

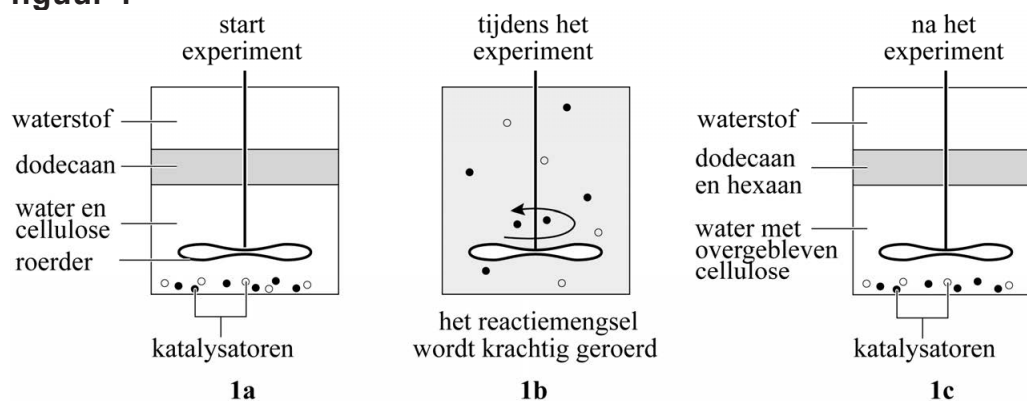
Hexaan uit cellulose

Wereldwijd is er een toenemende aandacht voor het maken van biobrandstoffen uit biomassa. Gelet op duurzaamheid verdient het verbranden van biobrandstoffen de voorkeur boven het verbranden van fossiele brandstoffen. Zo draagt bijvoorbeeld het verbranden van fossiele brandstoffen meer bij aan het versterkt broeikaseffect dan het verbranden van biobrandstoffen.

- 2p 1 Leg uit dat het verbranden van fossiele brandstoffen een grotere bijdrage levert aan het versterkt broeikaseffect dan het verbranden van biobrandstoffen.

Biomassa bestaat voor een groot deel uit cellulose. Onderzoekers hebben ontdekt dat cellulose kan worden omgezet tot hexaan. Dit experiment is vereenvoudigd weergegeven in figuur 1. Een kleine reactor werd gevuld met water, dodecaan ($C_{12}H_{26}$), cellulose, twee verschillende katalysatoren en waterstof (figuur 1a). Het reactiemengsel werd vervolgens gedurende een aantal uren verwarmd, terwijl het krachtig werd geroerd (figuur 1b). Na het experiment werd het reactiemengsel geanalyseerd.

figuur 1



Tijdens het experiment wordt eerst cellulose gehydrolyseerd tot glucose. Vervolgens wordt glucose door een reactie met waterstof omgezet tot hexaan (C_6H_{14}) en water. Na de reactie mengt het gevormde hexaan zich met de laag dodecaan (zie figuur 1c).

Cellulose is een polysaccharide die uitsluitend is opgebouwd uit glucose-eenheden. Op de uitwerkbijlage is de vergelijking van de hydrolyse van het uiteinde van een cellulosemolecuul onvolledig weergegeven.

- 3p 2 Maak op de uitwerkbijlage de reactievergelijking compleet van de hydrolyse van het uiteinde van het gegeven cellulosemolecuul.
- Laat hierbij twee losse moleculen glucose afsplitsen.
 - Gebruik structuurformules.

- 3p 3 Geef de vergelijking in molecuulformules van de reactie van glucose met waterstof tot hexaan en water.

De vloeistoffen water en dodecaan ($C_{12}H_{26}$) mengen niet goed (zie figuur 1a en 1c).

- 2p 4 Geef hiervoor een verklaring aan de hand van de formule van dodecaan.

Bij een experiment werd 0,50 g cellulose in een mengsel van water, dodecaan, waterstof en de twee katalysatoren gebracht. Het ontstane mengsel werd gedurende 12,0 uur geroerd bij een temperatuur van 190 °C. Na 12,0 uur was $2,56 \cdot 10^{-3}$ mol hexaan gevormd.

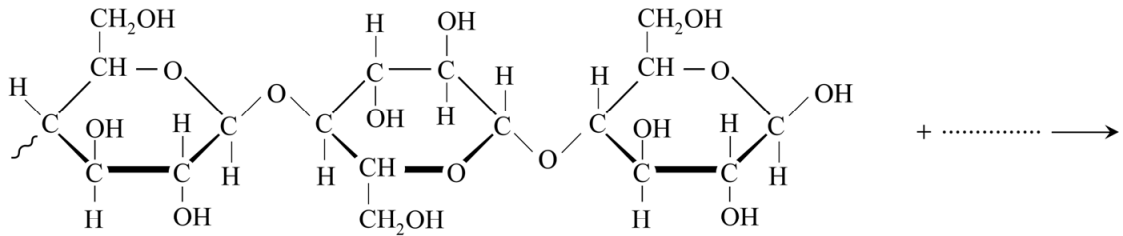
- 3p 5 Bereken de gemiddelde reactiesnelheid, in mol per L water per seconde, waarmee hexaan werd gevormd gedurende de reactietijd van 12,0 uur.
- Neem aan dat bij dit experiment 9,5 mL water is gebruikt.
 - **Geef de uitkomst in het juiste aantal significante cijfers.**

Als de temperatuur bij dit experiment hoger zou zijn dan 190 °C, zouden behalve hexaan ook isomeren van hexaan ontstaan.

