

# examen bundel

Meer dan alleen oefenexamens

Nu bij je boek  
**mijn.examenbundel.nl**  
Online oefenen, video's en meer

**2024|2025**

vwo

**Scheikunde**



#

**examen  
bundel®**

Slim leren, zeker slagen

**BESTEL  
MET  
STAPEL-  
KORTING!**

#

#

# Slim leren, zeker slagen met Examenbundel!

#

!

Oefenopgaven, samenvattingen, woordjes, examentips en inspiratie: op [examenbundel.nl](http://examenbundel.nl) vind je alles om je optimaal voor te bereiden op je examens.

{}

#ikgazekerslagen #geenexamenstress [examenbundel.nl](http://examenbundel.nl)

[examenbundel.nl](https://examenbundel.nl)

# examen bundel



Meer dan alleen oefenexamens

**2024 | 2025**

J.R. van der Vecht  
T.H.J. Heutmakers

vwo

**Scheikunde**



## Colofon

### Auteurs

J.R. van der Vecht  
T.H.J. Heutmakers

### Vormgeving binnenwerk

Maura van Wermeskerken, Apeldoorn

### Opmaak

Crius Group, Hulshout

### Redactie

Lineke Pijnappels, Tilburg

### Over ThiemeMeulenhoff

ThiemeMeulenhoff ontwikkelt slimme flexibele leeroplossingen met een persoonlijke aanpak. Voor elk niveau en elke manier van leren. Want niemand is hetzelfde.

We combineren onze kennis van content, leerontwerp en technologie, met onze energie voor vernieuwing. Om met en voor onderwijsprofessionals grenzen te verleggen. Zo zijn we samen de motor voor verandering in het primair, voortgezet en beroepsonderwijs.

### Samen leren vernieuwen.

[www.thiememeulenhoff.nl](http://www.thiememeulenhoff.nl)

Boek ISBN 978 90 06 48683 4  
Pakket ISBN 978 90 06 37398 1  
Eerste druk, eerste oplage, 2024

©ThiemeMeulenhoff, Amersfoort, 2024

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voor zover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16B Auteurswet 1912 j° het Besluit van 23 augustus 1985, Stbl. 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor wettelijk verschuldigde vergoedingen te voldoen aan Stichting Publicatie- en Reproductierechten Organisatie (PRO), Postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp ([www.stichting-pro.nl](http://www.stichting-pro.nl)). Voor het overnemen van gedeelte(n) uit deze uitgave in bloemlezingen, readers en andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet) dient men zich tot de uitgever te wenden. Voor meer informatie over het gebruik van muziek, film en het maken van kopieën in het onderwijs zie [www.auteursrechtenonderwijs.nl](http://www.auteursrechtenonderwijs.nl).

De uitgever heeft ernaar gestreefd de auteursrechten te regelen volgens de wettelijke bepalingen. Degenen die desondanks menen zekere rechten te kunnen doen gelden, kunnen zich alsnog tot de uitgever wenden.

Deze uitgave is volledig CO<sub>2</sub>-neutraal geproduceerd.

Het voor deze uitgave gebruikte papier is voorzien van het FSC®-keurmerk.

Dit betekent dat de bosbouw op een verantwoorde wijze heeft plaatsgevonden.

# Zo werk je met deze Examenbundel

De eerste stap om vol vertrouwen je examen voor dit vak in te gaan heb je gezet! Deze Examenbundel is namelijk de beste voorbereiding, omdat je oefent met echte examenopgaven. Kijk hoe het werkt.

## De indeling van het boek

Je Examenbundel bestaat uit verschillende delen:

- **De oriëntatietoets:** krijg snel een eerste indruk hoe je scoort op de verschillende examenonderwerpen.
- **Deel 1 - Oefenen op onderwerp:** oefen gericht met examenopgaven over de onderwerpen die jij lastig vindt.
- **Deel 2a - Examens met uitwerkingen:** oefen met hele examens met heldere uitleg van onze ervaren examendocenten.
- **Deel 2b - Examen 2024-I:** doe de generale repetitie voor het echte examen. De antwoorden en uitwerkingen staan op [mijnexamenbundel.nl](http://mijnexamenbundel.nl).

### Hints en uitwerkingen

#### HINTS

Weet je niet hoe je een vraag moet aanpakken? Dan zijn er hints om je op weg te helpen.

#### UITWERKINGEN

Kijk de vragen na met de uitwerkingen. Daarin staat het juiste antwoord. Maar belangrijker: je krijgt duidelijke uitleg waarom dit het juiste antwoord is en hoe je daar komt.

Zo oefen je én leer je tegelijk!

## Online oefenen met Mijn Examenbundel

Bij dit boek hoort een online omgeving: [mijnexamenbundel.nl](http://mijnexamenbundel.nl). Het boek en Mijn Examenbundel werken met elkaar samen.



Maak de balans op



Leren en oefenen



Ook handig



#### Boek

- oriëntatietoets maken
- hele examens maken

- examenopgaven oefenen per onderwerp

- onderwerpregister

#### Mijn Examenbundel

- nakijken oriëntatietoets
- nakijken hele examens

*Je scores worden bewaard!*

- uitlegvideo's per onderwerp
- extra examenopgaven per onderwerp

*Je ziet je voortgang!*

- overzicht van de examenstof
- hulpmiddelen
- examentips

*Alle belangrijke info bij elkaar!*

Om optimaal gebruik te maken van boek én website, verwijst het boek op handige plekken naar [mijnexamenbundel.nl](http://mijnexamenbundel.nl).

#### Voorbeeld



Wil je weten hoe je de toets hebt gemaakt? De antwoorden staan op [mijnexamenbundel.nl](http://mijnexamenbundel.nl). Vul je punten in en bekijk je score per onderwerp.  
Je scores worden bewaard.



#### Activeer direct je code voor Mijn Examenbundel

Ga nu naar [mijnexamenbundel.nl](http://mijnexamenbundel.nl) en maak meteen je account aan. Met de activatiecode die je per mail hebt ontvangen of via de ELO van je school, heb je toegang tot alle extra's die bij je boek horen.

#### Gebruik ook Samengevat

Wil jij je nog beter voorbereiden op het eindexamen? Combineer **Examenbundel** dan met **Samengevat** - alle examenstof kort en bondig in één boek.

#### Heel veel succes!

Namens team Examenbundel heel veel succes met je examens! #slimlereniszekerslagen

Heb je een vraag of opmerking over deze Examenbundel? Ga dan naar [examenbundel.nl/contact](http://examenbundel.nl/contact).

#### Opmerking

De overheid stelt de regels op voor het examen. Bijvoorbeeld wat de examenonderwerpen zijn, welke hulpmiddelen je mag gebruiken en wanneer het examen is. De auteurs en uitgever hebben deze Examenbundel met grote zorg samengesteld. Soms veranderen de regels van de overheid echter of worden er nieuwe afspraken gemaakt over wat die regels betekenen. Raadpleeg daarom altijd je docent of onze website [www.examenbundel.nl](http://www.examenbundel.nl) voor actuele informatie die voor jouw examen van belang is.

## Inhoud

### 7 Tips: hoe maak je examenopgaven bij scheikunde?

## Oriëntatietoets

11 Opgaven

### Deel 1

## Oefenen op onderwerp

### 1 Van atomen naar stoffen

21 Opgaven

30 Hints – uitwerkingen

### 2 Reacties en reactieomstandigheden

36 Opgaven

46 Hints – uitwerkingen

### 3 Zuur-basereacties

54 Opgaven

62 Hints – uitwerkingen

### 4 Redoxreacties

68 Opgaven

78 Hints – uitwerkingen

### 5 Koolstofchemie

84 Opgaven

98 Hints – uitwerkingen

### 6 Chemie van het leven (biochemie)

106 Opgaven

116 Hints – uitwerkingen

### 7 Chemische industrie en milieu

122 Opgaven

131 Hints – uitwerkingen

### 8 Analysemethoden en vaardigheden

138 Opgaven

150 Hints – uitwerkingen

### Deel 2a

## Examens met uitwerkingen

### Examen 2021-I

159 Opgaven

168 Hints – uitwerkingen

### Examen 2021-II

173 Opgaven

184 Hints – uitwerkingen

### Examen 2022-I

190 Opgaven

201 Hints – uitwerkingen

### Examen 2022-II

207 Opgaven

215 Hints – uitwerkingen

### Examen 2023-I

220 Opgaven

228 Hints – uitwerkingen

### Examen 2023-II

234 Opgaven

243 Hints – uitwerkingen

### Deel 2b

## Examen 2024-I

### Examen 2024-I

251 Opgaven

## Bijlagen

Cijferbepaling  
Onderwerpregister



## Tips: hoe maak je examenopgaven bij scheikunde?

Bij het op de juiste manier oplossen van een probleem doorloop je in het algemeen drie stappen: de voorbereiding, de uitvoering en de controle.

### Voorbereiding



- Kijk eerst vluchtig alle opgaven door en begin met de opgaven die je vertrouwd voorkomen.
- Ga na hoeveel tijd gemiddeld beschikbaar is per opgave. Probeer te voorkomen dat je te lang met een bepaalde vraag bezig blijft en daardoor weinig punten scoort bij andere vragen.
- Lees de tekst van de gekozen opgave rustig en nauwkeurig. Onderstreep of markeer hierbij aanwijzingen, begrippen, formules, getallen e.d. die van belang kunnen zijn. Deze informatie is dan bij het beantwoorden van de vragen snel terug te vinden.
- Lees elke vraag nauwkeurig en ga na welke informatie je nodig denkt te hebben om de vraag te kunnen beantwoorden. Zoek die informatie op in de tekst van de opgave of in Binas of ScienceData.
- Bepaal welke tussenstappen je bij de beantwoording van de vraag zult moeten maken. Deze worden bepaald door het 'gat' dat er zit tussen de gegevens en het gevraagde. Je kunt daarbij zowel van de gegevens als van het gevraagde uitgaan.
- Begin pas aan de uitvoering, wanneer je de aanpak van het vraagstuk overziet.

### Uitvoering



- Reserveer op je papier voor elke opgave voldoende ruimte. Je werk wordt daardoor overzichtelijker en je kunt je antwoord makkelijker aanvullen.
- Schrijf alle tussenstappen overzichtelijk op, zodat zichtbaar wordt hoe je tot je antwoord bent gekomen.
- Indien om uitleg wordt gevraagd, mag die niet ontbreken.
- Schrijf bij twijfel altijd iets op (behalve als je zelf al kunt beoordelen dat je antwoord nergens op slaat).

### Controle



- Lees de vraag nog eens over. Is hij volledig beantwoord?
- Vind je het gevonden antwoord zinnig (klopt bv. de orde van grootte)?  
Zo niet, probeer je denk- of rekenfout op te sporen of maak daarover tenminste een opmerking.
- Is de juiste eenheid vermeld?
- Is de afronding van een verkregen waarde in overeenstemming met de vraagstelling?  
Let op het juiste aantal significante cijfers.





## Oriëntatietoets

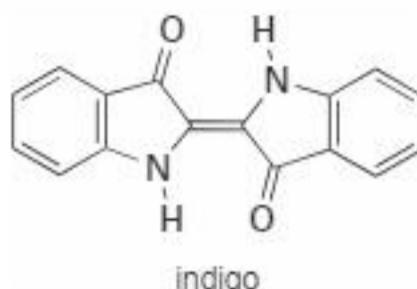
Hoe zou je het nu al doen op een examen? De oriëntatietoets geeft je een eerste indruk.





### Blauwe Luier Syndroom

In 1960 werd in de Verenigde Staten een zieke baby in het ziekenhuis opgenomen. Heel bijzonder was dat de urineplekken in de luiers van deze baby soms blauw waren. De behandelende artsen vermoedden dat de luiers blauw waren door de aanwezigheid van de stof indigo in de luiers.



Om vast te kunnen te stellen of de blauwe stof inderdaad indigo was, moest de blauwe stof geïsoleerd worden.

Hierbij werd de volgende werkwijze gehanteerd:

- de blauwe luiers werden gespoeld met aceton (propanon);
- door de verkregen vloeistof in te dampen werd een blauwe vaste stof verkregen;
- de blauwe stof werd vervolgens gemengd met water tot een suspensie;
- de verkregen suspensie werd door een filter geschonken en nog drie keer met water gewassen;
- uiteindelijk werd de overgebleven blauwe vaste stof gedroogd.

In het hierboven beschreven proces is gebruikgemaakt van meerdere scheidingsmethoden.

- 3p 1 Geef de naam van elke gebruikte scheidingsmethode en geef voor elke scheidingsmethode één voorbeeld uit de tekst.

In de beschreven werkwijze wordt gebruikgemaakt van het feit dat indigo slecht oplost in water. In een discussie met haar leraar, zegt Marian dat ze dit gek vindt. Ze had op grond van de structuurformule verwacht dat indigo wel oplosbaar in water zou zijn.

- 2p 2 Noem een argument dat Marian kan gebruiken om aannemelijk te maken dat indigo oplosbaar is in water. Geef aan met welk argument de leraar duidelijk kan maken dat indigo niet oplosbaar is in water.

Noteer je antwoord als volgt:

Argument Marian: ...

Argument leraar: ...

Toen de blauwe stof inderdaad indigo bleek te zijn, vermoedden de artsen dat het hier ging om het zogenoemde Blauwe Luier Syndroom.

De ziekte (BDS) kenmerkt zich door een ongebruikelijke afbraak van het tryptofaan.

Eén van afbraakproducten van tryptofaan is het zogenoemde indol-3-azijnzuur.

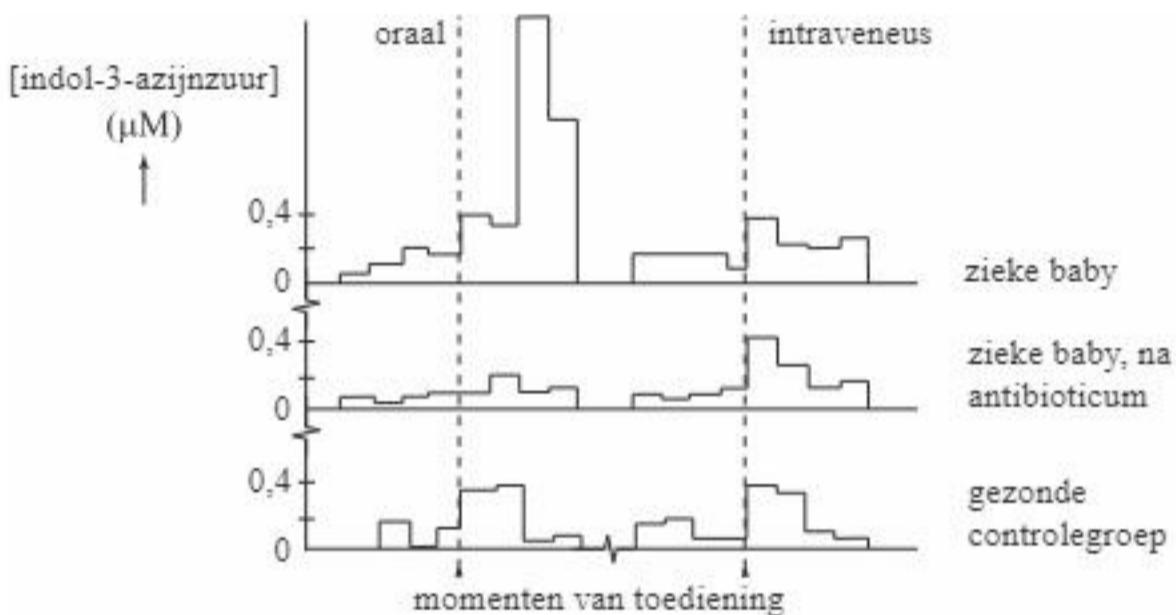
Bij BDS komt deze stof in afwijkende concentraties voor in de urine. Om vast te stellen of urine van het zieke kind inderdaad indol-3-azijnzuur bevatte, werd een chromatografieproef uitgevoerd.

- 2p 3 Beschrijf hoe je door middel van chromatografie kunt aantonen dat indol-3-azijnzuur in urine voorkomt. Geef ook aan waaruit blijkt dat in de onderzochte urine inderdaad indol-3-azijnzuur voorkomt.

Bij gezonde mensen worden eiwitten in de maag en in de darmen gehydrolyseerd, waarbij losse aminozuren ontstaan. Vanuit de darmen worden de aminozuren deels opgenomen in het bloed. Een deel dat niet opgenomen wordt, wordt door bacteriën omgezet. De in het bloed opgenomen aminozuren worden gebruikt voor de eiwitsynthese.

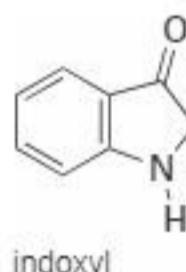
Overtollige aminozuren worden in de lever omgezet. De afbraakproducten worden uitgescheiden via de urine.

Om te onderzoeken in welke fase van de spijsvertering een afwijking optreedt, werd een test opgezet. In de test kreeg een zieke baby oraal (via de mond) tryptofaan toegediend. Op een later tijdstip kreeg de baby intraveneus (rechtstreeks in het bloed) tryptofaan toegediend. Deze test werd ook bij een controlegroep uitgevoerd. Deze test werd herhaald nadat de zieke baby vier dagen lang een antibioticum had geslikt. Het antibioticum doodt alle bacteriën in de darm. In de urine van de baby's werd de concentratie van indol-3-azijnzuur gemeten. De urine van alle baby's werd verzameld van 24 uur voor tot 24 uur na de toediening van tryptofaan. Hieronder staan de resultaten van de test weergegeven.



- 2p 4 Leg aan de hand van de onderzoeksresultaten uit of de afwijkende omzetting van tryptofaan tot indol-3-azijnzuur in de darmen of in de lever van de zieke baby plaatsvindt.

Omdat de blauwe kleur vaak niet meteen ontstond, maar pas als de luier enige tijd aan de lucht was blootgesteld, was de aanname dat indigo ontstaat uit in de urine aanwezig indoxyl. Indoxyl is bij BDS het belangrijkste afbraakproduct van tryptofaan.



- 3p 5 Geef de vergelijking van de halfreactie waarbij indoxyl wordt omgezet tot indigo. In de vergelijking van deze halfreactie komt onder andere ook  $H^+$  voor. Gebruik in de vergelijking bovenstaande weergaves van indoxyl en indigo.
- 1p 6 Geef aan waarom de luiers pas blauw kleurden nadat ze aan de lucht waren blootgesteld.

## Grensvlakpolymerisatie

De kunststof lexaan wordt toegepast als coating van cd's en bijvoorbeeld als materiaal voor het venster in skibrillen. Lexaan is een zogeheten polycarbonaat. Lexaan wordt gemaakt uit twee monomeren. Eén van de monomeren van lexaan is het gas fosgeen ( $\text{COCl}_2$ ). Fosgeen is een zeer giftig zenuwgas en wordt daarom niet in grote hoeveelheden opgeslagen voor gebruik, maar ter plekke gemaakt uit chloor en koolstofmonoóxide.

In de bijlage die bij deze opgave hoort, is een vereenvoudigd en onvolledig blokschema voor de productie van lexaan weergegeven (zie na vraag 11).

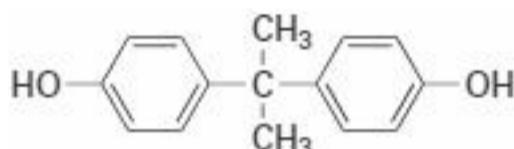
In reactor 1 (R1) laat men een overmaat koolstofmonoóxide reageren met chloor. Het chloor reageert hierbij volledig.

- 2p** 7 Laat met een berekening zien of R1 moet worden verwarmd of gekoeld.  
De vormingswarmte van fosgeen bedraagt  $-2,23 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ .

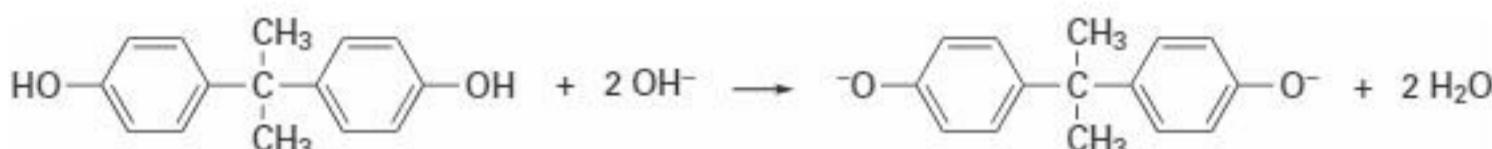
Het gevormde fosgeen wordt vervolgens gescheiden van de overmaat koolstofmonoóxide in scheidingsruimte S1. Fosgeen wordt onderin reactor R2 geleid. R2 bevat twee vloeistoffen die niet met elkaar mengen. De bovenste laag is natronloog.

De onderste laag bevat dichloormethaan ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ).

