort tekeningen stelt een streepje een binding voor in het vlak van tekening; - - - - - en stellen bindingen voor die respectievelijk naar achteren en naar voren gericht zijn.

Bij reacties die volgens mechanisme II verlopen, heeft de helft van de moleculen van het reactieproduct een configuratie die tegengesteld is aan die van de moleculen van de uitgangsstof. Men neemt daarom aan dat de tussentijds gevormde positief geladen ionen een vlakke structuur bezitten:



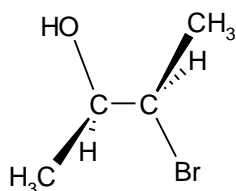
Deze veranderingen in configuratie maken het mogelijk om van reacties van sommige broomalkanen met  $\text{OH}^-$  het mechanisme op te helderen op een andere manier dan door reactiesnelheidsonderzoek. Voert men namelijk een reactie uit van een optisch actief broomalkaan met  $\text{OH}^-$ , dan kan men vaak door meting van de optische activiteit na afloop van de reactie inzicht verkrijgen in het mechanisme van deze reactie.

- 5 Leg uit of men van de reactie van optisch actief 1-broom-2-methylbutaan met  $\text{OH}^-$  op deze wijze het mechanisme kan ophelderen.



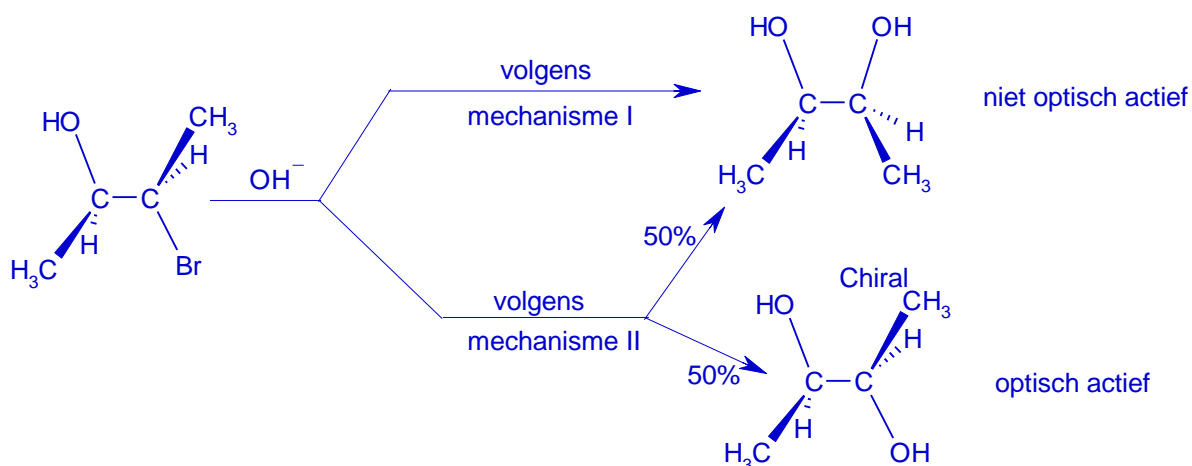
Het mechanisme van deze substitutiereactie kan niet op de beschreven wijze worden opgehelderd, omdat Br niet één van de groepen rond het asymmetrische C-atoom is. De omringing direct rondom C(2) verandert niet door de substitutie, of deze nu via mechanisme I of II verloopt.

Als men 3-broombutaan-2-ol met  $\text{OH}^-$  laat reageren, ontstaat butaan-2,3-diol. Van 3-broombutaan-2-ol zijn vier stereo-isomeren bekend. De structuur van één van die stereo-isomeren hieronder in een ruimtelijke tekening weergegeven.



Deze stereo-isomeer is optisch actief. Na afloop van de reactie van bovengenoemde stereo-isomeer van 3-broombutaan-2-ol met  $\text{OH}^-$  wordt geen optische activiteit waargenomen.

- 6 Leg uit of het verdwijnen van de optische activiteit bij deze reactie verklaard kan worden met behulp van de configuratieverandering volgens mechanisme I.



De getekende stereo-isomeer bevat de twee asymmetrische C-atomen C(2) en C(3). Alleen aan C(3), het meest rechtse van de twee, kan substitutie plaatsvinden waarbij het butaan-2,3-diol ontstaat. Volgens mechanisme I vindt "omklapping" plaats aan C(3) waardoor de rechterkant van het molecuul juist het spiegelbeeld wordt van de linkerkant (inwendig spiegelvlak). Een dergelijk molecuul is niet meer optisch actief, omdat beide helften van het molecuul elkaars optische activiteit opheffen. Het verdwijnen van de optische activiteit is hiermee dus verklaard.

- 7 Leg uit of het verdwijnen van de optische activiteit bij deze reactie verklaard kan worden met behulp van de configuratieverandering volgens mechanisme II.

Bij een substitutiereactie volgens mechanisme II ontstaat er tussentijds een positief ion met een vlakke structuur. Daaruit ontstaan twee configuraties in gelijke hoeveelheden (nadering van het in de langzame stap ontstane carboniumion door  $\text{OH}^-$ -ionen kan van twee kanten).

Volgens dit mechanisme bevat elk molecuul na de reactie nog steeds twee asymmetrisch C-atomen, maar bij slechts de helft van alle moleculen heffen C(2) en C(3) elkaars optische activiteit op. De andere helft bevat twee C-atomen met gelijk gerichte asymmetrie zodat deze elkaars optische activiteit (rechts- dan wel linksdraaiend) versterken.

Het verdwijnen van de optische activiteit kan dus niet met mechanisme II worden verklaard.

Wordt vervolgd.