- 2p 6 Geef de structuurformules van twee isomeren van hexaan.

uitwerkbijlage

2



..... +

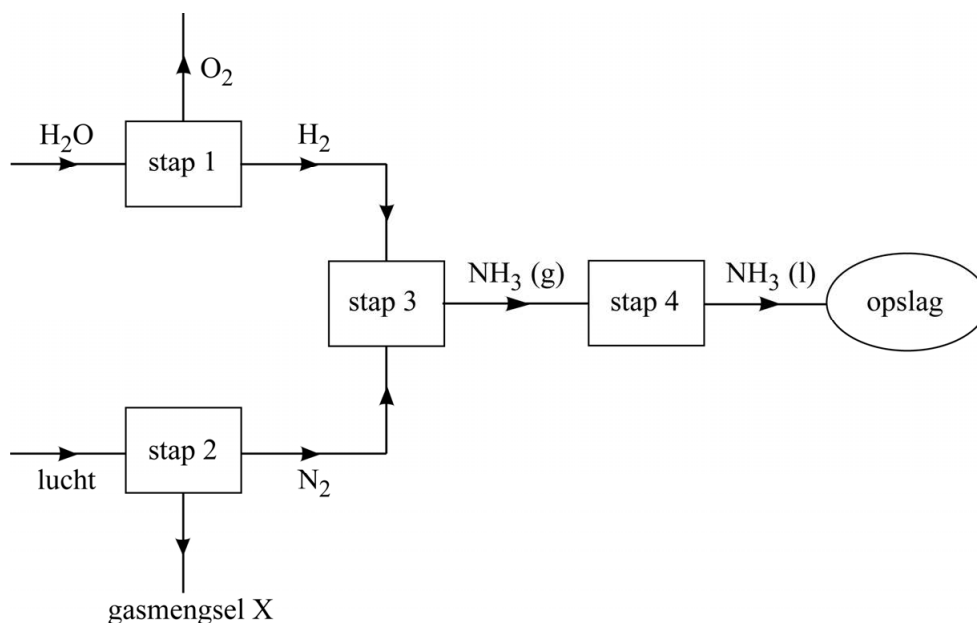
Power-to-ammonia

Wind-energie en zonne-energie kunnen nog niet grootschalig worden opgeslagen in Nederland. Daardoor kunnen deze duurzame energievormen, wanneer er veel wind of zon is, niet altijd optimaal benut worden. Op de Technische Universiteit Delft is onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om de energie-overschotten op te slaan in de vorm van ammoniak (NH_3). Deze manier van energieopslag wordt het 'power-to-ammonia'-proces genoemd en bestaat uit vier stappen:

- Stap 1: in een waterstoffabriek worden wind-energie en zonne-energie gebruikt om water door middel van elektrolyse om te zetten tot waterstof en zuurstof.
- Stap 2: in een luchtscheider wordt stikstof gescheiden van de overige gassen die in lucht voorkomen.
- Stap 3: in een ammoniakfabriek reageert waterstof vervolgens met stikstof tot ammoniakgas.
- Stap 4: ammoniakgas wordt vloeibaar gemaakt en daarna opgeslagen in tanks.

In figuur 1 is het power-to-ammonia-proces met een vereenvoudigd blokschema weergegeven.

figuur 1



2p 7 Geef de vergelijking van de vorming van ammoniakgas (stap 3).

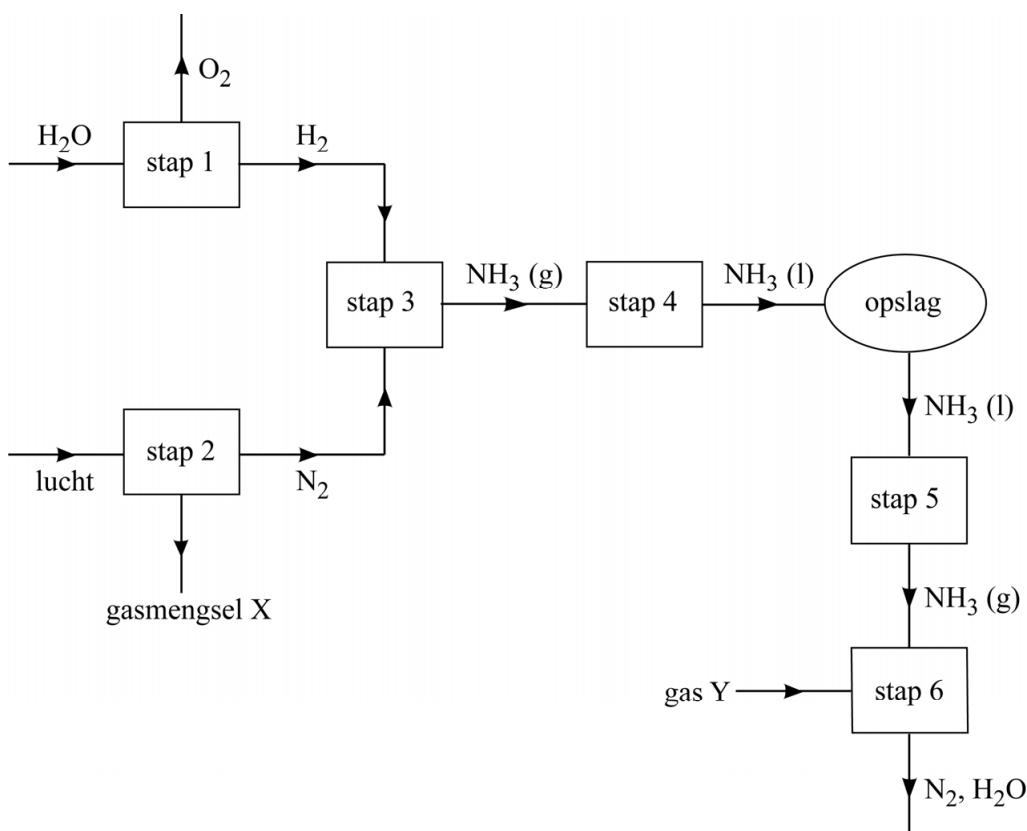
2p 8 Beschrijf op microniveau het vloeibaar worden van ammoniakgas.