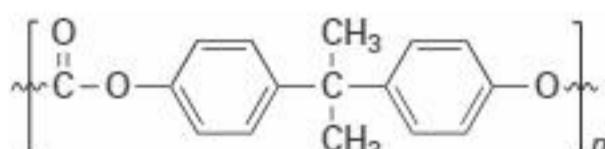
Behalve fosgeen wordt als grondstof voor lexaan bisfenol-A gebruikt, waarvan de structuurformule hieronder is weergegeven.



Bisfenol-A wordt bovenin R2 gebracht. Bisfenol-A reageert met het aanwezige natronloog tot bisfenolaationen, zoals hieronder is weergegeven.



De bisfenolaationen reageren vervolgens aan het grensvlak van beide vloeistoffen met fosgeen tot lexaan. Hieronder is een gedeelte van een polymeerketen van lexaan weergegeven.



De atoomeconomie, ook wel atoomefficiëntie genoemd, van de vorming van lexaan uit de grondstoffen, kan worden berekend op basis van de reacties die in R2 verlopen. Hierbij is onder andere de molecuulformule van de repeterende eenheid van lexaan nodig.

- 3p** 8 Geef de beide reacties die verlopen in R2 in één vergelijking weer.  
Gebruik molecuulformules voor de organische stoffen.
- 2p** 9 Bereken de atoomeconomie van de vorming van lexaan in R2.  
De molaire massa van bisfenol-A bedraagt  $228,3 \text{ g mol}^{-1}$ .

Voor bepaalde toepassingen wordt een variant van het polymeer lexaan geproduceerd. Als aan R2 een bepaald percentage benzeen-1,3,5-triol wordt toegevoegd, ontstaat een netwerkpolymeer.

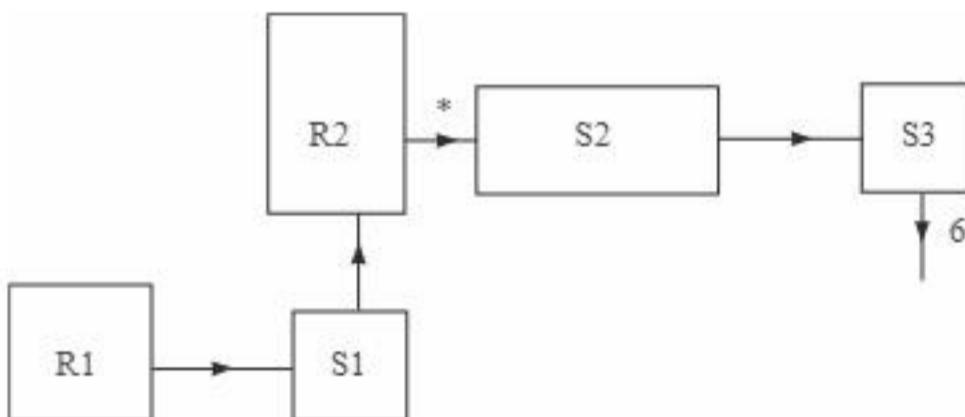
- 2p 10 Leg uit dat een netwerkpolymeer zal ontstaan als benzeen-1,3,5-triol in R2 wordt toegevoegd.

In scheidingsruimte S2 wordt het mengsel afkomstig van R2 gewassen met water. Hierbij worden het overgebleven bisfenol-A en natronloog afgescheiden van het lexaan en dichloormethaan. In S3 wordt lexaan ten slotte gescheiden van dichloormethaan. De overige stoffen afkomstig uit S2 worden opgeslagen.

- 4p 11 Maak het blokschema in de bijlage compleet.
- Noteer ontbrekende pijlen en ontbrekende stoffen bij de pijlen. Houd daarbij rekening met hergebruik van stoffen. Hergebruik van de uit S2 afkomstige overige stoffen hoeft niet te worden aangegeven.
  - Bij de stofstroom aangeduid met een \* hoef je niets in te vullen.
  - Geef de stofstromen in het schema weer met de volgende cijfers:

1 bisfenol-A / bisfenolaat	6 lexaan
2 chloor	7 natronloog
3 dichloormethaan	8 water
4 fosgeen	9 opgelost natriumchloride
5 koolstofmonoóxide	
  - Cijfers voor de verschillende stofstromen kunnen meerdere malen voorkomen.

#### bijlage bij vraag 11

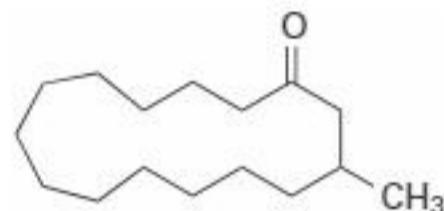


## Nitromusks

Muskus is een belangrijke geur die onderdeel uitmaakt van vrijwel alle parfums. Al voor het begin van onze jaartelling werd er gehandeld in muskus. Door het geringe aanbod was natuurlijke muskus altijd uiterst kostbaar.

De belangrijkste geurstof in muskus is muscon, een stof met de molecuulformule  $C_{16}H_{30}O$ .

De structuurformule van muscon is hiernaast schematisch weergegeven.



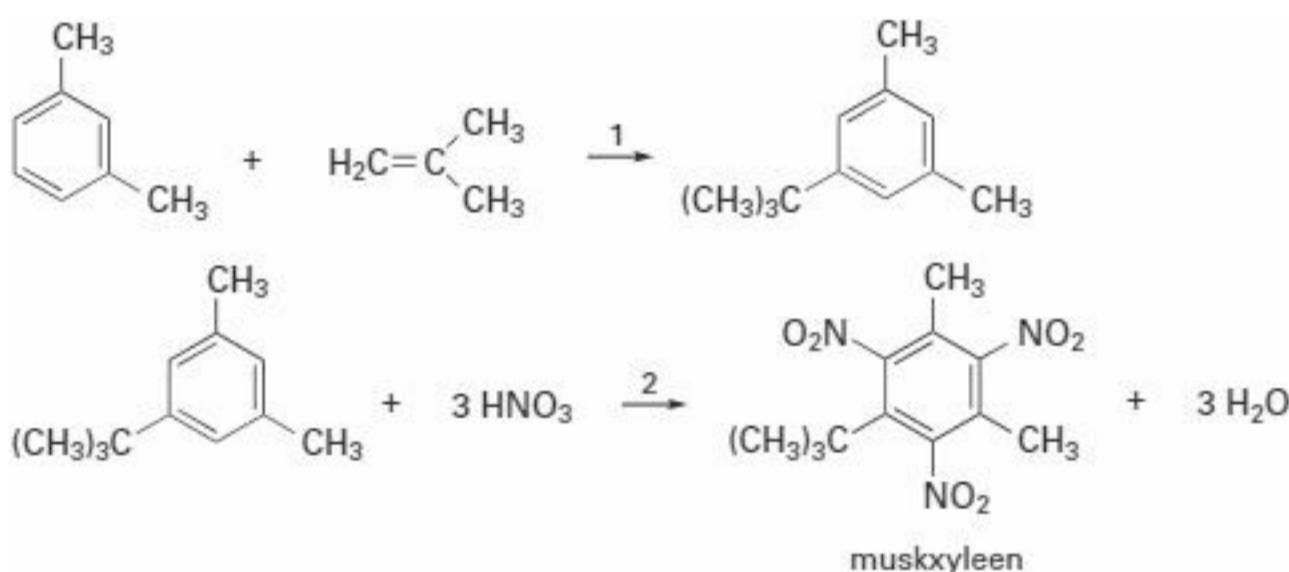
- 2p 12 Geef aan of er spiegelbeeldisomeren mogelijk zijn bij muscon.  
Licht je antwoord toe aan de hand van bovenstaande schematische structuurformule.

De productie van synthetische muscon is nooit van de grond gekomen.

Het rendement van de voorgestelde bereidingswijzen was steeds erg laag, mede vanwege het grote aantal tussenstappen. Ook kwamen goedkopere vervangers voor muscon beschikbaar: de nitromusks.

De nitromusks zijn eenvoudig te bereiden uit goedkope grondstoffen.

Zo kan muskxyleen (MX) worden bereid in slechts twee stappen die in de onderstaande figuur zijn weergegeven.



In stap 1 (zie boven) laat men 1,3-dimethylbenzeen reageren met methylpropeen. Deze omzetting heeft een rendement van 75%.

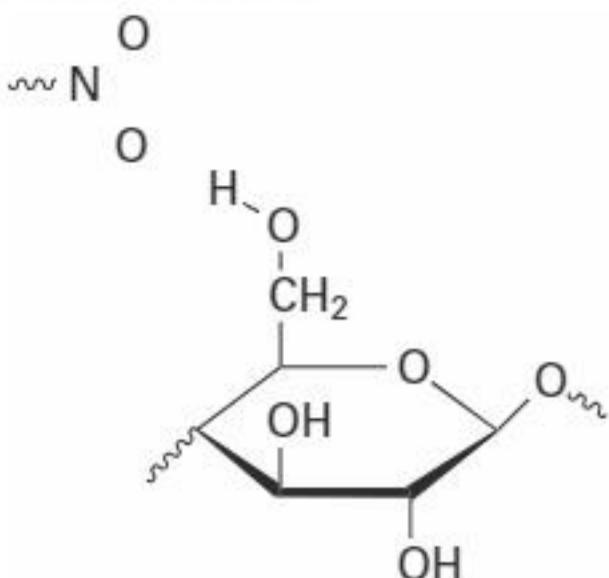
Vervolgens laat men de ontstane stof na zuivering reageren met geconcentreerd salpeterzuur tot MX en water. Deze tweede stap heeft een rendement van 88%.

- 4p 13 Bereken de E-factor voor deze bereiding van MX uit 1,3-dimethylbenzeen. De molaire massa van MX bedraagt  $297,3 \text{ g mol}^{-1}$ .  
Neem aan dat bij de zuivering geen stof verloren gaat.

MX hecht goed aan textiel, waardoor de geur lang blijft hangen. MX is hydrofoob. Daarom is het opmerkelijk dat MX goed hecht aan bijvoorbeeld katoen. Katoen bestaat vooral uit cellulose. Van katoen is bekend dat het goed water kan binden. Het blijkt dat de binding aan katoen vooral door de in MX aanwezige  $\sim NO_2$  groepen plaatsvindt.

Met behulp van lewisstructuren kan worden verklaard waarom MX goed hecht aan katoen. In de bijlage zijn een nitrogroep van MX en een gedeelte van een molecuul cellulose schematisch en onvolledig weergegeven (zie volgende bladzijde).

- 3p 14 Geef in de bijlage de lewisstructuur van de nitrogroep van MX en de bovenste OH-groep van cellulose. Geef in de tekening formele en partiële ladingen aan. De weergegeven lewisstructuren moeten voldoen aan de octetregel.

**bijlage bij vraag 14**

Het bleek dat nitromusks kunnen worden aangetoond in oppervlaktewater en in het vetweefsel van vissen en mensen. Omdat nitromusks ervan worden verdacht kankerverwekkend te zijn, is het gebruik sterk teruggedrongen.

Uit kwalitatief onderzoek aan vissen bleek dat MX wordt opgenomen uit het water via de huid, waarna het zich in het onderhuids vetweefsel ophoopt.

Onderzoekers stelden de hypothese op dat MX de huid in beide richtingen kan passeren. Het verdelingsevenwicht van MX in het water en in het vetweefsel kan worden voorgesteld als:



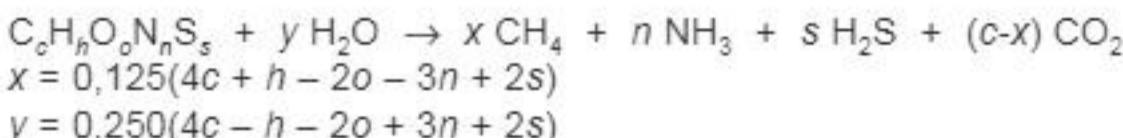
- 2p 15** Beschrijf welk onderzoek moet worden uitgevoerd om de hypothese te toetsen. Geef ook aan welke uitkomst van dit onderzoek de hypothese zou bevestigen.

## Biogasfabricage uit afval

Methaan uit aardgas levert in Nederland per jaar ongeveer  $1,5 \cdot 10^{18}$  J aan energie. In 2007 werd in het rapport 'Vol gas vooruit!' het doel gesteld dat op korte termijn 3,0% van deze energie wordt geleverd door biogas.

Biogas ontstaat wanneer biomassa door een mengsel van bacteriën wordt afgebroken onder zuurstofarme omstandigheden. De hoofdbestanddelen van biogas zijn koolstofdioxide en methaan.

De reactiewarmte bij de verbranding van biogas bedraagt gemiddeld  $-2,0 \cdot 10^7$  J m<sup>-3</sup>. Deze energiewaarde kan vooral worden toegeschreven aan het aanwezige methaan. Hieronder is een reactievergelijking voor het totale proces van de vorming van biogas uit biomassa weergegeven. Voor biomassa wordt de verhoudingsformule C<sub>c</sub>H<sub>h</sub>O<sub>o</sub>N<sub>n</sub>S<sub>s</sub> gebruikt.



Een bepaalde fractie biomassa kan worden voorgesteld met de volgende verhoudingsformule: C<sub>38</sub>H<sub>60</sub>O<sub>26</sub>N<sub>3</sub>.

- 5p 16 Bereken hoeveel ton van deze biomassa moet worden vergist tot biogas om bovengenoemde doelstelling te bereiken.

Maak onder andere gebruik van de volgende gegevens:

- de molaire massa van  $C_{38}H_{60}O_{26}N_3$  bedraagt  $975 \text{ g mol}^{-1}$ ;
- biogas bevat 46 vol% methaan;
- het molair volume bedraagt  $2,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$ .

Biomassa bestaat voornamelijk uit koolhydraten, vetten en eiwitten. De vorming van biogas uit biomassa gebeurt in vier stappen. Deze stappen verlopen tegelijkertijd.  
Stap 1: hydrolyse. Tijdens deze stap worden de koolhydraten, eiwitten en vetten met behulp van enzymen buiten de bacteriecellen afgebroken tot suikers, aminozuren, vetzuren en glycerol. De producten van de hydrolyse worden door bacteriën opgenomen.

- 4p 17 Geef de reactievergelijking in structuurformules voor de hydrolyse van het eiwitfragment ~ Ala – Ser – Met tot ~ Ala en de losse aminozuren.

Stap 2: verzuring. De in stap 1 gevormde stoffen worden in de bacteriën omgezet tot zuren en alcoholen. Hierbij ontstaan tevens waterstof en koolstofdioxide. Als bijproducten worden ammoniak en waterstofsulfide ( $H_2S$ ) gevormd.

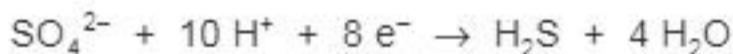
- 2p 18 Geef aan uit welke soort(en) stof(fen) die na stap 1 aanwezig zijn in het reactiemengsel, ammoniak en waterstofsulfide kunnen worden gevormd. Licht je antwoord toe.

Stap 3: azijnzuurvorming. Zogenoemde azijnzuurvormende bacteriën zetten de in stap 2 gevormde zuren en alcoholen met water om tot ethaan en waterstof. Als in een zuur of alcohol een oneven aantal C-atomen aanwezig is, ontstaat hierbij tevens  $CO_2$ . Bij een even aantal C-atomen ontstaat geen  $CO_2$ . De reacties in stap 3 kunnen worden voorgesteld als evenwichtsreacties.

- 3p 19 Geef de reactievergelijking voor de omzetting van hexaanzuur in stap 3.

In stap 4 wordt door methaanvormende bacteriën ten slotte methaan en  $CO_2$  gevormd. Hierbij verbruiken ze het in stap 2 gevormde waterstof.

In sommige bronnen van biomassa, zoals havenslib, zijn veel sulfaationen aanwezig. De aanwezigheid van sulfaat-afbrekende bacteriën in een reactor kan dan de methaanproductie verminderen. Deze bacteriën verbruiken namelijk het aanwezige waterstof om sulfaationen om te zetten tot  $H_2S$ . De vergelijking van de halfreactie van het sulfaation is hieronder weergegeven.



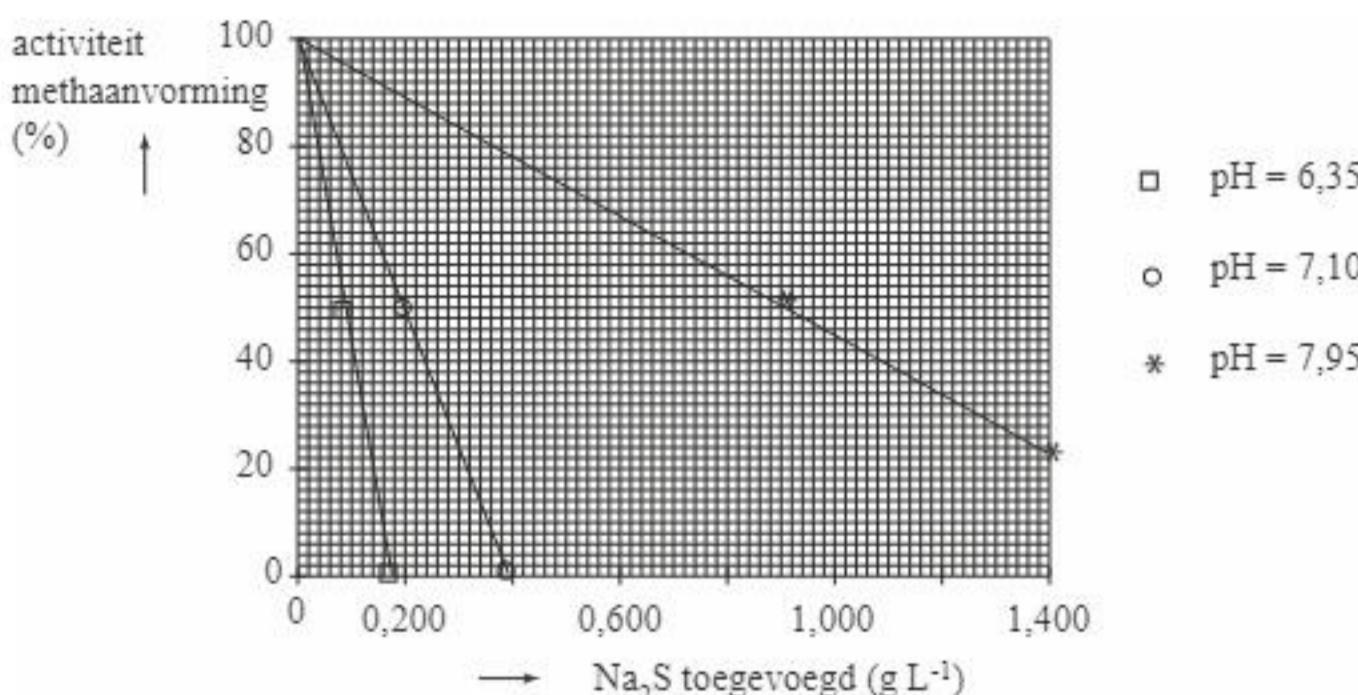
- 2p 20 Leid met behulp van de vergelijkingen van de halfreacties de totale reactievergelijking af voor deze bacteriële omzetting van  $SO_4^{2-}$  tot  $H_2S$ . Gebruik Binas-tabel 48.

Het gevormde  $\text{H}_2\text{S}$  en het tevens aanwezige  $\text{HS}^-$  zijn bij een hoge concentratie giftig voor de methaanvormende bacteriën.

Om het remmende effect van  $\text{H}_2\text{S}$  en  $\text{HS}^-$  op de methaanproductie te onderzoeken werd in een laboratoriumopstelling de methaanproductie van methaanvormende bacteriën bepaald na toevoeging van verschillende hoeveelheden  $\text{Na}_2\text{S}$ .

Dit experiment werd uitgevoerd bij drie pH-waarden, die met behulp van buffers werden ingesteld. De overige omstandigheden werden constant gehouden.

In onderstaand diagram is het resultaat van de metingen weergegeven.



Bij de gebruikte pH-waarden worden de opgeloste  $\text{S}^{2-}$ -ionen volledig omgezet tot  $\text{H}_2\text{S}$  en  $\text{HS}^-$ .

In de oplossing stelt zich het volgende evenwicht in:



- 3p 21 Leg met behulp van het diagram uit welk deeltje de methaanvorming het sterkst remt:  $\text{H}_2\text{S}$  of  $\text{HS}^-$ .

Bij pH = 7,10 is een afname van 50% van de methaanvorming gemeten na het toevoegen van 0,20 g  $\text{Na}_2\text{S}$  per liter. Berekend kan worden dat dan de concentratie  $\text{H}_2\text{S}$   $0,041 \text{ g L}^{-1}$  bedraagt.

Bij pH = 7,95 is dezelfde afname van de methaanvorming gemeten na het toevoegen van 0,90 g  $\text{Na}_2\text{S}$  per liter. Hoewel in deze proef meer  $\text{Na}_2\text{S}$  is toegevoegd, is er toch ongeveer evenveel  $\text{H}_2\text{S}$  aanwezig als in de genoemde proef bij pH = 7,10.