In tijden waarin te weinig elektriciteit kan worden opgewekt uit zon of wind kan de opgeslagen ammoniak weer worden omgezet tot energie, door de ammoniak als brandstof te gebruiken in elektriciteitscentrales. Dit verloopt als volgt:

- Stap 5: vloeibare ammoniak wordt gasvormig gemaakt.
- Stap 6: ammoniakgas wordt onder gecontroleerde omstandigheden verbrand tot stikstof en water in een daarvoor geschikte elektriciteitscentrale.

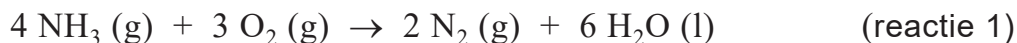
In figuur 2 is het gehele proces met een vereenvoudigd blokschema weergegeven.

figuur 2



- 2p 9 Leg uit of gasmengsel X (stap 2) in plaats van gas Y gebruikt kan worden om de gewenste stoffen in stap 6 te produceren.

Stap 6 vindt plaats onder gecontroleerde omstandigheden, waardoor minder ongewenste bijproducten ontstaan. Deze stap kan netto worden weergegeven met de volgende vergelijking:



De reactiewarmte van reactie 1 is $-3,83 \cdot 10^5$ J per mol NH_3 .

- 1p **10** Geef de formule van een ongewenst bijproduct dat zou kunnen ontstaan bij verbranding van ammoniakgas.
- 3p **11** Laat met een berekening zien dat de reactiewarmte van reactie 1 gelijk is aan $-3,83 \cdot 10^5$ J per mol NH_3 . Gebruik Binas-tabel 57 of ScienceData-tabel 9.2.

In Nederland verbruikt een gemiddeld huishouden per jaar $3,3 \cdot 10^3$ kWh (kilowattuur) aan elektriciteit.

- 4p **12** Bereken hoeveel kg ammoniak moet worden verbrand om $3,3 \cdot 10^3$ kWh aan elektriciteit op te wekken. Gebruik hierbij onder andere de volgende gegevens:
- $1,0 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$.
 - 60 procent van de reactiewarmte van reactie 1 wordt omgezet in elektriciteit.

Waterstof die in stap 1 ontstaat, zou in principe ook als brandstof voor een elektriciteitscentrale kunnen dienen. Toch geeft men kennelijk de voorkeur aan vloeibare ammoniak boven vloeibare waterstof om overtollige wind- en zonne-energie in op te slaan.

- 2p **13** Noem een voordeel van het gebruik van vloeibare ammoniak ten opzichte van het gebruik van vloeibare waterstof voor dit doeleinde. Licht je antwoord toe.

Goede wijn

Wijn kan bederven doordat stoffen in de wijn door micro-organismen worden omgezet. Wijn kan bijvoorbeeld zuur gaan smaken doordat azijnzuurbacteriën, die in wijn aanwezig zijn, ethanol omzetten tot azijnzuur ($C_2H_4O_2$). De reactie die daarbij optreedt, is een redoxreactie waarbij ethanol als reductor reageert.

- 3p 14 Geef de vergelijking in molecuulformules van de halfreactie waarbij ethanol met water wordt omgezet tot azijnzuur en H^+ -ionen.

Aan wijn wordt vaak 'sulfiet' toegevoegd, waarmee onder meer oxidatie, kleur en bacteriegroei tijdens het maken van de wijn worden beïnvloed. De naam sulfiet wordt gebruikt om een aantal zwavelhoudende verbindingen aan te duiden.

De toegestane hoeveelheid sulfiet in wijn is wettelijk geregeld. Een witte wijn bijvoorbeeld, mag maximaal 200 mg sulfiet per liter bevatten.