- 5p 22 Bereken hoeveel gram  $\text{H}_2\text{S}$  per liter in de reactor bij pH = 7,95 aanwezig is, wanneer 0,90 g  $\text{Na}_2\text{S}$  per liter is toegevoegd ( $T = 298 \text{ K}$ ,  $p = p_0$ ).  
Neem aan dat het  $\text{H}_2\text{S}$  in de reactor geheel is opgelost in water.

Wil je weten hoe je de toets hebt gemaakt? De antwoorden staan op [mijnexamenbundel.nl](https://mijnexamenbundel.nl). Vul je punten in en bekijk je score per onderwerp. Je scores worden bewaard.



## Deel 1

## Oefenen op onderwerp

Examenopgaven per onderwerp met hints om je op weg te helpen en uitleg bij de antwoorden.





# 1 Van atomen naar stoffen

## Nieuw element

Onderzoekers in Rusland en Duitsland hebben zich beziggehouden met het vervaardigen van nieuwe elementen. Ze maakten hierbij gebruik van de techniek die is beschreven in onderstaand tekstfragment.

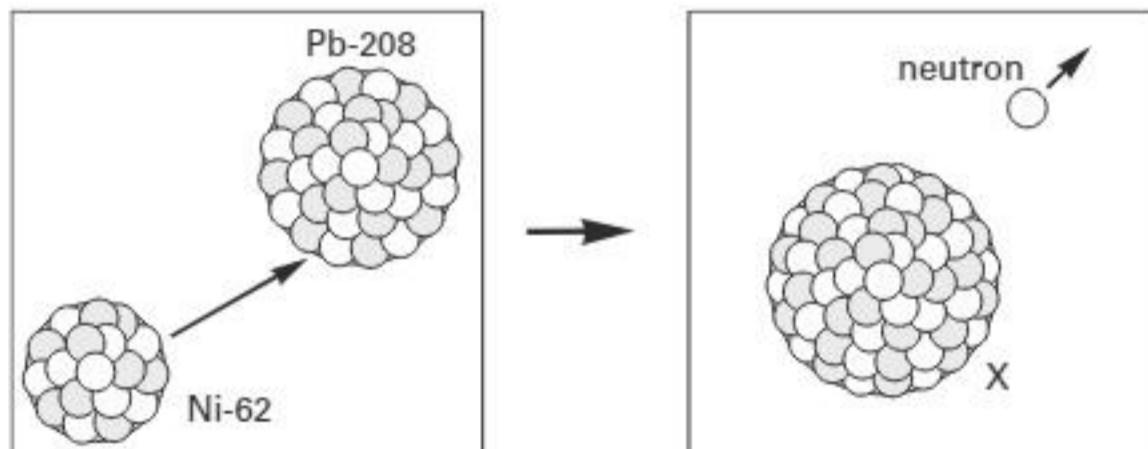
Een doelwit van lood wordt gebombardeerd met atomen van bijvoorbeeld nikkel, ijzer en titaan.

Deze atomen zijn eerst ontdaan van een aantal elektronen. Ze hebben daardoor elektrische lading waardoor zorgvuldig afgestelde elektrische velden voor een versnelling kunnen zorgen. Bij een bepaalde snelheid kan een botsing een heel enkele keer leiden tot kernfusie. Hierbij smelten de kernen samen tot de kern van een nieuw element. Bij zo'n succesvolle botsing wordt tegelijkertijd een neutron uitgezonden.

naar: *Natuur en Techniek*

- Zijn de nikkeldeeltjes die gebruikt worden voor het bombarderen van het lood negatief of positief geladen? Verklaar je antwoord. Gebruik in je antwoord een gegeven uit bovenstaand tekstfragment.

Bij het samensmelten van de kern van een loodatoom met massagetal 208 (Pb-208) en de kern van een nikkelatoom met massagetal 62 (Ni-62) wordt onder andere een nieuwe kern gevormd van een atoom X. Dit proces is weergegeven in onderstaande figuur:



- Wat is het aantal protonen, het aantal neutronen en het atoomnummer van een atoom X?

Noteer je antwoord als volgt:

aantal protonen:....

aantal neutronen:....

atoomnummer:....

## Diamant

Koolstof komt in verschillende vormen voor. Eén van die vormen is diamant, de hardste stof die bekend is. Die hardheid hangt samen met het kristalrooster van diamant.

- 3 Geef de naam van het bindingstype dat er in diamant de oorzaak van is dat de deeltjes in het kristalrooster sterk aan elkaar gebonden zijn.
- 4 Beschrijf de ruimtelijke ordening van de deeltjes in het kristalrooster van diamant.
- 5 Noem nog drie vormen waarin koolstof kan voorkomen. Gebruik daarbij Binas.

## Thallium

Van het element thallium, symbool Tl, atoomnummer 81, komen zowel thallium(I)-ionen als thallium(III)ionen voor.

- 6 Leg uit welke van beide ionsoorten je zou verwachten op grond van de plaats van thallium in het periodiek systeem.

Ionen zijn opgebouwd uit protonen, neutronen en elektronen. Van één van deze drie soorten deeltjes heeft een thallium(I)ion een ander aantal dan een thallium(III)ion.

- 7 Neem de volgende zin over, vul op de plaats van de puntjes een woord in en kies bij 'meer/minder' het juiste woord:  
Een thallium(I)ion heeft twee ..... meer/minder dan een thallium(III)ion.

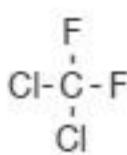
Er bestaat een zout met verhoudingsformule  $TlFeFe(CN)_6$ .

In dit zout komen cyanide-ionen ( $CN^-$ ) voor. De twee ijzerionen die in de verhoudingsformule zijn weergegeven verschillen in lading.

- 8 Leid af welke lading het thalliumion in dit zout heeft.

## Chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's)

Koelkasten bevatten een koelmiddel. Eén van de voorwaarden waaraan zo'n koelmiddel moet voldoen, is dat het gemakkelijk verdampft. Dit is een voorbeeld van een stof die geschikt is als koelmiddel:



- 9 Welk type bindingen wordt verbroken als deze stof verdampft?

## Propaan als brandstof

Sommige auto's gebruiken als brandstof (zuiver) propaan.

Propan is bij 298 K en  $p = p_0$  een gas. Door het gas samen te persen wordt het vloeibaar; in deze vorm wordt propaan opgeslagen en getransporteerd. De dichtheid van vloeibaar propaan bedraagt  $493 \text{ g L}^{-1}$  bij 298 K.

- 10 Bereken het volume in  $\text{dm}^3$  van het propaangas dat ontstaat als 1,00 liter vloeibaar propaan bij 298 K en  $p = p_0$  verdampft. Maak hierbij onder andere gebruik van een gegeven uit Binas 7.

## Lichaamswater

In natuurlijk waterstof komen twee isotopen voor, H-1 en H-2. De isotoop H-2 heet deuterium en wordt weergegeven met het symbool D. In onderstaande tabel staan enkele gegevens van de twee waterstofisotopen.

	H	D
atoommassa	1,0078 u	2,0141 u
aanwezig in natuurlijk waterstof	99,985%	0,015%

De atoommassa 1,008 u die vermeld staat in Binas 99 is het gewogen gemiddelde van de atoommassa's uit bovenstaande tabel.

In natuurlijk water komen hoofdzakelijk moleculen  $\text{H}_2\text{O}$  en  $\text{HDO}$  voor; de hoeveelheid  $\text{D}_2\text{O}$ -moleculen is te verwaarlozen. De formule  $\text{HDO}$  staat voor een watermolecuul bestaande uit een H-1 atoom, een deuteriumatoom en een zuurstofatoom; in een molecuul  $\text{D}_2\text{O}$  zitten twee deuteriumatomen en een zuurstofatoom.

Men kan berekenen dat de concentratie  $\text{HDO}$  in natuurlijk water 0,017 mol per liter is ( $20^\circ\text{C}$ ).

- 11 Geef die berekening. Gebruik daarbij het gegeven dat van alle waterstofatomen die in de watermoleculen aanwezig zijn, 0,015% deuteriumatomen (D) zijn. De dichtheid van natuurlijk water is  $0,998 \text{ kg dm}^{-3}$  ( $20^\circ\text{C}$ ).

Als mensen een lever- en/of nierziekte hebben, is het soms nodig om te bepalen hoeveel massaprocent water het lichaam bevat. Op basis van de uitkomst van die bepaling kan de medicatie worden vastgesteld. Bij een onlangs ontwikkelde methode om het massapercentage lichaamswater te bepalen, wordt  $\text{D}_2\text{O}$  gebruikt.

Deze methode geeft binnen twee uur de uitslag.

Men laat een patiënt een afgewogen hoeveelheid (22 g)  $\text{D}_2\text{O}$  innemen. Met het water dat in het lichaam aanwezig is, treedt de volgende reactie op:

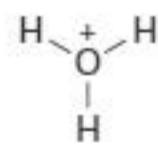


De  $\text{HDO}$ -moleculen verdelen zich over al het water dat in het lichaam aanwezig is. Deze situatie is twee uur na de inname van  $\text{D}_2\text{O}$  bereikt. Overal in het lichaam is dan de concentratie  $\text{HDO}$  in het lichaamswater verhoogd. Als gevolg daarvan is de concentratie  $\text{HDO}$  in de waterdamp van de uitgeademde lucht ook verhoogd.

De concentratie  $\text{HDO}$  in uitgeademde lucht kan worden gemeten. Daartoe worden (in speciale apparatuur)  $\text{H}_3\text{O}^+$ -ionen aan de uitgeademde lucht toegevoegd. Aan de  $\text{H}_3\text{O}^+$ -ionen binden zich drie watermoleculen waardoor er ionen  $\text{H}_3\text{O}^+(\text{H}_2\text{O})_3$  ontstaan. De structuur van het  $\text{H}_3\text{O}^+$ -ion is in de tekening hiernaast

schematisch weergegeven:

In de gevormde ionen  $\text{H}_3\text{O}^+(\text{H}_2\text{O})_3$  komen polaire atoombindingen en waterstofbruggen voor.



- 12 Geef in een tekening weer hoe in het ion  $\text{H}_3\text{O}^+(\text{H}_2\text{O})_3$  de drie watermoleculen aan het  $\text{H}_3\text{O}^+$ -ion kunnen zijn gebonden. Teken daarbij:
- de watermoleculen in structuurformule
  - polaire atoombindingen met ononderbroken lijntjes (—)
  - waterstofbruggen met stippellijntjes (---
  - de watermoleculen rechtstreeks aan het  $\text{H}_3\text{O}^+$ -ion.

De ruimtelijke structuur van  $\text{H}_3\text{O}^+$  verschilt van de schematische structuur die hierboven is weergegeven.

- 13 Bepaal aan de hand van de lewisstructuur wat de ruimtelijke bouw van het oxoniumion is. Geef een duidelijke beschrijving of maak een tekening.

## Sulfonzuurgroep

Nafion® is een polymeer dat wordt toegepast als membraan in elektrochemische cellen. Nafion® is een sterk hygroscopische stof. Dat wil zeggen dat het veel water kan opnemen. Deze eigenschap wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van sulfonzuurgroepen in de moleculen, weergegeven als  $-\text{SO}_3\text{H}$ .

Het zwavelatoom in de sulfonzuurgroep heeft covalentie 6. Dit betekent dat het zwavelatoom zes atoombindingen heeft met de omringende atomen. Eén van die bindingen is de binding met een koolstofatoom. De covalentie van de zuurstofatomen is 2 en de covalentie van het waterstofatoom is 1.

- 14 Geef de sulfonzuurgroep als lewisstructuur weer.

De covalentie 6 komt wel voor bij zwavel maar niet bij zuurstof. Toch zijn het allebei atoomsoorten uit de 16<sup>e</sup> groep van het periodiek systeem.

- 15 Waarom kan de covalentie 6 wel voorkomen bij zwavel maar niet bij zuurstof?

Er bestaat een tweede mesomere (lewis)grensstructuur van de sulfonzuurgroep, waarbij S de covalentie 4 heeft.

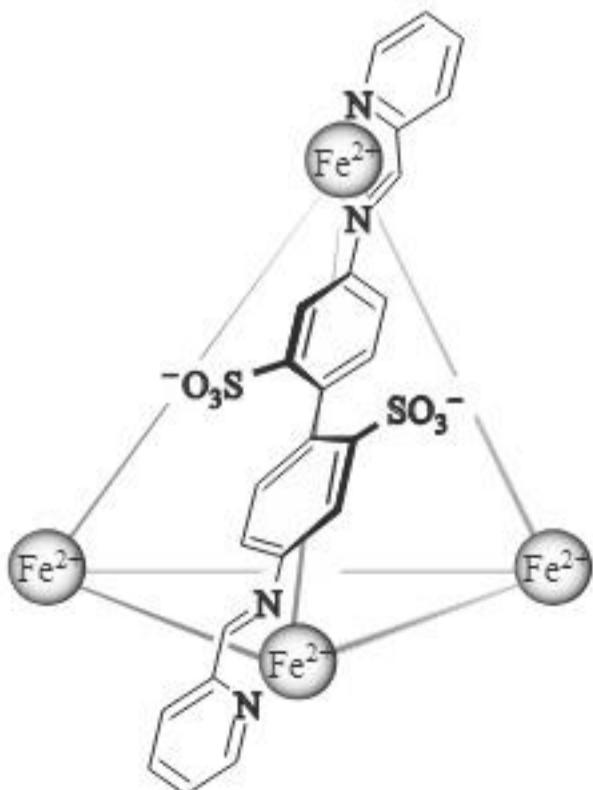
- 16 Geef die grensstructuur en geef daarin op de juiste plaatsen de formele ladingen aan.  
17 Leg uit hoe het komt dat sulfonzuurgroepen watermoleculen kunnen binden.

## Gekoooid transport van geneesmiddelen

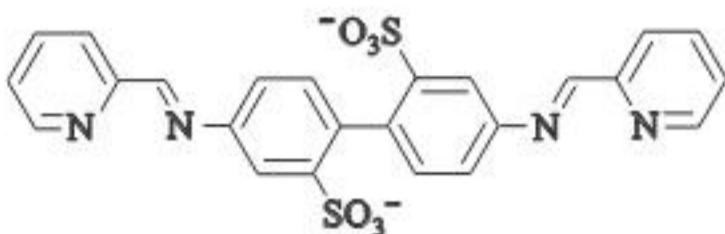
Britse en Finse geleerden hebben een nieuwe procedure ontwikkeld voor het transport van (kwetsbare of moeilijk oplosbare) stoffen. Deze methode zou kunnen worden toegepast om geneesmiddelen zo door het lichaam te transportereren dat ze 'ongeschonden' op de plaats van bestemming aankomen.

Het principe van deze methode is dat moleculen van de geneesmiddelen worden opgesloten in een oplosbare kooistructuur. Onderzocht is of het mogelijk is om cyclohexaan ( $\text{C}_6\text{H}_{12}$ ) in onderstaand complex ion, aangeduid met c1, op te sluiten en zo in water oplosbaar te maken.

### Het complexe ion c1



Dit complex ion heeft een tetraëdervormige structuur, waarin elke ribbe wordt ingenomen door een groot ion. In de tekening is slechts één ribbe-ion weergegeven. Elk ribbe-ion bindt aan weerszijden met een  $\text{Fe}^{2+}$ -ion. Om de tetraëder te kunnen vormen is het noodzakelijk dat in de ribbe-ionen de stikstofatomen op één lijn liggen, zoals in onderstaande structuurformule te zien is.



Elk ribbe-ion is in de tetraëder zo georiënteerd dat de beide sulfonatgroepen ( $\text{SO}_3^-$ ) uit de tetraëder naar buiten steken. De beide benzeenringen zijn hierdoor naar binnen gericht. Het zo gevormde  $c<1$  is oplosbaar in water. Dat komt omdat deeltjes  $c<1$  kunnen worden gehydrateerd.

- 18 Leg uit waarom deeltjes  $c<1$  kunnen worden gehydrateerd.

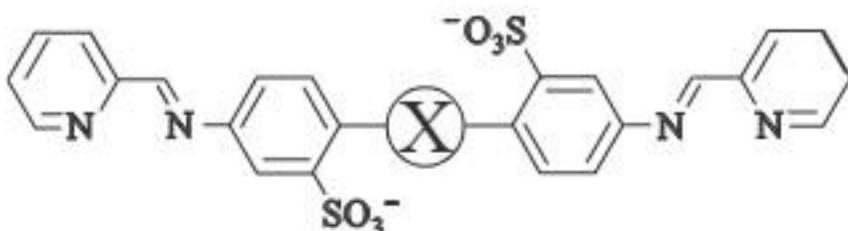
Een deeltje  $c<1$  kan één molecuul cyclohexaan opnemen. Het daarbij gevormde product wordt aangeduid met  $\text{C}_6\text{H}_{12}c<1$ . De cyclohexaanmoleculen zijn nu als het ware opgesloten in een kooi. Cyclohexaan lost niet in water op, maar  $\text{C}_6\text{H}_{12}c<1$  wel. Door cyclohexaan om te zetten tot  $\text{C}_6\text{H}_{12}c<1$ , is het dus mogelijk om cyclohexaanmoleculen door water te transporteren. Daarbij kunnen de cyclohexaanmoleculen niet uit de kooi ontsnappen.

- 19 Geef een verklaring voor het feit dat in een oplossing met  $\text{C}_6\text{H}_{12}c<1$  de cyclohexaanmoleculen niet uit de kooi kunnen ontsnappen. Gebruik in je verklaring onder andere namen van bindingen.

Cyclohexaan blijkt onder specifieke omstandigheden wel vrij te kunnen komen uit  $\text{C}_6\text{H}_{12}c<1$ . Eén manier is door een zuur aan de oplossing met  $\text{C}_6\text{H}_{12}c<1$  toe te voegen. Door vervolgens de oplossing weer neutraal of basisch te maken, ontstaat weer  $\text{C}_6\text{H}_{12}c<1$ .

Omdat de omgeving van een tumor vaak wat zuurder is dan elders, zou een dergelijke kooistructuur heel geschikt kunnen zijn om een geneesmiddelmolecuul bij een tumor te brengen. Een probleem is echter dat de meeste moleculen van geneesmiddelen groter zijn dan een molecuul cyclohexaan. Er moet dus een nieuw complex worden ontworpen waarin grotere moleculen passen. Dit complex wordt aangeduid met  $c<2$ ; een molecuul geneesmiddel opgesloten in  $c<2$  wordt aangeduid met geneesmiddel  $c<2$ .

Een groter complex kan worden verkregen door grotere ribbe-ionen met een lineaire structuur te gebruiken. Zo'n groter ribbe-ion zou kunnen worden gemaakt door tussen de benzeenringen van het oorspronkelijke ribbe-ion een groep X aan te brengen. Zie onderstaande structuurformule:



- 20** Geef van elk van onderstaande groepen de ruimtelijke structuur en leg aan de hand daarvan uit of die groep in aanmerking komt om als groep X te gebruiken:
- X = - (CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> -
  - X = - (CH)<sub>2</sub> -
  - X = - C<sub>2</sub> -

## 99,99999999% zuiver silicium

Chips voor elektronica worden gemaakt van dunne ronde schijven zeer zuiver silicium, wafers genoemd. Het benodigde silicium wordt gewonnen uit de steensoort kwartsiet. Hieruit kan silicium worden verkregen met een zuiverheid van ruim 98%. Dit wordt metallurgical-grade silicium (MGS) genoemd. MGS dient als grondstof voor de bereiding van electronical grade silicium (EGS), dat een zuiverheid heeft van 99,99999999%.

Bij het productieproces van EGS uit MGS reageert MGS met HCl. Hierbij wordt het silicium uit MGS omgezet tot SiHCl<sub>3</sub> en waterstof. Het HCl reageert hierbij volledig. Behalve SiHCl<sub>3</sub> en waterstof ontstaan nog allerlei andere reactieproducten in R1. De voornaamste reactieproducten en hun kookpunten staan vermeld in onderstaand tabel. De siliciumverbindingen die in R1 worden gevormd, hebben verschillende kookpunten. Dit kan worden verklaard aan de hand van de sterkte van de bindingen tussen de moleculen. Tussen de moleculen van een aantal van de in de tabel genoemde stoffen is een dipool-dipoolbinding aanwezig. Deze binding wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van één of meer polaire Si-Cl atoombindingen.

atoomsoorten in MGS	kookpunt (K)	reactieproduct na reactie met HCl	kookpunt (K)
Si	3538	SiH <sub>3</sub> Cl	243
		SiH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	281
		SiHCl <sub>3</sub>	306
		SiCl <sub>4</sub>	331
Al	2792	AlCl <sub>3</sub>	466
Fe	3134	FeCl <sub>2</sub>	1296
		FeCl <sub>3</sub>	589

- 21** Leg uit bij welke van de in de tabel genoemde siliciumverbindingen dipool-dipoolbindingen tussen de moleculen aanwezig zijn in de zuivere stof.
- 22** Leg uit welke soort binding(en) tussen de moleculen van de siliciumverbindingen de grootste bijdrage levert (leveren) aan de hoogte van het kookpunt.  
In een tweede stap reageert SiHCl<sub>3</sub> met H<sub>2</sub>, waarbij HCl gevormd wordt en gasvormig silicium dat rijpt op een kristallisatiekern van zeer zuiver silicium

Het silicium (EGS) dat volgens dit proces ontstaan is, is nog niet bruikbaar als materiaal voor computerchips. De kristalstructuur bevat nog te veel onregelmatigheden. Een van de meest schadelijke verontreinigingen in silicium voor chips is het element boor. De aanwezigheid van deeltjes boor heeft invloed op de roosteropbouw en de geleidbaarheid van het silicium.

- 23** Geef twee aspecten waarom de aanwezigheid van boor gevolgen heeft voor de roosteropbouw van het silicium.

Om het gevormde EGS nog verder te zuiveren wordt het omgesmolten via het Czochralski-proces.

Men laat een kristal zeer zuiver silicium, de zogeheten kiem, neer op een hoeveelheid gesmolten EGS. Aan het oppervlak van de kiem stolt het silicium. Door het geheel langzaam omhoog te trekken, ontstaan uiteindelijk lange staven zeer zuiver silicium. Dit silicium is geschikt voor toepassing in computerchips.

Het stollingsproces zorgt voor extra zuivering van het silicium.

De extra zuivering is te verklaren door de verschillende oplosbaarheden van een onzuiverheid in vast en vloeibaar silicium. Aan het grensvlak tussen vast en vloeibaar silicium stelt zich namelijk een verdelingsevenwicht in.

De waarde van de evenwichtsconstante  $K$  voor dit verdelingsevenwicht kan worden berekend volgens:

$$K = \frac{C_s}{C_l}$$

Hierin is  $C_s$  de concentratie in  $\text{mol L}^{-1}$  van de onzuiverheid in vast silicium en  $C_l$  de concentratie van de onzuiverheid in vloeibaar silicium.

Voor enkele onzuiverheden in silicium zijn de waarden van  $K$  vermeld in onderstaande tabel.

element	Al	As	B	C	Cu	Fe	Sb
$K$	$2 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-1}$	$8 \cdot 10^{-1}$	$7 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-2}$

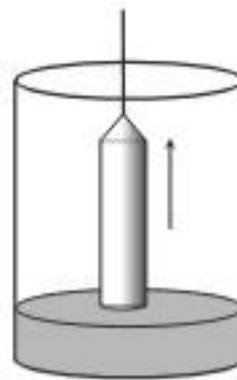
Uit deze tabel is af te leiden hoe groot het gedeelte van een aanwezige verontreiniging is, dat in het vaste silicium terechtkomt.

- 24 Leg uit van welk element uit deze tabel het grootste gedeelte wordt verwijderd uit het silicium als gevolg van het Czochralski-proces.

Het silicium dat in het Czochralskiproces wordt ingevoerd, bevat minder dan 1 deeltjes-ppb boor. Eén deeltjes-ppb is één deeltje onzuiverheid per  $10^9$  deeltjes. Een nadeel van het Czochralskiproces is dat voor een goede kwaliteit van de siliciumstaven, niet al het vloeibare silicium kan worden gekristalliseerd. Dit komt doordat gedurende het proces, de concentratie van de vervuiling in het vloeibare silicium stijgt.

- 25 Bereken vanaf welke concentratie in  $\text{mol L}^{-1}$  boor in vloeibaar silicium het gehalte boor in de siliciumstaaf boven de 1,0 deeltjes-ppb komt.

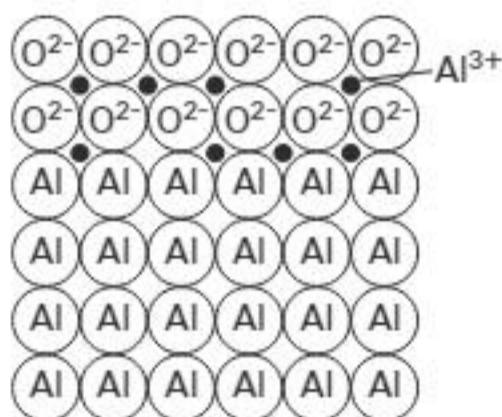
De dichtheid van vast silicium bij de smelttemperatuur bedraagt  $2,2 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ .



## Legering van aluminium

Aluminium is een onedel metaal dat onder andere door zuurstof wordt aangetast. Er vormt zich dan op het aluminium een laagje aluminiumoxide, soms tot maar 0,0001 mm dik. In het gevormde aluminiumoxide passen de  $\text{Al}^{3+}$ -ionen ruimschoots in de holtes tussen de  $\text{O}^{2-}$ -ionen. Omdat de ionstraal van  $\text{O}^{2-}$ -ionen en de atoomstraal van Al-atomen vrijwel even groot zijn, sluit het laagje aluminiumoxide het onderliggende aluminium zeer goed af.

Onderstaand is de bescherming van aluminium door een laagje aluminiumoxide schematisch weergegeven. Van het beschermende laagje aluminiumoxide is slechts een zeer klein gedeelte weergegeven.



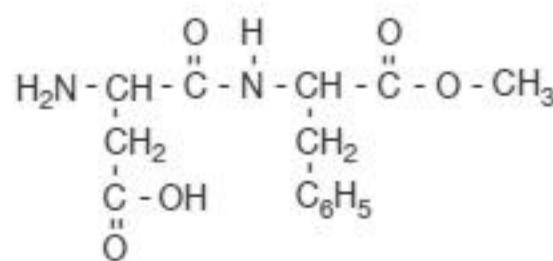
- 26** Bereken het aantal lagen  $\text{O}^{2-}$ -ionen in een laagje aluminiumoxide met een dikte van 0,0001 mm. Ga er bij je berekening van uit dat de  $\text{O}^{2-}$ -ionen elkaar raken zoals hier boven is weergegeven.

In een aluminium-luchtcel heeft men juist aluminium nodig dat wèl wordt aangetast. In een legering waarbij de verhouding tussen de aantallen atomen aluminium, magnesium en tin 4000 : 200 : 1 is, wordt het beschermende laagje niet gevormd. Het gevolg is dat een legering met deze samenstelling wordt aangetast.

- 27** Bereken het massapercentage aluminium in een legering met de verhouding aantal atomen aluminium : aantal atomen magnesium : aantal atomen tin = 4000 : 200 : 1. Geef het massapercentage in drie significante cijfers.

## Zoetstof aspartaam

Er bestaan vele vervangers voor suiker als zoetstof. Eén ervan is de stof aspartaam ( $\text{C}_{14}\text{H}_{18}\text{N}_2\text{O}_5$ ):



Aspartaam is oplosbaar in water.

- 28** Leg aan de hand van de structuurformule uit waarom aspartaam in water op kan lossen.

Om de zoetheid van aspartaan te vergelijken met die van gewone suiker, laat men proefpersonen proeven van een aantal oplossingen met verschillende concentraties aspartaan. Deze oplossingen zijn verkregen door een voorraadoplossing, die 1,0 g aspartaan per liter bevat, in de gewenste verhouding met water te mengen.

Eén van die verdunde aspartaanoplossingen, oplossing A, bevatte 0,15 g aspartaan per liter.

- 29 Bereken hoeveel mL water men aan 3,0 mL van de voorraadoplossing moet toevoegen om oplossing A te verkrijgen.

Bij het onderzoek werd de smaak van de verdunde aspartaanoplossingen vergeleken met de smaak van een 0,10 M suikeroplossing. Het bleek dat de oplossing die 0,15 g aspartaan per liter bevatte, even zoet smaakte als de 0,10 M suikeroplossing.

- 30 Bereken hoeveel maal zo zoet aspartaan is als gewone suiker. Ga daarbij uit van het volgende gegeven: wanneer een 0,050 M oplossing van een zoetstof even zoet smaakt als een 0,10 M oplossing van suiker, dan is die zoetstof twee maal zo zoet als suiker.

## Hints bij hoofdstuk 1

- 1 Wat wordt de lading van een atoom als je elektronen wegneemt?
- 2 atoomnummer = aantal protonen (Binas 40A)
- 3 Dit is een binding tussen niet-metaalatomen.
- 4 Elk C-atoom is door vier andere omringd. Wat is de naam voor de ruimtelijke structuur die daardoor ontstaat?
- 5 Zie Binas 67E.
- 6 Zie Binas 99.
- 7 Het Romeinse cijfer geeft de ionlading aan.
- 8 Er bestaan twee ijzerionen:  $\text{Fe}^{2+}$  en  $\text{Fe}^{3+}$ .
- 9 Bij verdampen worden de bindingen van C met F en Cl niet verbroken.
- 10 Bereken eerst hoeveel mol 1,00 liter propaan is.
- 11 Bereken eerst het aantal mol  $\text{H}_2\text{O}$  in 1 liter (998 g) water.
- 12 Denk aan  $\delta+$  en  $\delta-$  lading.
- 13 Gebruik de VSEPR-theorie.
- 14 Maak gebruik van de octetomringing.
- 15 Vergelijk de atoombouw van S en O.
- 16 Tel de elektronen rond elk atoom. Is dat atoom dan neutraal of geladen?
- 17 Denk aan het principe 'soort zoekt soort'.
- 18 Hydratatie treedt op bij het oplossen van zouten.
- 19 Om te kunnen ontsnappen, moeten er eerst bindingen worden verbroken. Welke zijn dat en wat 'krijgt' een cyclohexaanmolecuul er voor terug?
- 20 De N-atomen moeten op een lijn blijven liggen (langs een ribbe).
- 21 Dipolen ontstaan door polaire bindingen. Kijk naar de omringing van Si.
- 22 Welke soorten bindingen tussen moleculen kunnen bij elk van deze stoffen optreden en welke niet? Zie ook je antwoord op vraag 21.
- 23 Eén van de aspecten treedt *niet* op als het, in plaats van over Si en B, over Si en C zou gaan.
- 24 Vergelijk de  $K$ -waarden uit de tabel.
- 25 Ga uit van  $1 \text{ dm}^3$  (1 liter) vast Si.
- 26 Gebruik Binas 40A.
- 27 Gebruik bijvoorbeeld Binas 99 voor atoommassa's.
- 28 Denk aan het principe 'soort zoekt soort'.
- 29 Bereken de verdunningsfactor.
- 30 Reken het aantal gram aspartaam per liter om in aantal mol per liter.

# Uitwerkingen bij hoofdstuk 1

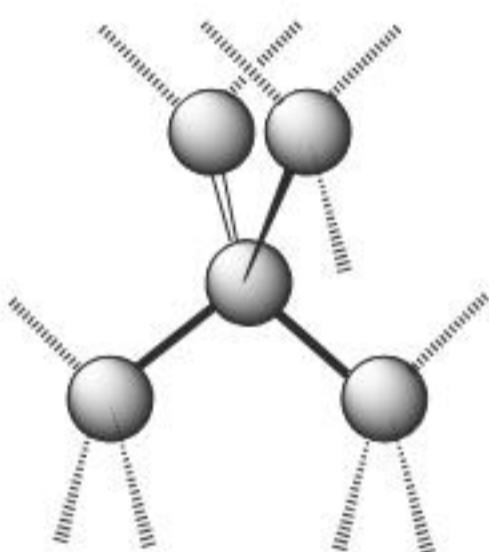
## Nieuw element

- 1 De (ongeladen) atomen zijn 'ontdaan' van een aantal elektronen. Elektronen zijn negatief, dus er blijven positief geladen nikkeldeeltjes over.
- 2 aantal protonen: 110  
aantal neutronen: 159  
atoomnummer: 110  
*Bij een fusie gaan de kernen samen; het aantal protonen wordt dus opgeteld en levert dan het atoomnummer van de nieuwe kern. Het aantal neutronen (massagetal min aantal protonen) wordt met 1 verminderd, want er wordt een neutron vrijgemaakt.*

## Diamant

- 3 atoombinding (of: covalente binding)  
*Atoombindingen worden gevormd door gemeenschappelijke elektronenparen van niet-metaalatomen.*
- 4 In diamant zijn de koolstofatomen tetraëdrisch gerangschikt, d.w.z. dat elk C-atoom door vier andere C-atomen is omringd (in richtingen met hoeken van 109,5°).

*Ruimtelijke weergave:*



- 5 Noem drie van de andere mogelijke kristalstructuren:  
grafiet, lonsdaleïet, fullerenen, nanobuisjes, grafeen
- 6 Thallium (atoomnummer 81) staat onder aluminium (atoomnummer 13) in het periodiek systeem. Je kunt dus thallium(III)ionen verwachten (net als  $\text{Al}^{3+}$ ).
- 7 Een thallium(I)ion (met formule  $\text{TI}^+$ ) heeft twee elektronen meer dan een thallium(III)-ion (met formule  $\text{TI}^{3+}$ )
- 8 De zes cyanide-ionen hebben gezamenlijk een lading van 6-. De twee verschillende ijzerionen zijn  $\text{Fe}^{2+}$  en  $\text{Fe}^{3+}$ . Omdat deze allebei voorkomen, zal in het (neutrale) zout  $\text{TIFeFe(CN)}_6$  de lading van het thalliumion 1+ bedragen (want  $+1 + 2 + 3 - 6 = 0$ ).

## Chloorfluorkoolwaterstoffen (CFK's)

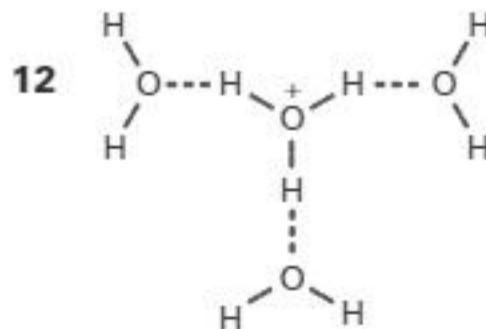
- 9** vanderwaalsbindingen of molecuulbindingen  
Alleen de zwakke vanderwaalskrachten tussen de moleculen onderling worden bij verdampen overwonnen.

### Propaan als brandstof

- 10** 1 mol  $C_3H_8$  heeft een massa van  $3 \cdot 12,01 + 8 \cdot 1,008 = 44,09$  g (Binas 99).  
Gegeven is dat 1,00 L  $C_3H_8$ (l) bij 298 K een massa heeft van 493 g; dit komt overeen met  $\frac{493\text{ g}}{44,09\text{ g mol}^{-1}} = 11,18$  mol propan.  
Bij 298 K heeft 1 mol gas een volume van  $2,45 \cdot 10^{-2}\text{ m}^3 = 24,5\text{ dm}^3$  (Binas 7).  
Bij de verdamping van 11,2 mol  $C_3H_8$  wordt het volume van de damp dus  $11,18 \cdot 24,5\text{ dm}^3 = 274\text{ dm}^3$  (3 significante cijfers).

### Lichaamswater

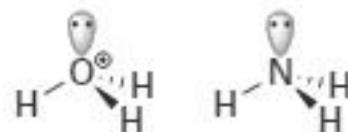
- 11** Er zijn twee methodes voor de berekening:
- via het aantal mol watermoleculen in 1 L water  
1 L water weegt 998 gram. 1 mol water weegt 18,015 g (Binas 98). 1 L water bevat dus  $\frac{998\text{ g}}{18,015\text{ g mol}^{-1}} = 55,4$  mol  $H_2O$ . Het aantal H-atomen hierin is 110,8 mol  $\Rightarrow$  het aantal D-atomen is  $0,015 \cdot 10^{-2} \cdot 110,8 = 1,7 \cdot 10^{-2}$  mol. Eén molecuul HDO bevat slechts één D-atoom  $\Rightarrow$  het aantal mol HDO-moleculen in 1 L water, de concentratie van HDO, is eveneens gelijk aan  $0,017\text{ mol L}^{-1}$ .
  - via het totale aantal mol waterstofatomen in 1 L water  
De massa van 1 mol  $H_2O$  is  $2 \cdot 1,0078 + 16,00 = 18,02$  g (Binas 98). De massa van 1 mol HDO is  $1,0078 + 2,0141 + 16,00 = 19,02$  g.  
Stel er is  $x$  mol  $H_2O$  en  $y$  mol HDO in 1 L water, dan geldt:  $18,02x + 19,02y = 998$  g.  
Het totale aantal mol H- en D-atomen in  $H_2O$  en HDO tezamen is  $2x + 2y$ .  
Als D voor 0,015% voorkomt, geldt:  $\frac{y}{2x + 2y} = 0,015 \cdot 10^{-2}$   
Na eliminatie van  $x$  uit de twee vergelijkingen blijkt:  
 $y$  (het aantal mol HDO in 1 L water) = 0,017 mol.

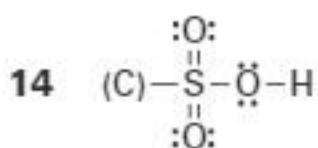


- 13** De lewisstructuur van  $H_3O^+$  is:  $H-\overset{\bullet}{\ddot{O}}^+H$

De vier elektronenparen rond O zullen elkaar maximaal afstoten en zo een tetraëdrische omringing geven. Daarbij vormen de drie O-H bindingen een driepoot.

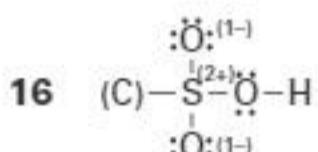
De ruimtelijke structuur komt overeen met die van  $NH_3$  dat dezelfde elektronenomringing heeft als  $H_3O^+$ :



**Membraan**

- 15    Een zwavelatoom bezit drie elektronenschillen (K, L en M). Bij covalentie 6 bewegen er 12 elektronen in de buitenste schil van S (zie onderdeel 14). De M-schil kan meer dan 8 elektronen bevatten. Zuurstofatomen hebben geen M-schil; de L-schil kan slechts 8 elektronen bevatten.

*Voor het maximum aan elektronen in een schil geldt  $2n^2$ , waarbij n het nummer van de schil is, tellend vanaf de K-schil. De M-schil kan dus  $2 \cdot 3^2 = 18$  elektronen bevatten.*



- 17    Sulfonzuurgroepen bevatten OH-groepen net als water. Daardoor zijn er waterstofbruggen mogelijk tussen sulfonzuurgroepen en water.

**Gekooid transport van geneesmiddelen**

- 18    *Mogelijke antwoorden:*

- Een deeltje  $c<1$  bevat negatief geladen sulfonaatgroepen. Als een deeltje  $c<1$  in water komt, zal er een binding gevormd worden tussen de positieve kant van een watermolecuul en een negatief geladen sulfonaatgroep (hydratatie).
- Een deeltje  $c<1$  bevat positief geladen ijzerionen. Als een deeltje  $c<1$  in water komt zal er een binding gevormd worden tussen de negatieve kant van een watermolecuul en een positief geladen ijzerion (hydratatie).

- 19    *Mogelijke antwoorden:*

- Cyclohexaanmoleculen zullen niet ontsnappen uit de kooi, omdat daarbij niet alleen de vanderwaalsbindingen met benzeenringen verbroken moeten worden, maar ook de sterkere H-bruggen van water. Daar komt slechts een zwakke wisselwerking tussen water- en hexaanmoleculen voor terug.
- De binnenkant van de kooi bevat veel benzeenringen en is dus apolair. Cyclohexaanmoleculen zijn ook apolair. De vanderwaalsbindingen die cyclohexaanmoleculen in de kooi houden, zijn kennelijk sterker dan de vanderwaalsbindingen tussen water- en cyclohexaanmoleculen.

- 20    In de groep  $-(CH_2)_2-$  hebben de C-atomen omringingsgetal 4 en dus een tetraëdrische omringing. Wanneer je die groep in een ribbe-ion aanbrengt, liggen de stikstofatomen niet op één lijn. De groep  $-(CH_2)_2-$  is dus niet bruikbaar.

De groep  $-(CH_2)_2-$  heeft een dubbele binding tussen de C-atomen die daardoor omringingsgetal 3 hebben. Groep X is dan een vlakke structuur met bindingshoeken van  $120^\circ$  rondom de C-atomen. Wanneer je die groep in een ribbe-ion aanbrengt, liggen de stikstofatomen niet op één lijn. De groep  $-(CH_2)_2-$  is dus niet bruikbaar. De groep  $-C_2-$  heeft een drievoudige binding tussen de C-atomen die daardoor omringingsgetal 2 hebben. Groep X is dan een lineaire structuur. Wanneer je die groep in een ribbe-ion aanbrengt, liggen de stikstofatomen op één lijn. De groep  $-C_2-$  is dus bruikbaar.