- 2p 15 Bereken of een persoon die 65 kg weegt door het drinken van twee glazen witte wijn de ADI-waarde van sulfiet overschrijdt. Neem aan dat:
- de ADI-waarde van sulfiet 0,70 mg per kg lichaamsgewicht is;
 - een glas 120 mL witte wijn bevat;
 - de witte wijn 200 mg sulfiet per liter bevat;
 - de persoon behalve het sulfiet uit twee glazen witte wijn, geen ander sulfiet binnenkrijgt.

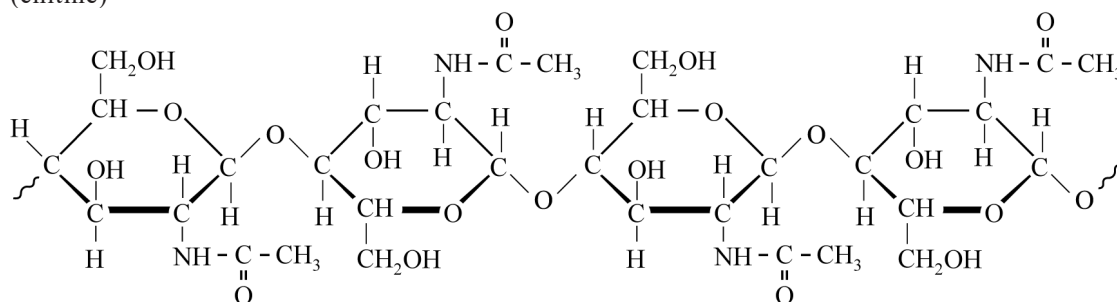
Omdat sulfiet in verband wordt gebracht met gezondheidsklachten, worden alternatieven onderzocht. Een van deze alternatieven is het gebruik van chitosan. Chitosan is een vaste stof die wordt gemaakt door een reactie van chitine met natronloog. In figuur 1 op de volgende bladzijde is de structuurformule van een fragment chitine (fragment-a) en een mogelijke structuurformule van een fragment chitosan (fragment-b) weergegeven.

Bij de reactie van chitine met natronloog worden acetaationen (CH_3COO^-) afgesplitst, waarbij NH_2 -groepen worden gevormd. De reactieomstandigheden bepalen het aantal acetaationen dat van de chitinemoleculen wordt afgesplitst, en daarmee het gemiddelde aantal NH_2 -groepen dat per molecuul chitosan wordt gevormd.

figuur 1

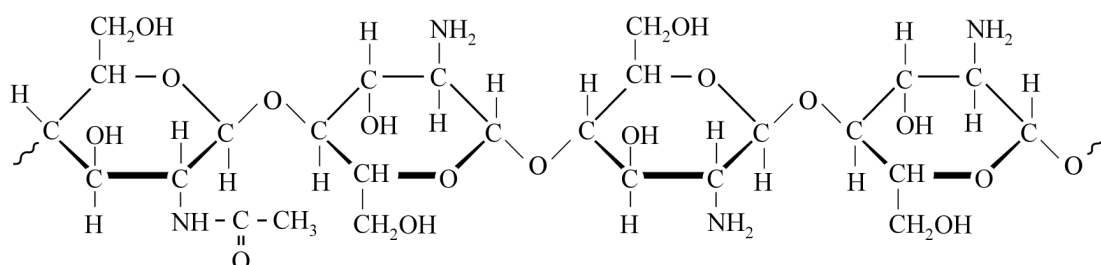
fragment-a

(chitine)



fragment-b

(chitosan)



De reactie waarbij het fragment chitine (fragment-a) met natronloog wordt omgezet tot het fragment chitosan (fragment-b), kan schematisch worden weergegeven als:



Deze vergelijking is nog onvolledig: twee coëfficiënten en één formule (X) ontbreken.

- 2p 16 Neem de onvolledige vergelijking over en vul de ontbrekende gegevens aan.

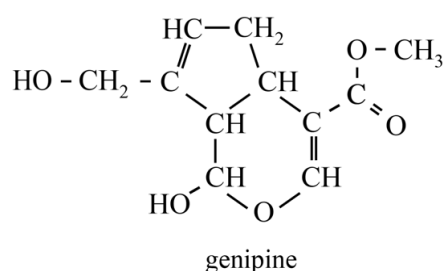
Als de reactie wordt stopgezet zijn nog niet alle mogelijke NH_2 -groepen gevormd.

- 2p 17 Geef twee mogelijke veranderingen in de reactieomstandigheden waardoor de gevormde moleculen chitosan gemiddeld meer NH_2 -groepen kunnen bevatten. Ga ervan uit dat:
- de hoeveelheid chitine steeds gelijk is;
 - de reactie telkens wordt stopgezet na dezelfde reactietijd.

Wijn bestaat voornamelijk uit water, en heeft een pH van ongeveer 3,5.

- 3p 18 Bereken hoeveel mol H^+ is opgelost in 220 L wijn met $\text{pH} = 3,5$.
Geef de uitkomst in het juiste aantal significante cijfers.