*Een uitleg met behulp van tekeningen van de drie verschillende ruimtelijke structuren is ook juist.*

**99,99999999% zuiver silicium**

- 21** Silicium is met vier groepen altijd tetraëdrisch omringd. Zodra die groepen verschillen, zoals bij de bovenste drie siliciumverbindingen in de tabel, zal er altijd een netto-effect (dipool) overblijven van alle polaire bindingen. Er zullen dus dipool-dipoolbindingen optreden in drie van de vier siliciumverbindingen; alleen bij  $\text{SiCl}_4$  ontbreken die.
- 22** Terwijl bij  $\text{SiCl}_4$  dipool-dipoolbindingen ontbreken (zie onderdeel 21) heeft deze stof wel het hoogste kookpunt. Het is dus de vanderwaalsbinding (molecuulbinding) die de grootste bijdrage levert aan de hoogte van het kookpunt (want  $\text{SiCl}_4$  heeft de hoogste molecuulmassa van de vier verbindingen).
- 23** *Voorbeeld van een juist antwoord:*  
De roosteropbouw van het siliciumkristal kan worden verstoord doordat
  - een booratom (veel) kleiner is dan een siliciumatom (atoomstralen van respectievelijk  $88 \cdot 10^{-12} \text{ m}$  en  $117 \cdot 10^{-12} \text{ m}$ );
  - een booratom covalentie 3 heeft en silicium covalentie 4 (zodat boor zich slechts met drie andere atomen wil omringen).

**24** Een kleine waarde voor  $K$  betekent dat er relatief weinig van de verontreiniging terechtkomt in de vaste fase. Het element koper (Cu) heeft de laagste waarde voor  $K$ , dus hiervan wordt het grootste deel verwijderd met het Czochralski-proces.

**25** De gegeven dichtheid van vast silicium is  $2,2 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3} = 2,2 \cdot 10^3 \text{ g dm}^{-3}$ .  
1 'liter' vast silicium heeft dus een massa van  $2,2 \cdot 10^3 \text{ g}$ . De massa van 1 mol silicium is 28,09 g (Binas 99)  $\Rightarrow$  1 'liter' vast silicium bevat  $\frac{2,2 \cdot 10^3 \text{ g}}{28,09 \text{ g mol}^{-1}} = 78 \text{ mol Si}$ .  
Indien slechts 1,0 deeltjes-ppb van boor aanwezig mag zijn ( $1,0 \cdot 10^{-9} \text{ mol B per mol Si}$ ), dan is dat  $78 \cdot 10^{-9} \text{ mol B voor 78 mol Si}$ .  
Voor het verdelingsevenwicht van boor geldt:  $K = \frac{C_s}{C_l} = 8 \cdot 10^{-1} \Rightarrow C_s : C_l = 0,8 : 1$   
De concentratie in de vloeibare fase ( $C_l$ ) mag dus niet meer bedragen dan:  
 $\frac{1}{0,8} \cdot 78 \cdot 10^{-9} \text{ mol} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ mol L}^{-1}$  (1 significant cijfer).

**Legering van aluminium**

- 26** De dikte van één laag oxide-ionen is gelijk aan tweemaal de ionstraal van  $\text{O}^{2-}$ . In Binas 40A lees je af:  
 $r_{\text{O}^{2-}} = 146 \cdot 10^{-12} \text{ m} \Rightarrow$  de laagdikte is  $2 \cdot 146 \cdot 10^{-12} = 292 \cdot 10^{-12} \text{ m} = 2,92 \cdot 10^{-10} \text{ m}$   
 De oxidelaag is 0,0001 mm of  $1 \cdot 10^{-7} \text{ m}$  dik (gegeven)  $\Rightarrow$   
 het aantal lagen  $\text{O}^{2-}$  hierin bedraagt  $\frac{1 \cdot 10^{-7}}{2,92 \cdot 10^{-10}} = 3 \cdot 10^2$  (1 significant cijfer).
- 27** De atoommassa's van Al, Mg en Sn (Binas 99) bedragen respectievelijk:  
 26,98 u, 24,31 u en 118,7 u  $\Rightarrow$  de massaverhouding in de legering is:  
 $m_{\text{Al}} : m_{\text{Mg}} : m_{\text{Sn}} = (4000 \cdot 26,98) : (200 \cdot 24,31) : (1 \cdot 118,7) = 909 : 41,0 : 1,00$   
 Het massapercentage aluminium in de legering bedraagt:  
 $\frac{m_{\text{Al}}}{m_{\text{totaal}}} \cdot 100\% = \frac{909}{909 + 41 + 1} \cdot 100\% = \frac{909}{951} \cdot 100\% = 95,6\%$

## Zoetstof aspartaam

- 28 Door de aanwezigheid van de polaire N-H en O-H bindingen is aspartaam een polaire stof die bovendien waterstofbruggen kan vormen. Water is eveneens een polaire stof met waterstofbruggen. Door deze verwantschap zal aspartaam makkelijk in water kunnen oplossen ('soort zoekt soort').
- 29 Als een oplossing wordt verduld van 1,0 g tot 0,15 g per liter, dan moet het volume worden vergroot met een factor  $\frac{1,0}{0,15} = 6,66$ . De verdunde aspartaamoplossing zal dus een volume krijgen van  $6,66 \cdot 3,0 \text{ mL} = 20 \text{ mL}$ . Er moet aan de voorraadoplossing van 3,0 mL dus nog 17 mL water worden toegevoegd (2 significante cijfers).
- 30 De massa van 1 mol aspartaam,  $\text{C}_{14}\text{H}_{18}\text{N}_2\text{O}_5$ , bedraagt:  
 $14 \cdot 12,01 + 18 \cdot 1,008 + 2 \cdot 14,01 + 5 \cdot 16,00 = 294,3 \text{ g}$  (Binas 99)  
De concentratie van 0,15 g aspartaam per liter is dus hetzelfde als  
 $\frac{0,15 \text{ g}}{294,3 \text{ g mol}^{-1}} = 5,10 \cdot 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$ . Een 0,10 M suikeroplossing smaakt even zoet als deze aspartaamoplossing  $\Rightarrow$  aspartaam is  $\frac{0,10}{5,10 \cdot 10^{-4}} = 2,0 \cdot 10^2$  maal zo zoet als suiker (2 significante cijfers).

Vind je dit onderwerp lastig? Bekijk een uitlegfilmpje op [mijnexamenbundel.nl](https://mijnexamenbundel.nl) of oefen met extra examenopgaven.



## 2 Reacties en reactieomstandigheden

### Gasreactie

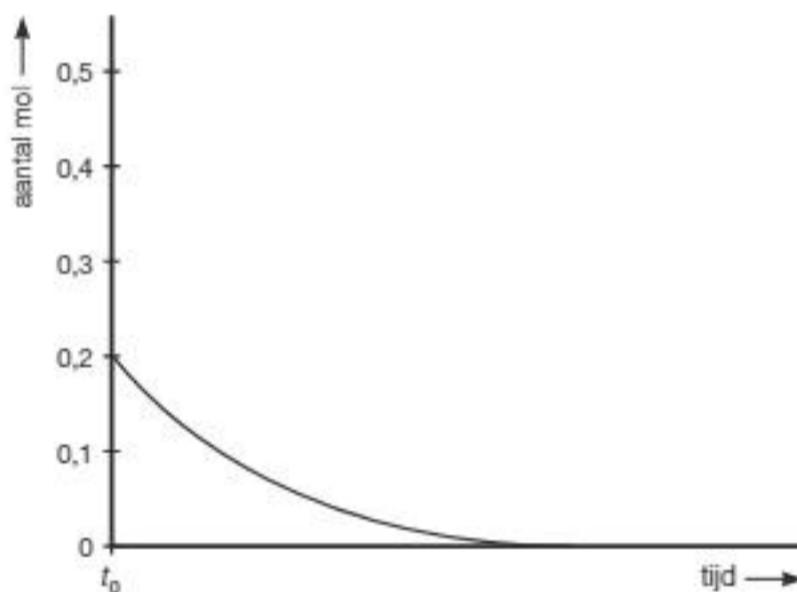
Men verhit een mengsel van 0,40 mol stikstofmono-oxide en 0,20 mol waterstof tot 800 °C. Bij deze temperatuur kunnen stikstofmono-oxide en waterstof reageren tot stikstof en waterdamp.

- 1 Geef de vergelijking voor deze reactie.

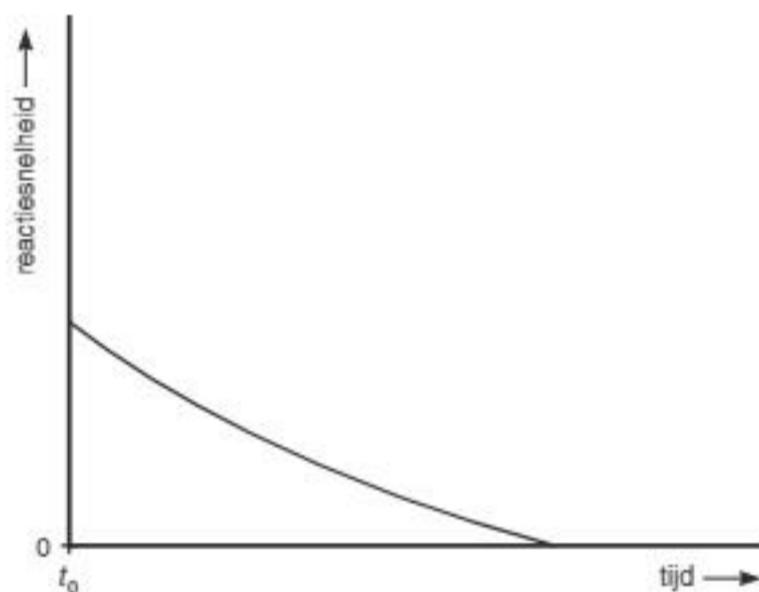
Op tijdstip  $t_1$  is nog de helft van de oorspronkelijke hoeveelheid waterstof over.

- 2 Bereken de hoeveelheden van de andere stoffen die op dat moment aanwezig zijn.

figuur 1



figuur 2



Figuur 1 geeft aan hoe de hoeveelheid waterstof verandert als functie van de tijd.  
Het tijdstip  $t_0$  geeft het begin van de reactie aan.

- 3 Geef in figuur 1 het tijdstip  $t_1$  aan.

- 4 Schets in figuur 1 ook hoe de hoeveelheden stikstofmono-oxide, stikstof en waterdamp gedurende de reactie veranderen.  
Geef bij elke lijn duidelijk aan op welke stof zij betrekking heeft.

In figuur 2 wordt de reactiesnelheid als functie van de tijd weergegeven.  
Onder reactiesnelheid wordt hier verstaan het aantal mol waterstof dat per tijdseenheid reageert.

- 5 Welke betekenis ken je toe aan het oppervlak van het gebied onder de kromme?  
Licht je antwoord toe.
- 6 Schets in figuur 2 het verloop van de reactiesnelheid als functie van de tijd voor het geval de proef, onder overigens gelijkblijvende omstandigheden, wordt uitgevoerd bij een hogere temperatuur. Licht de tekening toe.

## Vermiljoenrood

Tot aan de 19e eeuw werd het rode pigment vermiljoen veel gebruikt in kunstschildersverven. Vermiljoen bestaat uit kwik(II)sulfide ( $HgS$ ) en wordt in de natuur gevonden als het mineraal cinnaber. Rode partijen op schilderijen, waarvoor vermiljoen is gebruikt, kunnen onder invloed van licht langzaam verkleuren: er ontstaan zwarte en witte plekken. Dit degradatieproces is onomkeerbaar. Scheikundige Katrien Keune onderzocht de rode partijen in Rubens' schilderij 'Portret van een jonge vrouw' (dat waarschijnlijk uit 1606 dateert). In dit schilderij zijn de rode partijen verkleurd. Volgens Keune zorgt een kleine hoeveelheid chloride voor de verkleuringen. Door minuscule verfmonsters uit het schilderij te onderzoeken, kwam ze tot de conclusie dat de volgende drie stappen een rol spelen in het degradatieproces:

- 1 Kwik(II)sulfide reageert met aanwezige chloride-ionen tot kwik, sulfide-ionen en chlooratomen. De chlooratomen reageren vervolgens verder met de sulfide-ionen tot zwavel en chloride-ionen;
- 2 Kwik(II)sulfide reageert met chloride tot corderoit ( $Hg_3S_2Cl_2$ );
- 3 Corderoit ontleedt tot kwik, zwavel en kwik(I)chloride ( $Hg_2Cl_2$ ), dat op zijn beurt ontleedt tot kwik en kwik(II)chloride.

De omzettingen genoemd bij stap 1 en 3 spelen zich af onder invloed van licht. De zwarte kleur ontstaat volgens Keune, doordat zeer kleine bolletjes kwik zich hechten aan nog aanwezig kwik(II)sulfide. De witte kleur wordt veroorzaakt door de kwikchloriden.

- 7 Geef de bij stap 1 beschreven reacties in twee vergelijkingen weer.
- 8 Leg onder andere aan de hand van deze reactievergelijkingen uit of de conclusie mag worden getrokken, dat chloride-ionen als katalysator fungeren in deze omzetting.  
In stap 2 ontstaat, behalve corderoit, één andere soort deeltjes.
- 9 Geef de vergelijking voor deze reactie.
- 10 Geef de bij stap 3 beschreven reacties in twee vergelijkingen weer.

## Witte verf

Voor witte verf wordt vaak titaan(IV)oxide ( $TiO_2$ ) als pigment gebruikt. Deze stof wordt bereid uit het erts ilmeniet. Ilmeniet is van oorsprong ijzer(II)titanaat,  $FeTiO_3$ . In de loop van de tijd heeft echter een deel van het ijzer(II)titanaat met zuurstof uit de lucht gereageerd. Door deze reactie bestaat het erts behalve uit ijzer(II)titanaat ook uit ijzer(III)titanaat ( $Fe_2(TiO_3)_3$ ) en ijzer(III)oxide ( $Fe_2O_3$ ).

- 11 Leg uit waarin het massapercentage titaan het hoogst is: in zuiver ijzer(II)titanaat of in erts waarvan een deel van het ijzer(II)titanaat met zuurstof heeft gereageerd.

Bij de bereiding van titaan(IV)oxide laat men het erts eerst reageren met een zwavelzuroplossing. Hierbij treden reacties op waarbij onder andere  $TiO_3^{2-}$  wordt omgezet tot  $TiO^{2+}$ . Door reactie met water wordt vervolgens  $TiO^{2+}$  omgezet tot  $TiO_2$ . Deze laatste reactie is geen redoxreactie.

- 12 Geef de vergelijking van de reactie van  $TiO^{2+}$  met water onder vorming van onder andere  $TiO_2$ .

## Diamant

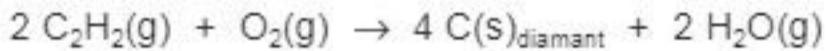
Diamant is een niet stabiele vorm van koolstof. Diamant kan door middel van een exotherme reactie overgaan in grafiet:



Bij verhitting van diamant in een stikstofatmosfeer tot een temperatuur boven 2000 K wordt diamant binnen korte tijd omgezet in grafiet. Bij kamertemperatuur blijkt diamant, ook na jaren, niet over te gaan in grafiet.

- 13 Schets van de omzetting van diamant in grafiet een energiediagram en geef aan de hand daarvan aan hoe het komt dat diamant bij kamertemperatuur niet wordt omgezet in grafiet.

Diamant wordt voor het grootste deel door mijnbouw gewonnen. Er zijn echter ook processen ontwikkeld om kunstmatig diamant te maken. Bij één van die processen wordt ethyn onvolledig verbrand; de reactieproducten, waaronder koolstof, worden in contact gebracht met een diamant. Door het neerslaan van koolstof op de diamant groeit deze aan. Het hele proces is als volgt weer te geven:



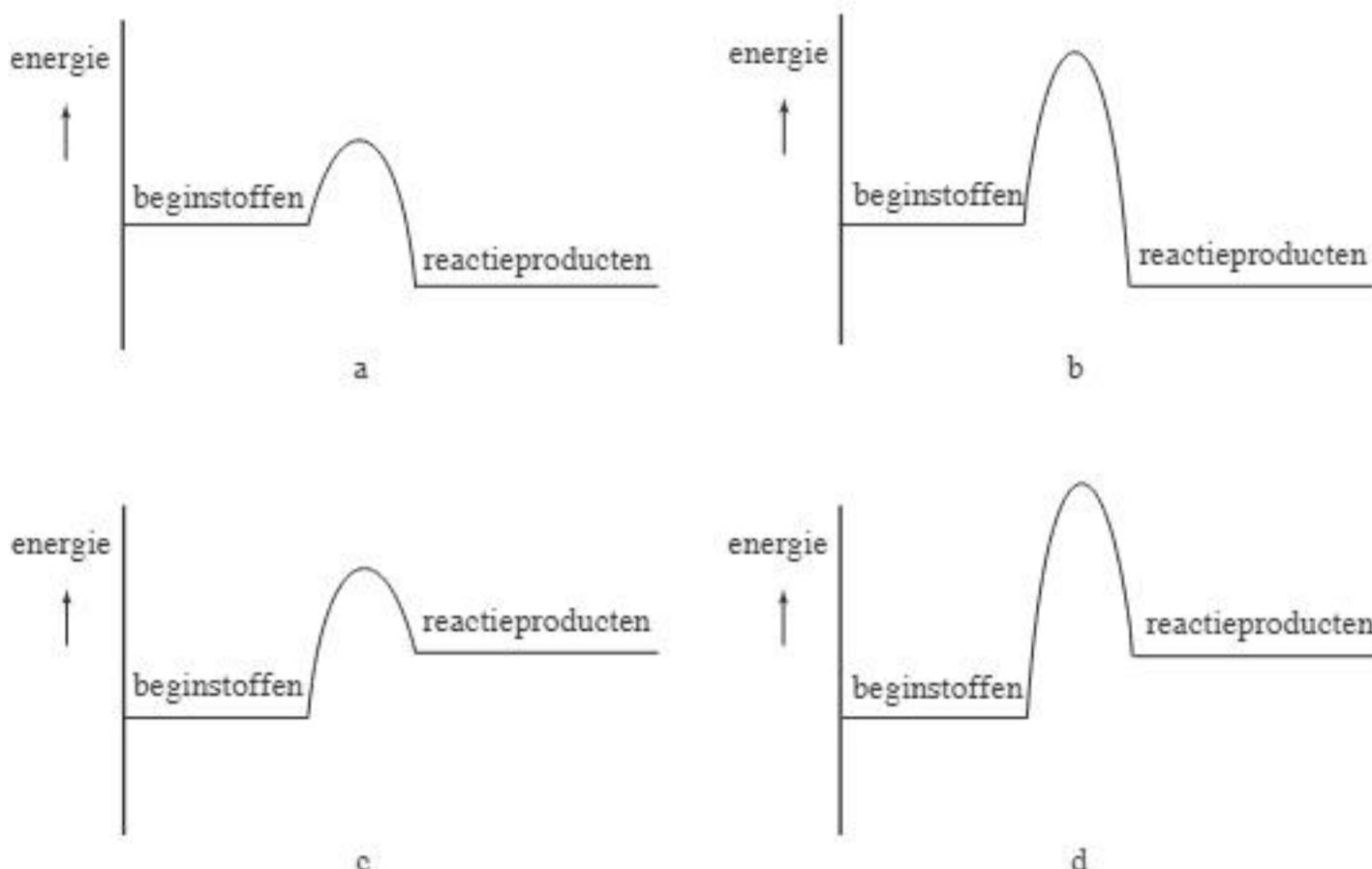
- 14 Bereken met behulp van Binas tabel 57A en tabel 57B de energieverandering  $\Delta E$  van deze reactie in joule per mol  $C(s)_{\text{diamant}}$  ( $T = 298 \text{ K}$ ,  $p = p_0$ ).
- 15 Hoeveel liter  $C_2H_2$  ( $T = 298 \text{ K}$  en  $p = p_0$ ) zou je ten minste nodig hebben om  $1,00 \cdot 10^3 \text{ g}$  (kunstmatige) diamant te kunnen maken?

## Stikstofbepaling

Het Australische bedrijf Multitrator heeft een methode ontwikkeld om met behulp van bleekwater het stikstofgehalte van een kunstmest te bepalen. Bij deze bepaling wordt een oplossing van de kunstmest getitreerd met verduld bleekwater. Tijdens de titratie, die in zwak basisch milieu wordt uitgevoerd, wordt ammoniak omgezet tot stikstof. De reactie tussen bleekwater en ammoniak verloopt snel en is aflopend. Daarom kan deze reactie goed bij een titratie worden gebruikt. Dankzij het feit dat de reactie exotherm is, is het eindpunt van de titratie goed te bepalen.

Het verloop van een reactie kan met behulp van een energiediagram worden beschreven. Hierna zijn vier energiediagrammen (a, b, c en d) getekend.

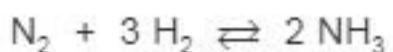
In alle diagrammen heeft de verticale as dezelfde schaal. Twee van deze energiediagrammen zijn zeker onjuist voor de reactie tussen bleekwater en ammoniak.



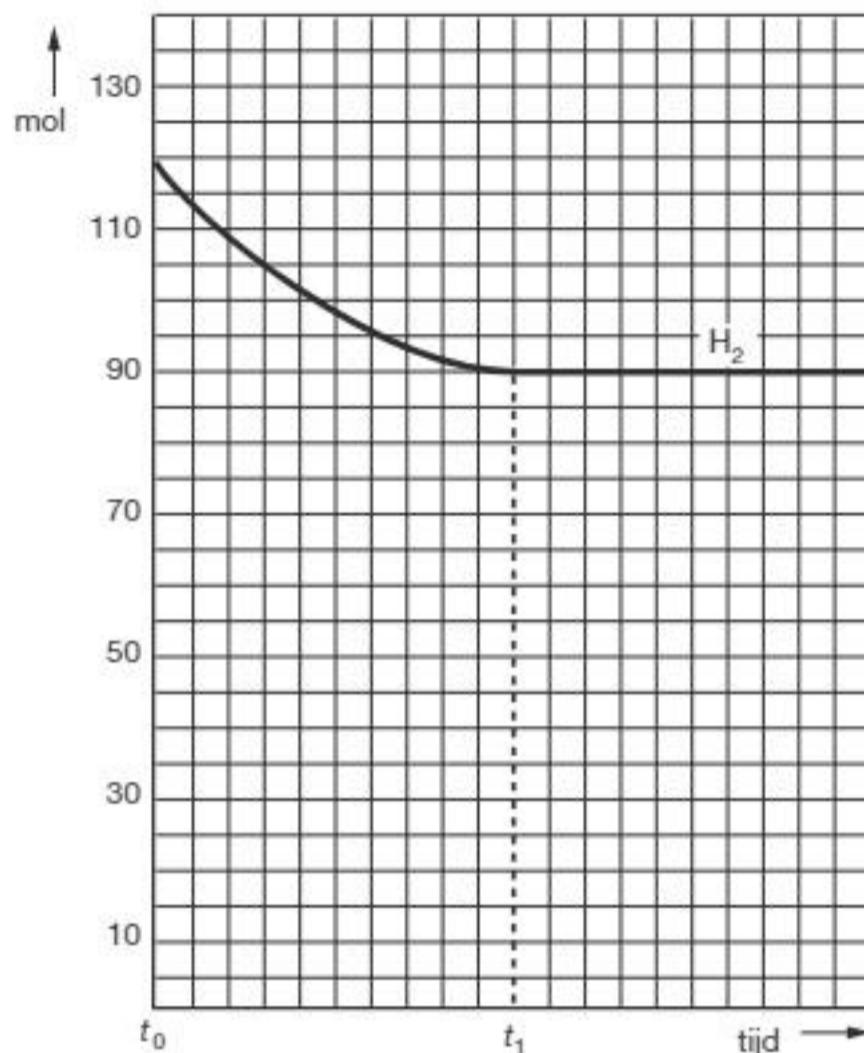
- 16 Leg uit welke twee energiediagrammen zeker onjuist zijn voor het verloop van de reactie tussen bleekwater en ammoniak.
- 17 Welke van de overgebleven energiediagrammen geeft het verloop van de reactie tussen bleekwater en ammoniak het beste weer? Geef een verklaring voor je antwoord.

## Ammoniakevenwicht

Op het tijdstip  $t_0$  brengt men in een vat 40 mol stikstof en een hoeveelheid waterstof. Op het tijdstip  $t_1$  heeft zich het volgende evenwicht ingesteld:



In de onderstaande figuur is de hoeveelheid waterstof uitgezet tegen de tijd.



Vanaf  $t_1$  loopt de lijn in het diagram horizontaal.

- 18 Volgt hieruit dat er vanaf  $t_1$  geen reactie meer plaatsvindt? Licht het antwoord toe.
- 19 Bereken hoeveel mol stikstof op het tijdstip  $t_1$  aanwezig is en schets in de figuur hoe de hoeveelheid stikstof verandert in de loop van de tijd.
- 20 Schets in de figuur ook hoe de hoeveelheid ammoniak verandert in de loop van de tijd.

Bij kamertemperatuur ligt het evenwicht vrijwel geheel aan de kant van ammoniak.  
Bij hogere temperatuur is in het evenwichtsmengsel minder ammoniak aanwezig.  
Toch werkt men bij de ammoniakfabricage met temperaturen tussen 400 °C en 500 °C.

- 21 Verklaar dit werken bij hoge temperatuur.

- Het ammoniakevenwicht stelt zich pas in als er een geschikte katalysator aanwezig is.
- 22 Geef in de figuur aan hoe de afname van de hoeveelheid waterstof zou verlopen als er meer van de katalysator zou worden toegevoegd.

## Methanol als brandstof

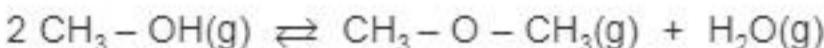
Methanol kan gebruikt worden als brandstof voor verbrandingsmotoren. Een nadeel van methanol in vergelijking met benzine is de lagere energiedichtheid.

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 ( $0,79 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$  bij 298 K) en de verbrandingsenergie van methanol ( $-7,3 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ ). Onder de verbrandingsenergie van een stof verstaan we de energieverandering die optreedt bij volledige verbranding van 1 mol van die stof bij 298 K en  $p = p_0$ .

- 23** Bereken de energiedichtheid van methanol.

Uit methanol kan benzine gemaakt worden. Daartoe wordt methanol eerst omgezet in (gasvormig) methoxymethaan en waterdamp. 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 gasevenwicht in:



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

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

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

- 25** Leg uit of de keuze van een hoge druk invloed heeft op het gestelde in doel 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 energieverandering 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.

- 26** Bereken de energieverandering<sup>1)</sup> van deze reactie naar rechts per mol gevormd  $\text{CH}_3 - \text{O} - \text{CH}_3(\text{g})$ .

- 27** 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.

1) Bij de berekening moet de condensatie-energie van methanol worden meegenomen.

## Dieselmotor

In een dieselmotor wordt dieselolie verbrand. In de cilinders van de motor wordt deze brandstof toegevoegd aan een overmaat lucht. Bij de temperatuur die in de cilinders heerst, verbrandt de dieselolie tot voornamelijk koolstofdioxide en water.

Daarnaast wordt bij deze temperatuur stikstofmonooxide gevormd. Deze reactie is endotherm. De vorming van stikstofmonooxide in de cilinders van de dieselmotor is een evenwichtsreactie:



Het gasmengsel waarin bovenvermeld evenwicht heerst, wordt langzaam afgekoeld.

- 28** Leg uit of de hoeveelheid NO afneemt of toeneemt wanneer dit gasmengsel wordt afgekoeld.

De temperatuur van het gasmengsel dat uit de uitlaat van een dieselmotor komt, is veel lager dan de temperatuur die in de cilinders heerst. Het gasmengsel dat de cilinders verlaat, wordt dus in korte tijd sterk afgekoeld. Tijdens deze snelle afkoeling neemt de hoeveelheid NO in het gasmengsel niet merkbaar af. Uit de uitlaat komt dus meer NO dan wanneer het gasmengsel uit de cilinders langzaam zou worden afgekoeld tot de temperatuur die buiten de cilinders heerst. Ook als het gasmengsel dat de cilinders heeft verlaten langere tijd bij deze lagere temperatuur bewaard blijft, verandert de hoeveelheid NO niet meer.

- 29** Verklaar waarom ook na langere tijd de hoeveelheid NO in het gasmengsel dat de cilinders heeft verlaten, niet meer verandert.

Het NO draagt onder meer bij aan smogvorming en het ontstaan van zure regen.

Daarom is aan de uitstoot van NO een maximumgrens gesteld.

De NO uitstoot van dieselmotoren kan worden verminderd door een oplossing van ureum ( $\text{CH}_4\text{ON}_2$ ) in het gasmengsel te spuiten dat de cilinders verlaat.

Een katalysator in het uitlaatsysteem zorgt ervoor dat reacties optreden tussen ureum, NO en nog een stof die in het gasmengsel aanwezig is dat vanuit de cilinders in de uitlaat komt.

Deze reacties kunnen worden weergegeven in één reactievergelijking. Als reactieproducten komen in deze reactievergelijking uitsluitend  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$  voor.

In deze vergelijking komen ureum en NO voor in de molverhouding

$\text{CH}_4\text{ON}_2 : \text{NO} = 1 : 2$ .

- 30** Geef deze reactievergelijking.

Een dieselmotor van een groot schip zonder voorziening waarmee de NO uitstoot wordt verminderd, produceert 53 kg NO per uur.

Deze scheepsmotor wordt uitgerust met de beschreven voorziening. Per seconde wordt 150 mL ureumoplossing (80 g ureum per L) ingespoten.

- 31** Bereken met hoeveel procent de NO uitstoot afneemt. Ga ervan uit dat alle ureum reageert volgens de reactie beschreven in onderdeel 30.

## Heet

Voor het snijden van ijzeren voorwerpen zoals spoorrails worden snijbranders gebruikt. In een snijbrander wordt vrijwel altijd acetyleen (ethyn,  $C_2H_2$ ) gebruikt in combinatie met zuivere zuurstof.

Met deze ethyn-zuurstofvlam kan een vlamtemperatuur van ruim boven het smeltpunt van ijzer worden bereikt.

Andere koolwaterstoffen zoals ethaan ( $C_2H_6$ ) zijn onbruikbaar voor het snijden van ijzer door een te lage vlamtemperatuur.

De temperatuur die een vlam maximaal kan bereiken, hangt vooral af van twee factoren:

- de reactiewarmte van de verbranding van de brandstof;
- welke verbrandingsproducten ontstaan en in welke hoeveelheden.

Als aangenomen wordt dat ethyn volledig verbrandt, ontstaan koolstofdioxide en waterdamp. Wanneer verlies van energie naar de omgeving wordt verwaarloosd, wordt de vrijkomende energie uitsluitend gebruikt om koolstofdioxide en waterdamp te verwarmen. Met behulp van de reactiewarmte van de verbranding (de verbrandingswarmte) van ethyn en de soortelijke warmtes van koolstofdioxide en water kan de temperatuurstijging van het gasmengsel berekend worden. Bij volledige verbranding van ethyn zou de maximale temperatuur van de vlam boven  $7 \cdot 10^3$  K liggen.

De soortelijke warmte van een stof kan worden gedefinieerd als het aantal joule dat nodig is om 1 g stof 1 K in temperatuur te laten stijgen.



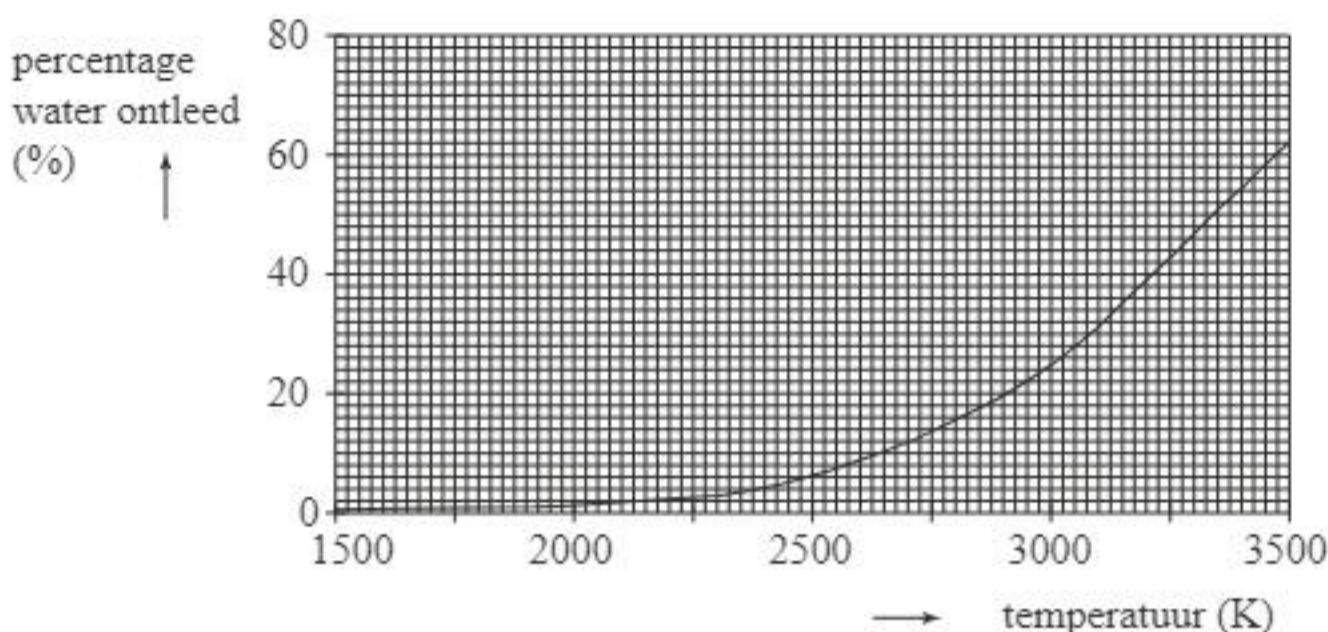
- 32** Laat met behulp van een berekening zien dat bij volledige verbranding van ethyn een temperatuurstijging van meer dan  $7 \cdot 10^3$  K wordt bereikt.

Neem aan dat alle energie wordt gebruikt om de ontstane waterdamp en koolstofdioxide te verwarmen. Maak onder andere gebruik van de volgende gegevens:

- de verbrandingswarmte van ethyn waarbij water als waterdamp vrijkomt, bedraagt  $-1,26 \cdot 10^6 \text{ J mol}^{-1}$ ;
- de soortelijke warmte van waterdamp bedraagt  $2,8 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ;
- de soortelijke warmte van koolstofdioxidegas bedraagt  $1,3 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$ .

De berekende waarde van de temperatuur van de ethyn-zuurstofvlam is veel hoger dan de temperatuur die in werkelijkheid gehaald wordt. De grote afwijking tussen de berekende en de gemeten vlamtemperatuur kan worden verklaard uit de chemische eigenschappen van onder andere waterdamp.

Als waterdamp wordt verhit, blijkt water namelijk te ontleden in waterstof en zuurstof. In onderstaand diagram is weergegeven welk percentage van de watermoleculen is ontleed afhankelijk van de temperatuur.



Tussen 2000 K en 3500 K is de ontleding van waterdamp een evenwicht.

- 33 Geef de evenwichtsvoorraarde van dit evenwicht en leg met behulp van het diagram uit hoe de waarde van de evenwichtsconstante  $K$  verandert als de temperatuur stijgt.

Uit metingen blijkt dat bij de reactie van ethyn met zuurstof vooral koolstofmonoóxide en waterstof worden gevormd.

- 34 Bereken de reactiewarmte per mol ethyn van de reactie waarbij ethyn met zuurstof reageert tot koolstofmono-oxide en waterstof.  
Gebruik Binas-tabel 57.

Op basis van de aanname dat de verbrandingsproducten van de ethyn-zuurstofvlam CO en  $H_2$  zijn, kan worden berekend dat dan een temperatuurstijging van ruim  $3 \cdot 10^3$  K bereikt wordt.

De temperatuurstijging die kan worden bereikt met een ethaan-zuurstofvlam, waarbij ook CO en  $H_2$  ontstaan, is lager dan van de ethyn-zuurstofvlam.

Dit wordt onder andere veroorzaakt doordat bij de ethaan-zuurstofvlam meer mol gas moet worden verwarmd. Ook is de reactiewarmte lager.

In de bijlage zijn twee energiediagrammen weergegeven. Hierin zijn de energieniveaus van de (tussentijdse) niet-ontleedbare stoffen en de reactieproducten al aangegeven<sup>1)</sup>.

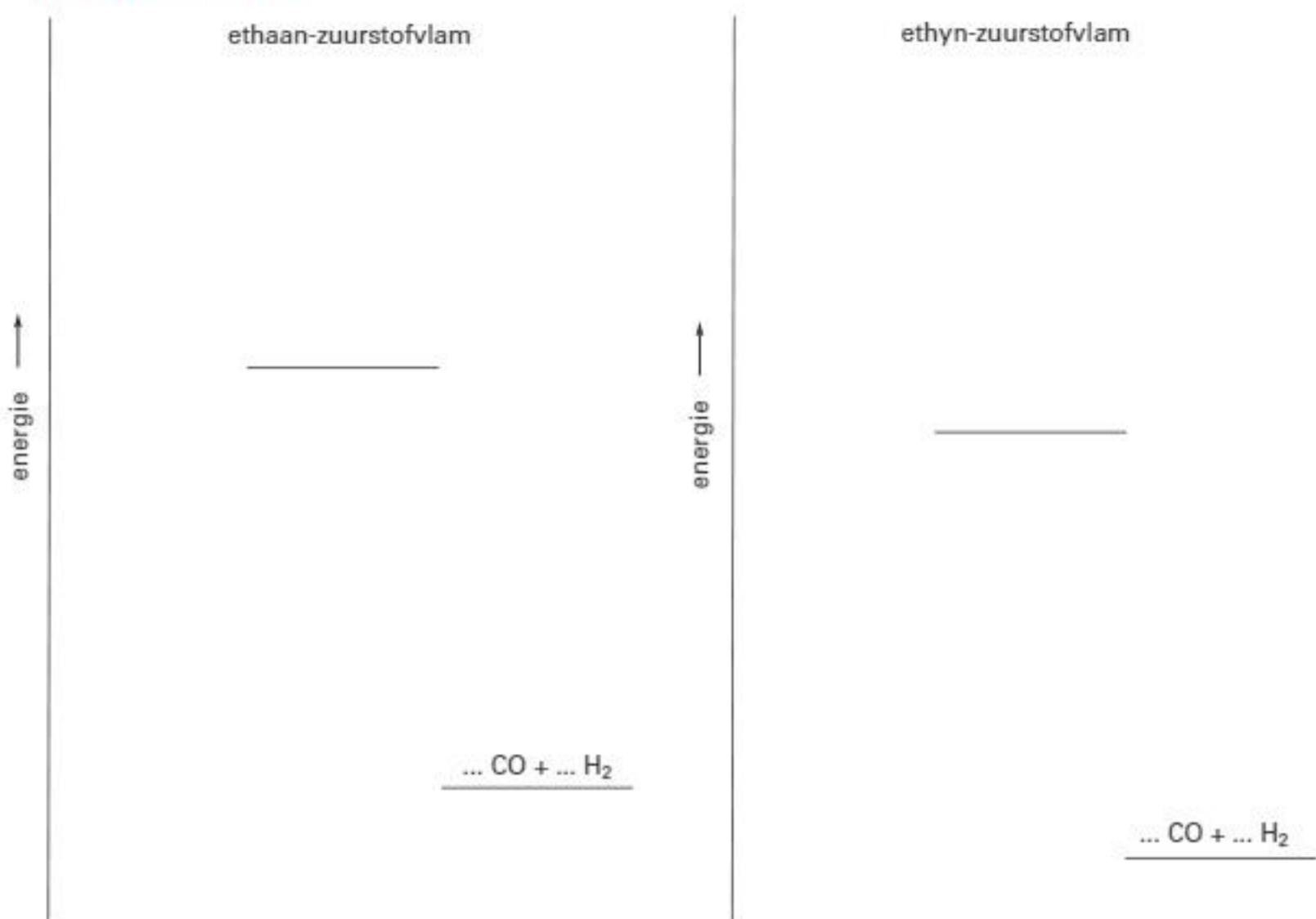
- 35 Maak in de bijlage (op de volgende bladzijde) de energiediagrammen voor beide reacties af, zodat duidelijk wordt waarom de reactiewarmte van de ethaan-zuurstofvlam lager is dan die van de ethyn-zuurstofvlam.  
Gebruik Binas-tabel 57B.

Geef in de diagrammen het volgende aan:

- de ontbrekende energieniveaus van de beginstoffen;
- de molecuulformules en coëfficiënten van de reacties.

1) Let op: Er staan dus geen energieniveaus van geactiveerde toestanden in deze bijlage.