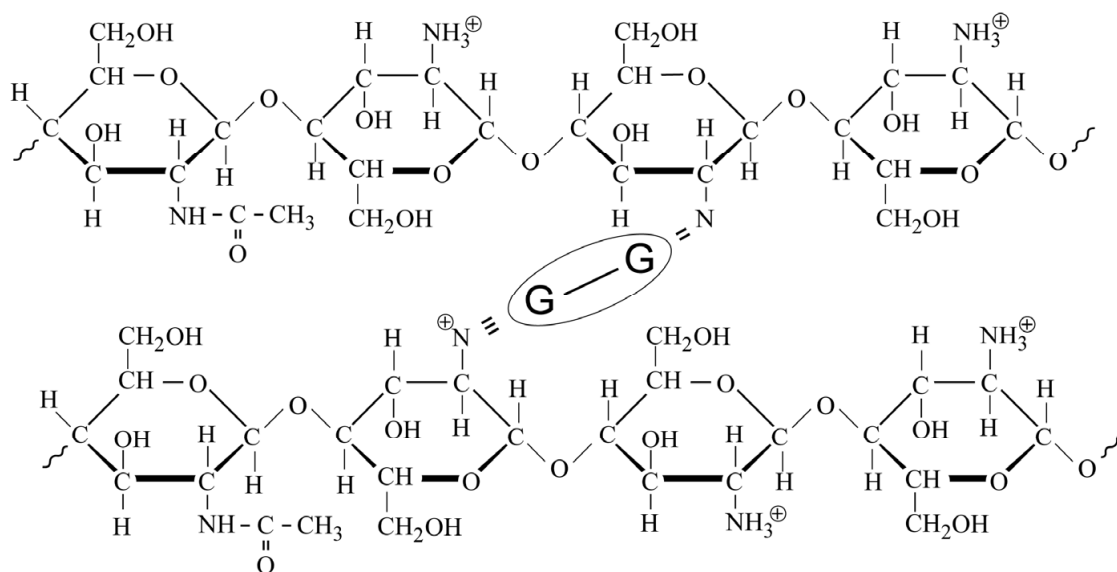
Bij een pH van 3,5 worden de NH_2 -groepen in de moleculen chitosan omgezet tot NH_3^+ -groepen. Door de vorming van NH_3^+ -groepen wordt chitosan oplosbaar in wijn. Om te voorkomen dat het oplost in wijn, wordt chitosan vooraf behandeld met genipine. De structuurformule van genipine is hiernaast weergegeven. Genipine is een ester.



- 2p 19 Geef de structuurformule van de alcohol waaruit door verestering genipine kan worden gevormd.

In figuur 2 is schematisch en vereenvoudigd de structuur weergegeven van chitosan dat is behandeld met genipine. De ketens van chitosan zijn in dit stukje verbonden met twee genipine-eenheden, die met **G** zijn weergegeven.

figuur 2



- 2p 20 Leg uit waarom de oplosbaarheid van chitosan in wijn wordt verlaagd door binding met genipine.

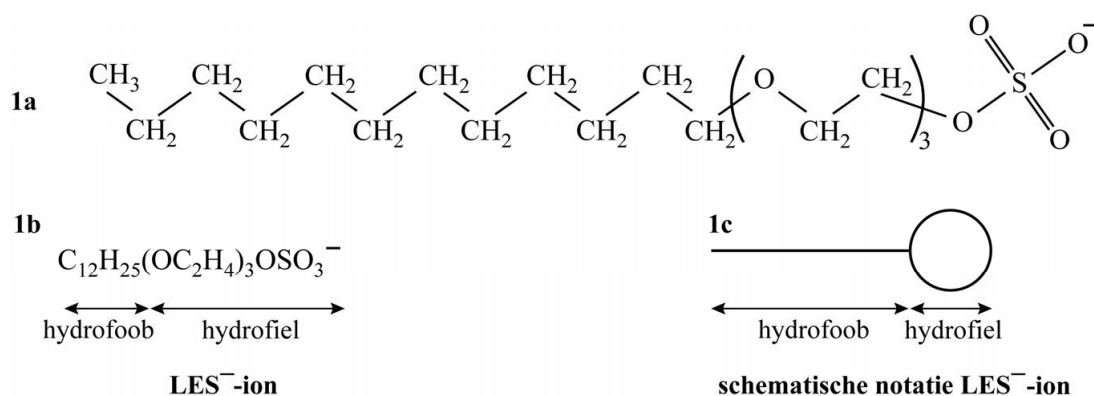
De antibacteriële werking van chitosan blijkt onder meer veroorzaakt te worden doordat chitosan ijzerionen bindt. Ijzerionen zijn van nature in wijn aanwezig en spelen een rol in het functioneren van bepaalde enzymen van de azijnzuurbacteriën. Een enzym is een biokatalysator.

- 2p 21 Geef twee eigenschappen van een enzym die kenmerkend zijn voor het functioneren ervan.

NLES

Natriumlaurylethersulfaat (NLES) is een synthetische zeep die wordt toegepast in textielwasmiddelen en in shampoos. NLES is opgebouwd uit natriumionen en laurylethersulfaat-ionen (LES⁻-ionen). NLES is oplosbaar in water. De reinigende werking van NLES berust op de structuur van LES⁻-ionen. In figuur 1 zijn de structuurformule (figuur 1a), de ion-formule (figuur 1b) en de schematische notatie van het LES⁻-ion (figuur 1c) weergegeven.

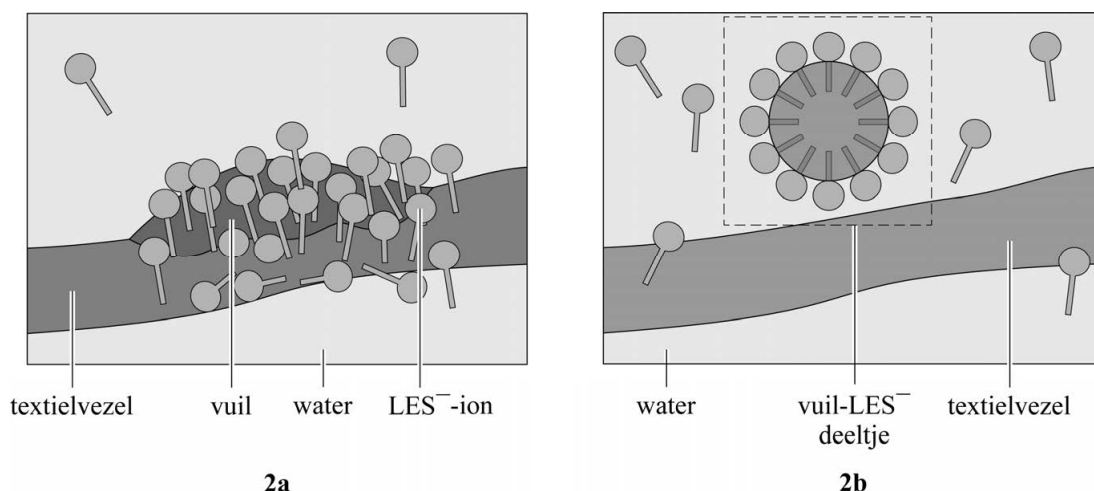
figuur 1



In figuur 2 is de reinigende werking van NLES schematisch weergegeven:

- Een groepje vuilmoleculen dat aanwezig is op een textielvezel wordt omringd door LES⁻-ionen (figuur 2a).
- Het ‘vuil-LES⁻-deeltje’ dat daarbij ontstaat, laat vervolgens los van de textielvezel en gaat tussen de watermoleculen zitten (figuur 2b).

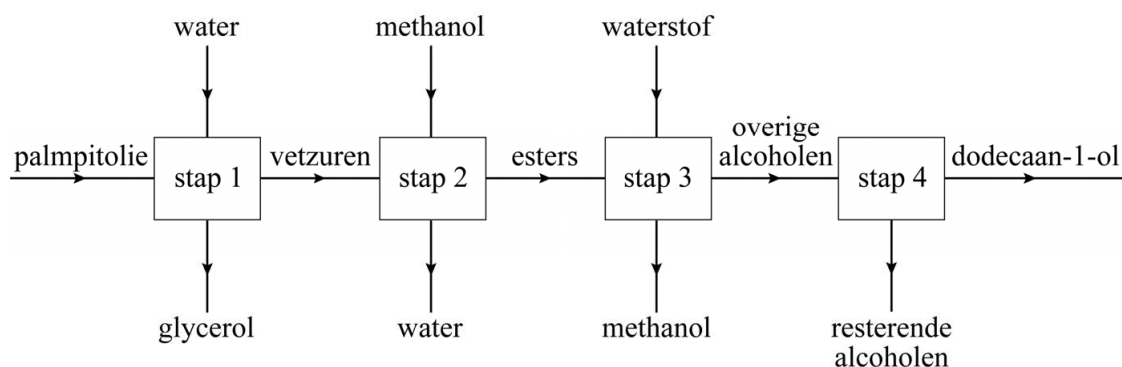
figuur 2



2p 22 Geef de naam van het type binding dat in figuur 2b gevormd is tussen de vuilmoleculen en de LES⁻-ionen. Licht je antwoord toe op microniveau.

NLES kan worden geproduceerd uit palmpitolie. Bij de productie van NLES wordt uit palmpitolie eerst dodecaan-1-ol ($C_{12}H_{25}OH$) gemaakt. Dodecaan-1-ol wordt vervolgens omgezet tot NLES. In figuur 3 zijn de stappen van de productie van dodecaan-1-ol vereenvoudigd in een blokschema weergegeven.

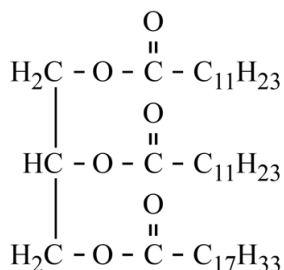
figuur 3



- Stap 1: palmpitolie wordt gehydrolyseerd tot vetzuren en glycerol, waarbij de glycerol wordt afgescheiden.
- Stap 2: de vetzuren worden vervolgens met methanol omgezet tot esters en water. De ontstane waterlaag wordt afgevoerd.
- Stap 3: de esters worden met waterstof omgezet tot alcoholen, waaronder dodecaan-1-ol en methanol. De methanol wordt direct afgescheiden.
- Stap 4: dodecaan-1-ol wordt vervolgens gescheiden van de resterende alcoholen.

In figuur 4 is een voorbeeld van een vet dat in palmpitolie voorkomt in structuurformule weergegeven.

figuur 4



Bij de hydrolyse van dit vet (stap 1) ontstaan glycerol, dodecaanzuur ($C_{12}H_{24}O_2$) en één ander vetzuur.