## bijlage bij vraag 35

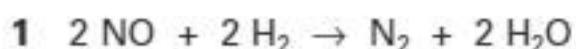


## Hints bij hoofdstuk 2

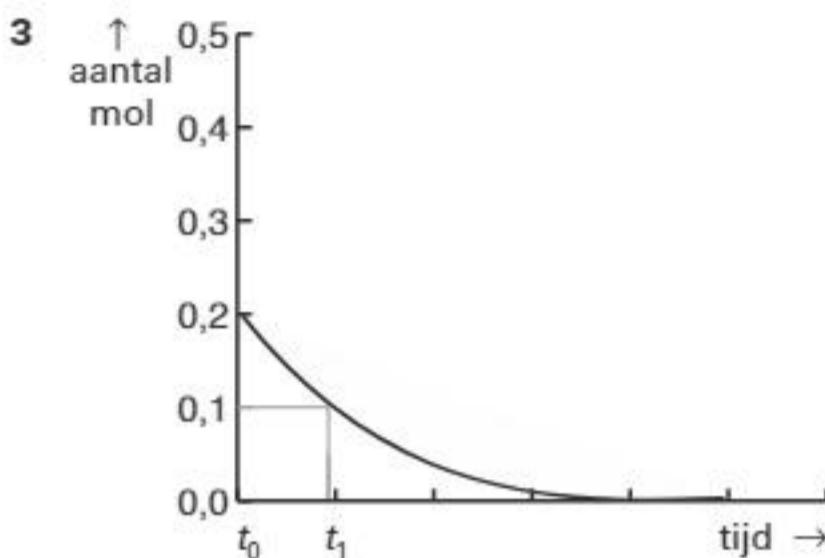
- 1 stikstofmono-oxide = NO
- 2 Er is dus 0,10 mol H<sub>2</sub> omgezet. In welke verhouding reageren de stoffen?
- 3 Zie het antwoord op vraag 2.
- 4 Gebruik antwoord 2 en bedenk het aantal mol van elke stof na afloop.
- 5 De reactiesnelheid is hier uitgedrukt in aantal mol H<sub>2</sub> per tijdseenheid.
- 6 Welk effect heeft een hogere temperatuur op de reactiesnelheid en hoe is dat zichtbaar in de grafiek?
- 7 Wanneer gaat het om ionen en wanneer gaat het om atomen?
- 8 Wat is een van de kenmerken van een katalysator?
- 9 Is het andere deeltje een molecuul of een ion?
- 10 Ontledingsreacties hebben maar één beginstof.
- 11 Er is zuurstof bijgekomen.
- 12 De ladingen aan weerszijden van de reactiepijl moeten gelijk zijn.
- 13 Wat weerhoudt diamant ervan om in grafiet over te gaan?
- 14 Ga uit van drie deelprocessen waarvan de energieverandering bekend is.
- 15 Dit is een molberekening waarbij het molair volume moet worden gebruikt.
- 16 De reactie is exotherm.
- 17 De reactie verloopt snel.
- 18 Waarom loopt de hoeveelheid H<sub>2</sub> niet naar nul?
- 19 De *afname* van het aantal mol N<sub>2</sub> is een derde van die van H<sub>2</sub>.
- 20 De *toename* van het aantal mol NH<sub>3</sub> is twee derde van de *afname* van H<sub>2</sub>.
- 21 Hoe lang wil je wachten op een gunstige evenwichtsligging?
- 22 De evenwichtssituatie wordt niet beïnvloed.
- 23 Reken zowel mol als liter om in gram of kilogram.
- 24 Heeft de druk hier invloed op de evenwichtsligging?
- 25 Heeft de druk invloed op de snelheid waarmee het evenwicht zich instelt?
- 26 Gebruik, naast vormings- en ontledingsenergie, ook condensatie-energie.
- 27 Beslis op grond van antwoord 26 of dit een exotherm of een endotherm proces is.
- 28 Hoe beïnvloedt de temperatuur beide reacties?
- 29 Kan de evenwichtsreactie nog verlopen?
- 30 De bedoelde stof in het gasmengsel is zuurstof.
- 31 Hoeveel gram NO kun je met de ureum binden?
- 32 Stel de reactievergelijking op en reken mol om in gram, uitgaande van 1 mol ethyn.
- 33 Wat gebeurt er met de hoeveelheid water als de temperatuur stijgt?
- 34 Je hebt maar met twee vormingswarmten te maken.
- 35 De vormingswarmten geven het verschil in energie met de niet-ontleedbare stoffen.

## Uitwerkingen bij hoofdstuk 2

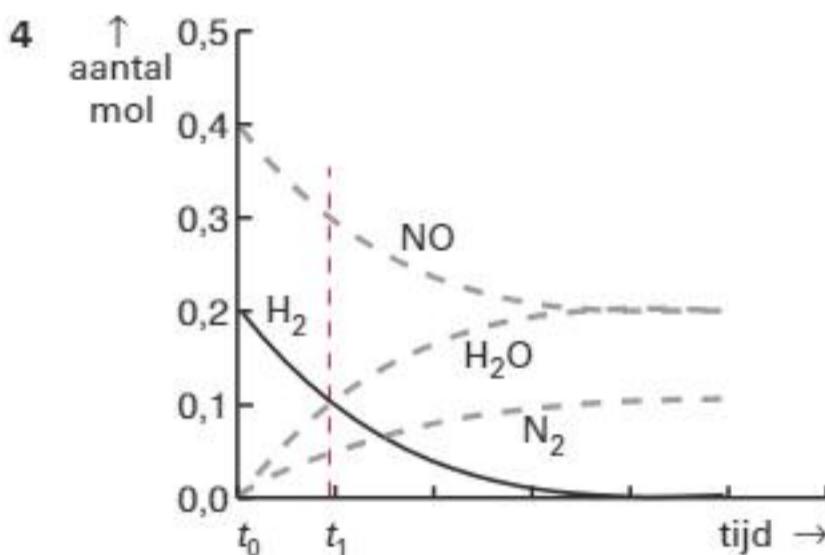
### Gasreactie



- 2 Op het tijdstip  $t_1$  is 0,1 mol  $\text{H}_2$  omgezet en dus ook 0,1 mol NO (zie reactievergelijking). Gevormd zijn: 0,1 mol waterdamp en  $\frac{0,1}{2} = 0,05$  mol  $\text{N}_2$ . Dus op  $t_2$  aanwezig: 0,3 mol NO, 0,1 mol  $\text{H}_2$ , 0,05 mol  $\text{N}_2$  en 0,1 mol  $\text{H}_2\text{O(g)}$ .



figuur 1

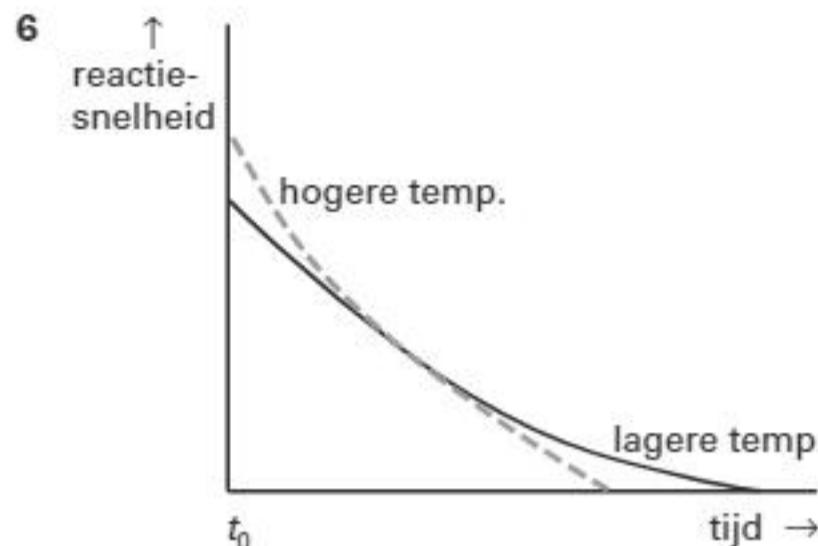


figuur 2

- 5 Het oppervlak beneden de kromme geeft de totale hoeveelheid  $\text{H}_2$  weer die werd omgezet, dus 0,2 mol.

Het oppervlak beneden de kromme verkrijgt men door integratie:  $\int_{t_0}^{t_{\text{end}}} s_t dt$

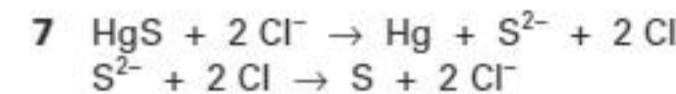
Aangezien  $s_t$  hier gelijk is aan het aantal mol  $\text{H}_2$  dat (op elk tijdstip  $t$ ) per tijdseenheid verdwijnt, krijgt men bij vermenigvuldiging hiervan met 'dt' het totaal aantal mol  $\text{H}_2$  dat in het tijdsinterval  $dt$  werd omgezet.



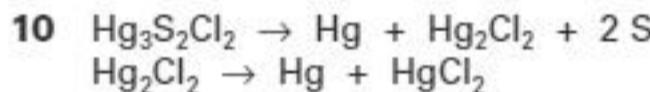
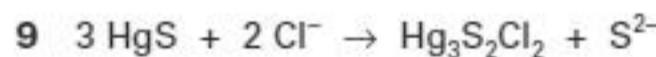
figuur 3

Bij hogere temperatuur zal de reactiesnelheid aanvankelijk groter zijn, maar sterker afnemen. Het oppervlak onder beide krommen moet gelijk zijn (komt bij beide overeen met 0,2 mol, zie onderdeel 19).

### Vermiljoenrood



- 8 Bij de reacties in uitwerking 1 worden evenveel chloride-ionen gebruikt als er ontstaan. Het chloride reageert dus netto niet mee, dus het chloride is een katalysator.

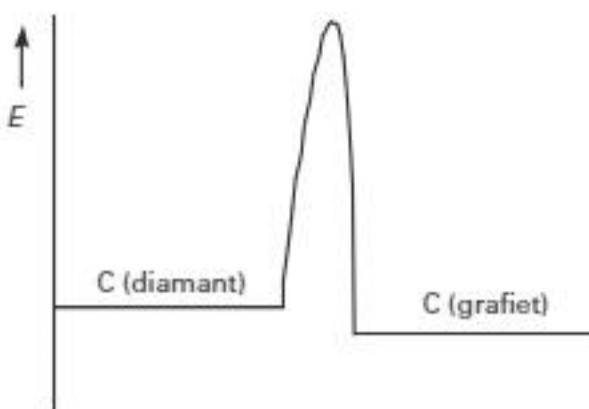


### Witte verf

- 11 Door de reactie met zuurstof is er een massatoename van het erts. Bij een gelijkblijvende hoeveelheid titaan leidt dat tot een lager massapercentage aan titaan. Conclusie: zuiver ijzer(II)titanaat heeft het hoogste massapercentage titaan.  
*In ilmeniet geldt: de molverhouding van Ti en Fe = 1 : 1. Op elke 3 mol Ti zijn dus 3 mol Fe aanwezig. In ijzer(III)titanaat is op elke drie mol Ti 2 mol Fe aanwezig. De ontbrekende mol Fe heeft zich gebonden aan zuurstof (in  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).*
- 12  $\text{TiO}^{2+} + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{TiO}_2 + 2 \text{H}_3\text{O}^+$  of  $\text{TiO}^{2+} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{TiO}_2 + 2 \text{H}^+$

**Diamant**

- 13** Aangenomen mag worden dat de activeringsenergie erg hoog is voor deze reactie. Alleen bij zeer hoge temperaturen wordt er genoeg energie aan het kristalrooster toegevoegd om het diamantrooster te 'reorganiseren' tot dat van grafiet.



- 14** De energieverandering van de reactie  $2 \text{C}_2\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 4 \text{C(s)}_{\text{diamant}} + 2 \text{H}_2\text{O(g)}$  berekenen:

$$\Delta E = \sum E_{\text{vorming producten}} - E_{\text{vorming beginstof}} = E_{\text{vorming diamant}} + E_{\text{vorming H}_2\text{O(g)}} - E_{\text{vorming C}_2\text{H}_2} =$$

$$4 \cdot +0,019 \cdot 10^5 \text{ J} + 2 \cdot -2,42 \cdot 10^5 \text{ J} - 2 \cdot -2,27 \cdot 10^5 \text{ J} = (0,076 - 4,84 - 4,54) \cdot 10^5 = -9,30 \cdot 10^5 \text{ J}$$

$\Delta E$  voor de reactie per mol diamant bedraagt  $\frac{-9,30 \cdot 10^5 \text{ J}}{4} = -2,33 \cdot 10^5 \text{ J}$  (3 significante cijfers).

De gegeven reactie kan denkbeeldig worden opgesplitst in een aantal deelreacties:

- ontleding van 2 mol  $\text{C}_2\text{H}_2(\text{g})$ :  $2 \text{C}_2\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 4 \text{C(s)}_{\text{grafiet}} + 2 \text{H}_2(\text{g}) \quad \Delta E_1 = -4,54 \cdot 10^5 \text{ J}$
- vorming van 2 mol  $\text{H}_2\text{O(g)}$ :  $2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{H}_2\text{O(g)} \quad \Delta E_2 = -4,84 \cdot 10^5 \text{ J}$
- vorming van 4 mol diamant:  $4 \text{C(s)}_{\text{grafiet}} \rightarrow 4 \text{C(s)}_{\text{diamant}} \quad \Delta E_3 = +0,076 \cdot 10^5 \text{ J}$

Totale energie-effect bij (exotherme) vorming van 4 mol diamant is:  $-9,30 \cdot 10^5 \text{ J}$

- 15** Omdat de massa van 1 mol C 12,01 g is (Binas 99) komt  $1,00 \cdot 10^3 \text{ g}$  diamant overeen met  $\frac{1,00 \cdot 10^3 \text{ g}}{12,01 \text{ g mol}^{-1}} = 83,26 \text{ mol C}$ .

Volgens de molverhouding (zie reactievergelijking in opgave) is hiervoor  $\frac{83,26}{2} = 41,63 \text{ mol C}_2\text{H}_2$  nodig. Het molair volume bij  $T = 298 \text{ K}$  en  $p = p_0$  is  $2,45 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$  of  $24,5 \text{ L mol}^{-1}$  (Binas 7)  $\Rightarrow 41,63 \text{ mol C}_2\text{H}_2$  heeft een volume van  $41,63 \text{ mol} \cdot 24,5 \text{ L mol}^{-1} = 1,02 \cdot 10^3 \text{ L}$  (3 significante cijfers).

**Stikstofbepaling**

- 16** Gegeven is dat de reactie tussen bleekwater en ammoniak exotherm is. Er komt dus warmte (energie) vrij. De diagrammen c en d zijn dus zeker onjuist, want daar moet energie worden toegevoerd om de (endotherme) reactie te laten verlopen.
- 17** De reactie verloopt snel. Diagram a, met een lage activeringsenergie, geeft dat beter weer dan diagram b.

## Ammoniakevenwicht

- 18** Er vindt zowel een heen- als een terugreactie plaats, maar in de evenwichtstoestand (vanaf tijdstip  $t_1$ ) zijn de snelheden hiervan aan elkaar gelijk.  
Daardoor blijven de hoeveelheden  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$  en  $\text{NH}_3$  constant.
- 19** Zie diagram A: Begonnen wordt met 120 mol  $\text{H}_2$ . Tijdens evenwicht is er nog 90 mol  $\text{H}_2$ . Verbruikt is dus 30 mol  $\text{H}_2$ . Volgens de molverhouding in de reactievergelijking heeft 10 mol  $\text{N}_2$  hiermee gereageerd en is er 20 mol  $\text{NH}_3$  gevormd. Op tijdstip  $t_1$  is aanwezig  $40 - 10 = 30$  mol  $\text{N}_2$ .

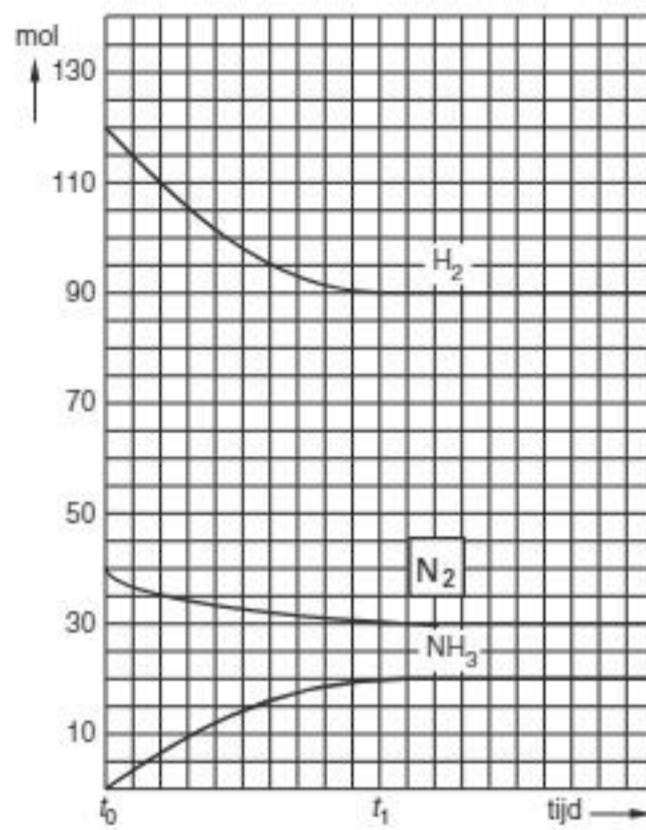


diagram A

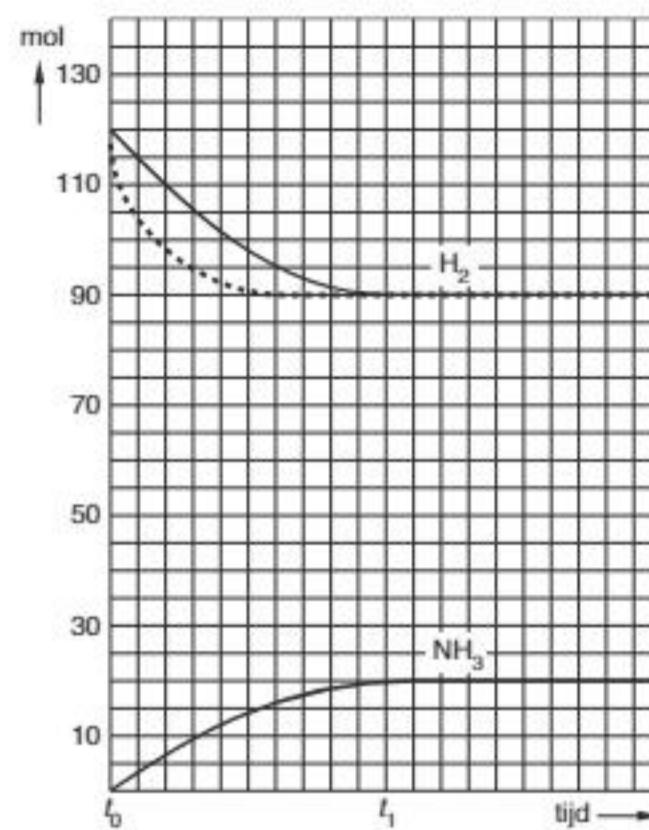


diagram B

- 20** De  $\text{NH}_3$  hoeveelheid stijgt van 0 tot 20 mol (zie onderdeel 22 en diagram A).
- 21** De hoge temperatuur is nodig om een grotere reactiesnelheid te krijgen.  
*De instelling van het evenwicht wordt bij hoge temperatuur snel. Per keer kan maar weinig ammoniak worden afgescheiden, maar dat kan wel vaak  $\Rightarrow$  grotere opbrengst per uur.*
- 22** Zie diagram B (..... = afname van waterstof met meer katalysator).

## Methanol als brandstof

- 23**  $1 \text{ m}^3$  methanol heeft een massa van  $0,79 \cdot 10^3 \text{ kg}$  (gegeven)  $\Rightarrow$  de massa van  $1 \text{ dm}^3$  of 1 liter methanol is  $0,79 \cdot 10^3 \text{ gram}$ . Bij verbranding van 1 mol (= 32,042 g volgens Binas 98) methanol komt  $7,3 \cdot 10^5 \text{ J}$  vrij (gegeven). Volledige verbranding van 1 liter methanol zal daarom opleveren:  

$$\frac{0,79 \cdot 10^3 \text{ g}}{32,042 \text{ g}} \cdot 7,3 \cdot 10^5 \text{ J} = 1,8 \cdot 10^7 \text{ J} \Rightarrow \text{energiedichtheid van methanol} = 1,8 \cdot 10^7 \text{ J L}^{-1}$$

- 24** Doel 1 wordt door hoge druk *niet* bereikt. Omdat hier evenveel gasvormige deeltjes links en rechts in de evenwichtsvergelijking voorkomen, heeft drukverandering geen invloed op de evenwichtsligging, dus ook niet op het percentage omgezette methanol.

Het bovenstaande kan theoretisch worden verklaard door twee evenwichtssituaties te vergelijken met druk  $p$  resp.  $2p$  (en gelijke temperatuur).

Bij druk  $p$  heerst evenwicht, indien de reactiesnelheid naar rechts,  $s_> = k_> [CH_3OH]^2$ , gelijk is aan die naar links,  $s_< = k_< [CH_3OCH_3] \cdot [H_2O]$ .