- 2p **23** Geef de structuurformule van dit andere vetzuur.
Geef het koolwaterstofgedeelte op dezelfde wijze weer als in figuur 4.

De scheiding in stap 4 vindt plaats op basis van verschil in kookpunt.

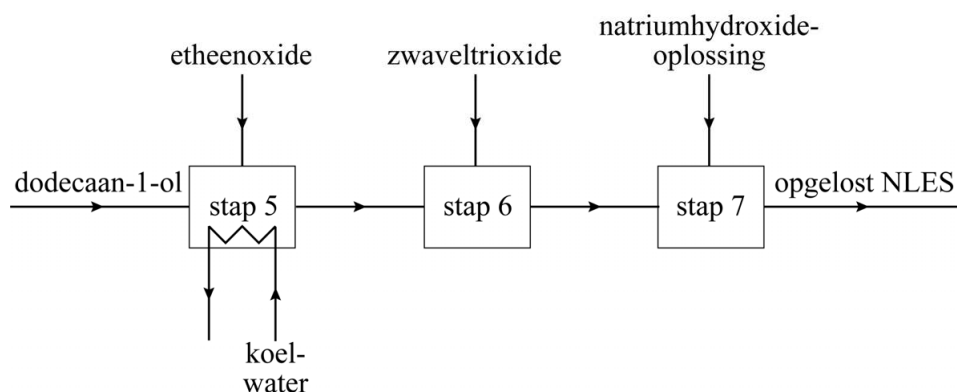
- 1p **24** Geef de naam van de scheidingsmethode die wordt gebruikt in stap 4.

Uitgaande van figuur 3 is het aannemelijk dat bepaalde stoffen worden gerecirculeerd.

- 1p **25** Geef de naam van een van deze stoffen en vermeld de recirculatie. Noteer je antwoord als volgt:
De stof ... wordt na stap ... teruggevoerd naar stap

Dodecaan-1-ol wordt vervolgens omgezet tot NLES. Dit is met een onvolledig blokschema weergegeven in figuur 5.

figuur 5



Stap 5: dodecaan-1-ol reageert met etheenoxide tot lauryletheralcohol volgens $C_{12}H_{25}OH + 3 C_2H_4O \rightarrow C_{12}H_{25}(OC_2H_4)_3OH$.

Stap 6: lauryletheralcohol reageert met zwaveltrioxide tot laurylethersulfonzuur ($C_{12}H_{25}(OC_2H_4)_3OSO_3H$).

Stap 7: laurylethersulfonzuur wordt met een natriumhydroxide-oplossing omgezet tot een oplossing van NLES.

De reactor waarin stap 5 plaatsvindt, wordt op een constante temperatuur gehouden.

- 2p **26** Geef aan of de reactie van stap 5 endotherm of exotherm is. Licht je antwoord toe met een gegeven uit figuur 5.

De vergelijking van de omzetting van laurylethersulfonzuur (stap 7) is als volgt: $C_{12}H_{25}(OC_2H_4)_3OSO_3H + OH^- \rightarrow C_{12}H_{25}(OC_2H_4)_3OSO_3^- + H_2O$

- 2p **27** Leg uit, aan de hand van formules in deze vergelijking, dat deze omzetting van laurylethersulfonzuur een zuur-basereactie is.

3p **28** Bereken hoeveel ton palmpitolie minimaal nodig is voor de productie van 1,0 ton NLES.

Gebruik de volgende gegevens:

- 1,0 ton = $1,0 \cdot 10^3$ kg.
- De molaire massa van NLES is 421 g mol^{-1} .
- Uit 2,0 mol palmpitolie ontstaat 3,0 mol NLES.
- De (gemiddelde) molaire massa van palmpitolie is 710 g mol^{-1} .

Nordic gold

De munten van 10, 20 en 50 eurocent zijn gemaakt van 'Nordic gold'. Dit materiaal is een legering van koper, aluminium, zink en tin.

In tabel 1 staan enkele gegevens van de atoomsoorten in Nordic gold.

tabel 1

symbool	massapercentage in Nordic gold (%)	gemiddelde atoommassa (u)	atoomdiameter (10^{-12} m)
Cu	89	63,5	256
Al	5,0	27,0	286
Zn	5,0	65,4	266
Sn	1,0	119	324

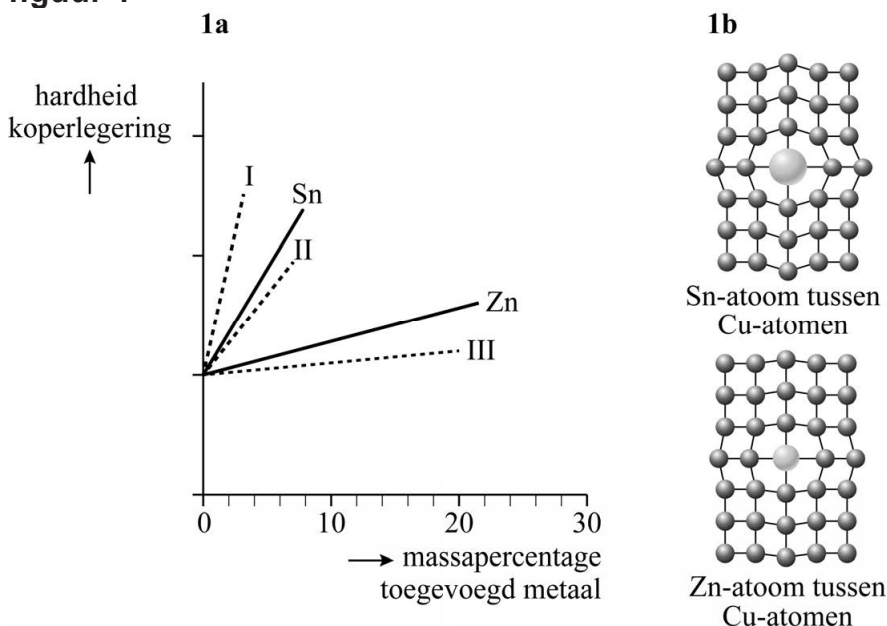
- 2p **29** Bereken de molverhouding Cu : Al in Nordic gold.
- Ga in je berekening uit van 100 g Nordic gold.
 - Noteer de uitkomst als Cu : Al = ... : 1,0.

Nordic gold heeft een specifieke samenstelling en daarmee een specifiek elektrische-geleidingsvermogen. Het elektrische-geleidingsvermogen kan gebruikt worden voor de herkenning van munten in muntgeldautomaten. Dit geleidingsvermogen is een gevolg van de aanwezigheid van beweeglijke geladen deeltjes.

- 1p **30** Geef de naam van de beweeglijke geladen deeltjes in Nordic gold.

Nordic gold is harder and more difficult to deform than pure copper. This is caused among other things by the microstructure of Nordic gold. The hardness is determined by the atomic diameter of the added metal atoms. The influence of the tin atoms and the zinc atoms on the hardness is given in figure 1a. Also schematically given is how a Sn atom and a Zn atom are located between the Cu atoms (figure 1b).

figuur 1



In figure 1b is the influence of the atomic diameter of the added metal atoms on the lattice to be seen. The atoms are connected by lines. This is actually an incorrect representation of the type of bonding between the atoms in Nordic gold. The lines in figure 1b are not real bonding lines as they are used in structural formulas of molecular substances, but they do give an interaction between the atoms from which this alloy is composed.

- 2p 31 Geef de naam van het bindingstype dat in structuurformules van moleculaire stoffen wordt weergegeven met een bindingsstreepje **en** geef de naam van het bindingstype dat aanwezig is in Nordic gold.
 Noteer je antwoord als volgt:
 bindingstype bindingsstreepje in structuurformules: ...
 bindingstype in Nordic gold: ...

Een van de lijnen I, II en III in figure 1a geeft de invloed van aluminiumatomen op de hardheid van een koperlegering weer.

- 2p 32 Leg uit, met behulp van de gegeven atoomdiameters in tabel 1 **en** met figure 1, welke lijn (I, II of III) de invloed van de aluminiumatomen op de hardheid van een koperlegering kan weergeven. Laat eventuele interacties tussen Al-, Zn- en Sn-atomen buiten beschouwing.

Aan het oppervlak van de munten kan corrosie plaatsvinden, waardoor geoxideerd koper in de vorm van koper(I)oxide (Cu_2O) en geoxideerd aluminium (aluminiumoxide) kunnen ontstaan. Doordat aluminium minder edel is dan koper oxideert het eerder dan koper. Geoxideerd aluminium beperkt de corrosiegevoeligheid van Nordic gold.

- 1p **33** Geef aan waardoor geoxideerd aluminium de corrosiegevoeligheid van Nordic gold beperkt.
- 2p **34** Geef aan of voor de omzetting van koper tot Cu_2O een oxidator of een reductor nodig is. Licht je antwoord toe aan de hand van het verschil tussen de koperdeeltjes in koper en de koperdeeltjes in Cu_2O .

Koperlegeringen hebben een antibacteriële werking, die onder meer veroorzaakt wordt door de volgende twee reacties:



Waterstofperoxide (H_2O_2), dat ontstaan is bij reactie 1, beschadigt de celmembranen van bacteriën. Bij reactie 1 ontstaan ook Cu^{2+} -ionen. Cu^{2+} -ionen reageren met de SH-groepen in eiwitten van bacteriën (reactie 2). In de vergelijking van deze reactie is het eiwit weergegeven met R-SH. Uiteindelijk sterven bacteriën als gevolg van de opgelopen schade.

- 2p **35** Geef het aantal protonen en het aantal elektronen in een Cu^{2+} -ion. Noteer je antwoord als volgt:
aantal protonen: ...
aantal elektronen: ...
- 1p **36** Geef de naam van de aminozuureenheid die kan reageren volgens reactie 2. Maak gebruik van Binas-tabel 67H1 of ScienceData-tabel 13.7c.
- 2p **37** Tel reacties 1 en 2 bij elkaar op en licht toe uit dat uit de totale reactie blijkt dat de Cu^+ -ionen niet opraken. Neem aan dat uitsluitend de reacties 1 en 2 plaatsvinden.