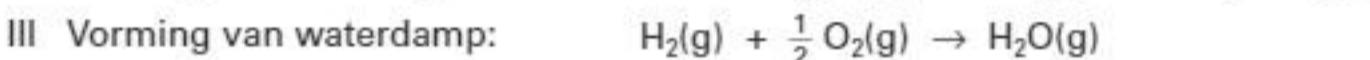
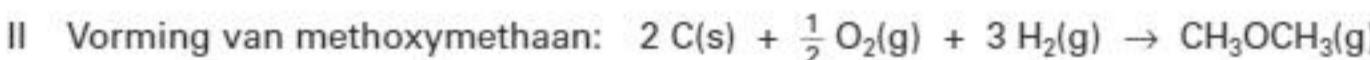
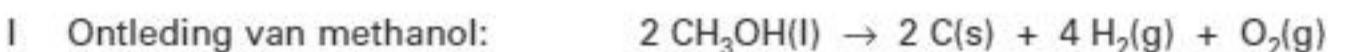
Bij drukverhoging tot  $2p$  worden alle concentraties tweemaal zo groot. Daardoor is de nieuwe reactiesnelheid naar rechts viermaal ( $2^2$ ) zo groot als daarvoor, dus  $4s_>$ .

De nieuwe reactiesnelheid naar links neemt ook met een factor vier ( $2 \cdot 2$ ) toe tot  $4s_<$ .

De beide snelheden nemen evenveel toe en zijn dus nog steeds aan elkaar gelijk  $\Rightarrow$  er is nog steeds dezelfde evenwichtsligging. Het enige verschil tussen beide evenwichtstoestanden is de hoeveelheid stof die per seconde wordt omgezet, maar dat geldt voor beide richtingen.

- 25** Voor de *snelheid* van de omzetting is alleen de reactiesnelheid naar rechts van belang, omdat methanol de beginstof is. Bij hogere druk wordt de concentratie van methanol verhoogd en daarmee de botsingskans van de moleculen. De evenwichtsinstelling wordt daardoor sneller bereikt. Hoge druk heeft dus *wel* invloed op het gestelde in doel 2.

- 26** De reactie naar rechts ( $2 \text{ CH}_3\text{OH}(\text{g}) \rightarrow \text{CH}_3\text{OCH}_3(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ ) kan opgesplitst worden in de volgende denkbeeldige ontledings- en vormingsreacties:



Het energie-effect bij de ontleding van *gasvormig* methanol kan niet in Binas 57B worden afgelezen. Daarom moet aan de bovenstaande ontledings- en vormingsreacties I t/m III nog worden toegevoegd de condensatiereactie van methanol:  $2 \text{ CH}_3\text{OH}(\text{g}) \rightarrow 2 \text{ CH}_3\text{OH}(\text{l}) \dots \text{IV}$

Het energie-effect van de totale reactie naar rechts wordt nu verkregen door sommering van de energiebijdragen van de denkbeeldige deelreacties:

$$\Delta E = \Delta E_{\text{I}} + \Delta E_{\text{II}} + \Delta E_{\text{III}} + \Delta E_{\text{IV}} = (4,78 - 1,84 - 2,42 - 0,74) \cdot 10^5 = -0,22 \cdot 10^5 \text{ J}$$

$\Delta E_{\text{I}}$  en  $\Delta E_{\text{IV}}$  zijn het dubbele van de tabelwaarden, omdat voor één mol  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$  twee mol  $\text{CH}_3\text{OH}$  nodig is.

- 27**  $\Delta E$  is negatief (zie onderdeel 26)  $\Rightarrow$  exotherme reactie.

Om de temperatuur van de gasstroom constant te houden, moet de vrijkomende warmte worden afgevoerd; er moet dus worden gekoeld.

## Dieselmotor

- 28** De vorming van NO uit de elementen is endotherm. De endotherme reactie is sterker van de temperatuur afhankelijk dan de exotherme reactie (ontleding van NO). Bij temperatuurverlaging zal de reactie 'naar rechts' dus sterker afnemen dan de reactie 'naar links' en verschuift het evenwicht 'naar links' (de 'exotherme' kant). De hoeveelheid NO neemt dus af.
- 29** De reacties in het evenwicht verlopen bij de veel lagere temperatuur (vrijwel) niet meer. Er vindt dus geen omzetting van NO meer plaats (het evenwicht is 'vastgevroren').
- 30** Maak eerst de reactievergelijking zo veel mogelijk kloppend. Daarna wordt duidelijk welke stof je nog nodig hebt.  

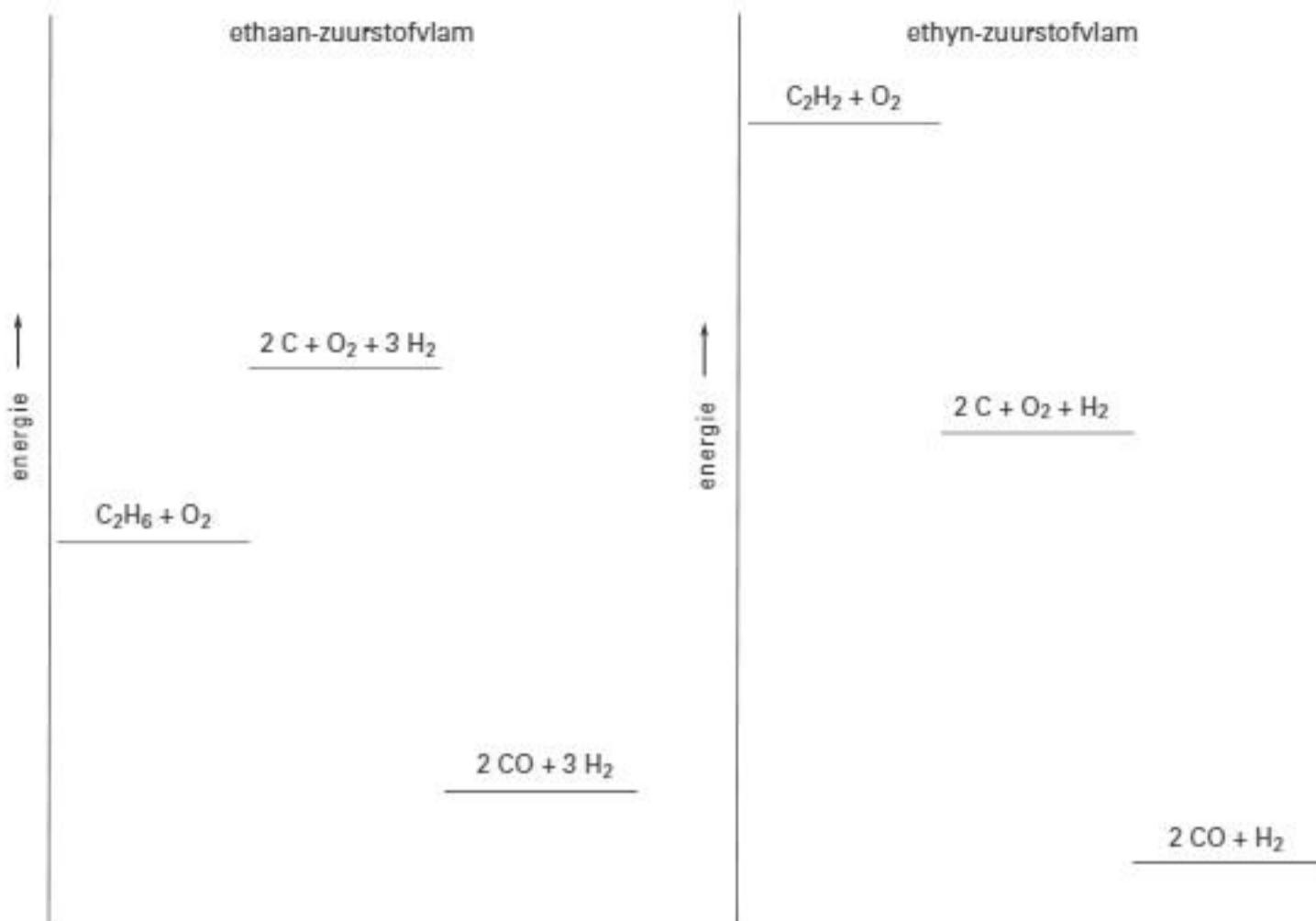
$$2 \text{CH}_4\text{ON}_2 + 4 \text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{CO}_2 + 4 \text{N}_2 + 4 \text{H}_2\text{O}$$

- 31** De ureumoplossing bevat 80 g ureum per liter  $\Rightarrow$  150 mL (0,150 L) bevat  $0,150 \cdot 80 \text{ g} = 12,0 \text{ g}$  ureum. 1 mol ureum heeft een massa van  $12,01 + 4 \cdot 1,008 + 16,00 + 2 \cdot 14,01 = 60,06 \text{ g}$  (Binas 99).
- per seconde wordt ingespoten:  $\frac{12,0 \text{ g}}{60,06 \text{ g mol}^{-1}} = 0,20 \text{ mol}$  ureum
- Dit reageert (volgens onderdeel 30) met  $2 \cdot 0,020 \text{ mol} = 0,040 \text{ mol}$  NO.
- 1 mol NO heeft een massa van 30,006 g (Binas 98). Dus 0,40 mol NO heeft een massa van  $0,40 \text{ mol} \cdot 30,006 \text{ g mol}^{-1} = 12,0 \text{ g}$  NO (per seconde).
- Per uur (3600 s) wordt dus gebonden  $3600 \cdot 12,0 \text{ g} = 4,32 \cdot 10^4 \text{ g} = 43,2 \text{ kg}$  NO  $\Rightarrow$  de procentuele afname van de 53 kg NO uitstoot door toevoeging van de ureumoplossing is  $\frac{43,2}{53} \cdot 100\% = 82\%$  (2 significante cijfers).

## Heet

- 32** De verbranding van ethyn verloopt als volgt:  $2 \text{C}_2\text{H}_2 + 5 \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$
- De verbranding van 1 mol  $\text{C}_2\text{H}_2$  geeft dus 2 mol  $\text{CO}_2$  en 1 mol  $\text{H}_2\text{O}$  en levert daarbij  $1,26 \cdot 10^6 \text{ J}$  aan energie (gegeven).
- 2 mol  $\text{CO}_2$  heeft een massa van  $2 \cdot 44,010 \text{ g} = 88,020 \text{ g}$  en 1 mol  $\text{H}_2\text{O}$  heeft een massa van 18,015 g (Binas 98). Om dit mengsel een graad in temperatuur te laten stijgen is nodig aan energie:  $88,020 \text{ g} \cdot 1,3 \text{ J g}^{-1} + 18,015 \text{ g} \cdot 2,8 \text{ J g}^{-1} = 114 \text{ J} + 50 \text{ J} = 164 \text{ J}$
- Met de gegeven verbrandingsenergie kan het mengsel van koolstofdioxide en water stijgen met  $\frac{1,26 \cdot 10^6 \text{ J}}{164 \text{ J K}^{-1}} = 7,7 \cdot 10^3 \text{ K}$ . Dat is meer dan de temperatuurstijging van  $7 \cdot 10^3 \text{ K}$  die in de opgave genoemd wordt.
- 33** Het evenwicht van de ontleding van waterdamp is:  $2 \text{H}_2\text{O(g)} \rightleftharpoons 2 \text{H}_2\text{(g)} + \text{O}_2\text{(g)}$
- De bijbehorende evenwichtsvoorwaarde is:  $K = \frac{[\text{H}_2\text{(g)}]^2 \cdot [\text{O}_2\text{(g)}]}{[\text{H}_2\text{O(g)}]^2}$
- Uit het diagram lees je af dat bij hogere temperatuur er meer waterdamp ontleedt. De concentratie van  $\text{H}_2\text{O}$  zal dus afnemen en die van  $\text{H}_2$  en  $\text{O}_2$  zal toenemen. Dat betekent (zie boven) dat de evenwichtsconstante  $K$  toeneemt als de temperatuur stijgt.

- 34** De reactievergelijking luidt als volgt:  $C_2H_2 + O_2 \rightarrow 2 CO + H_2$   
 reactiewarmte  $\Delta E =$  vormingswarmte van 2 mol CO – vormingswarmte van 1 mol  
 $C_2H_2 = 2 \cdot -1,105 \cdot 10^5 \text{ J} - (+2,27 \cdot 10^5 \text{ J}) = -4,48 \cdot 10^5 \text{ J}$  (per mol  $C_2H_2$ )  
*De vormingswarmten van de niet-ontleedbare stoffen  $O_2$  en  $H_2$  zijn per definitie 0.*

**35**

*Bij de vormings- en ontledingsenthalpieën wordt altijd gerekend t.o.v. de niet-ontleedbare stoffen waaruit de stoffen worden gevormd of waarin die stoffen uiteenvallen.  
 Uit de positieve waarde van de vormingsenthalpie van ethyn is af te leiden dat het beginniveau van ethyn met zuurstof boven het niveau ligt van de niet-ontleedbare stoffen.*

Vind je dit onderwerp lastig? Bekijk een uitlegfilmpje op [mijnexamenbundel.nl](http://mijnexamenbundel.nl) of oefen met extra examenopgaven.



### 3 Zuur-basereacties

#### Zinkoxide

Het metaal zink is bedekt met een ondoordringbaar laagje zinkoxide dat normaal gesproken het onderliggende metaal beschermt. Maar in zure regen wordt dit laagje aangetast, waardoor het onvoldoende bescherming biedt.

- 1 Geef de vergelijking van de reactie die optreedt als het zinkoxide door de zure regen wordt aangetast. Neem aan dat in zure regen een sterk zuur is opgelost.

#### Ongeluk bij zinkmijn

Bij het winnen van zink uit zinkerts blijft 95% van het gedolven gesteente achter in de vorm van zuur slib. Bij een mijn in Spanje is de dijk van een meertje met dit slib doorgebroken, omdat het zure slib de dijk had aangetast, waardoor ernstige natuurschade is ontstaan.

Volgens deskundigen is de dambreuk ontstaan doordat onder de dijken mergel aanwezig is. Mergel bevat onder andere calciumcarbonaat. Het calciumcarbonaat reageerde met de grote hoeveelheid  $H^+$ -ionen uit het slib. De dam verloor door deze reactie zijn stabiliteit en brak door.

- 2 Geef de vergelijking van de reactie tussen het calciumcarbonaat in de mergel en de  $H^+$ -ionen waardoor de dambreuk is ontstaan. Neem aan dat het calciumcarbonaat met de  $H^+$ -ionen reageerde in de molverhouding 1 : 2.
- 3 Bereken hoeveel kg soda naar het meertje zou moeten worden vervoerd om het zuur te neutraliseren, uitgaande van de volgende veronderstellingen:
  - 3 miljoen  $m^3$  zuur slib moet in het meertje worden geneutraliseerd;
  - 50 volumeprocent van het slib bestaat uit vaste, niet zure bestanddelen;
  - de pH van de te neutraliseren vloeistof is 2,5;
  - het natriumcarbonaat wordt aangevoerd in de vorm van soda ( $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$ );
  - natriumcarbonaat en  $H^+$ -ionen reageren in de molverhouding 1 : 2;
  - de massa van een mol  $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$  is 286,2 g.

#### Bookkeeper®

Papier bestaat hoofdzakelijk uit cellulose. In papier is ook water aanwezig. Cellulose wordt door water langzaam gehydrolyseerd.  $H^+$ -ionen versnellen dit proces. Papier kan door de afbraak van cellulose uit elkaar vallen. Inktsoorten uit vroegere tijden bevatten vaak opgeloste ijzer(III)zouten. In het water dat in papier aanwezig is, zijn daarom gehydrateerde  $Fe^{3+}$ -ionen,  $Fe(H_2O)_6^{3+}$ , aanwezig. Deze gehydrateerde ionen gedragen zich als een zwak zuur (zie Binas 49). Daardoor treedt vooral op plaatsen waar een oude inktsoort op het papier aanwezig is, een versnelde afbraak van de cellulose op. Onder de inkt wordt de cellulose dikwijls zo sterk aangetast dat het papier er helemaal verdwijnt. De inkt vreet zich door het papier heen.

Dit verschijnsel staat bekend als inktvraat.

- 4 Geef de vergelijking van de reactie waarmee kan worden verklaard dat een oplossing die  $Fe(H_2O)_6^{3+}$ -ionen bevat, zuur is.

Hoewel papier geen oplossing is, kent men aan papier toch een pH toe. De pH van papier wordt wereldwijd op dezelfde manier gemeten: 2,00 gram papier wordt in zeer kleine stukjes geknipt. Deze hoeveelheid materiaal wordt gedurende één uur geëxtraheerd met 100,0 mL gedestilleerd water. Na het verwijderen van de stukjes papier wordt direct de pH gemeten.

Met behulp van bovenstaande methode heeft men gemeten dat de pH van het papier van een bepaald boek 5,10 is. Het boek bevatte 250 gram papier.

- 5 Bereken hoeveel mmol  $H^+$  aanwezig is in het papier van dat boek. Neem aan dat alle  $H^+$  uit het papier is opgelost in de 100,0 mL water en dat alle  $H^+$  in de oplossing afkomstig is van het papier.

Als het zuur in het papier met een base wordt geneutraliseerd voordat de inkt zich door het papier heeft gevreten, gaat het papier langer mee. Dit effect wordt nog versterkt wanneer op en in het papier een extra voorraad van die base wordt aangebracht. Men spreekt dan van een alkalische reserve.

Bij een moderne ontzuringsmethode van papier, de bookkeepermethode, gebruikt men magnesiumoxide. Bij deze methode wordt tevens het water uit het papier verwijderd.

De alkalische reserve wordt uitgedrukt als het massapercentage MgO in het papier. Het is de bedoeling dat papier dat met de bookkeepermethode is ontzuurd, na de behandeling minimaal een alkalische reserve van 0,60 massaprocent magnesiumoxide heeft. Van iedere partij ontzuurd papier wordt direct na de behandeling dit massapercentage bepaald. Het voorschrift van deze bepaling staat hieronder.

---

Weeg 1,0 g van het ontzuurde papier af.

Breng het over in een erlenmeyer en pipetteer hierbij 20,0 mL 0,100 M zoutzuur.

Zorg ervoor dat alle basische stoffen uit het papier hebben gereageerd.

Titreer daarna het overgebleven zoutzuur met 0,100 M natronloog.

Noteer het aantal mL toegevoegde natronloog.

---

Bij zo'n bepaling was voor de titratie van het overgebleven zoutzuur 16,7 mL natronloog nodig.

- 6 Ga door berekening na of in het ontzuurde papier inderdaad 0,60 massaprocent (of meer) aan magnesiumoxide aanwezig is.

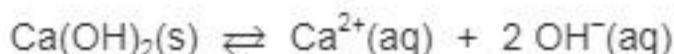
Na enige tijd is een deel van het in het papier aanwezige MgO en  $Mg(OH)_2$  door koolstofdioxide uit de lucht omgezet tot  $MgCO_3$ .

- 7 Leg uit of ten gevolge van deze omzettingen het aantal mmol  $H^+$  dat in een bladzijde van een boek kan worden geneutraliseerd, minder wordt, gelijk blijft, of toeneemt.

## Beton

Beton wordt gemaakt uit cement, water, zand en grind. Het cement gaat een reactie aan met water, waardoor onder andere calciumhydroxide ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ontstaat. Er ontstaat een hard materiaal. Door een overmaat aan water bevat beton ook met water gevulde poriën. De poriën in beton bevatten onder andere een verzadigde oplossing van calciumhydroxide.

Er stelt zich het volgende evenwicht in:



- 8** Bereken de pH van dit poriewater ( $T = 298 \text{ K}$ ). Neem aan dat alleen het opgeloste calciumhydroxide de pH bepaalt.  
Gebruik Binas-tabel 46; de onder  $K_s$  gegeven waarden zijn de waarden voor de betreffende evenwichtsconstantes.

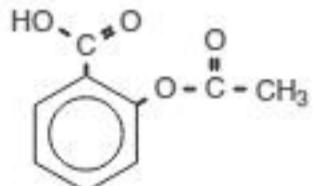
Beton wordt meestal voorzien van een wapening. Dat is een netwerk van ijzeren staven. Bij gewapend beton kunnen kleine scheuren in het materiaal al snel negatieve gevolgen hebben. Via deze kleine scheuren kan namelijk lucht binnendringen. Uit lucht afkomstig  $\text{CO}_2$  reageert met de oplossing van  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  tot onder andere calciumcarbonaat. Deze vorming van calciumcarbonaat wordt carbonatatie genoemd.

- 9** Geef de reactievergelijking voor carbonatatie.

## Bruistablet

Wanneer je hoofdpijn hebt, of last hebt van een ontsteking, kun je een aspirientje innemen.

Aspirientjes bevatten de stof acetylsalicylzuur. Hieronder is de structuurformule van acetylsalicylzuur weergegeven:



Een bruistablet bevat, behalve acetylsalicylzuur, onder meer natriumwaterstofcarbonaat ( $\text{NaHCO}_3$ ). Als een bruistablet in water wordt gebracht, treedt een reactie op tussen het acetylsalicylzuur en het waterstofcarbonaat. Hierbij ontstaan onder andere de zuurrest van acetylsalicylzuur en koolstofdioxide. Het bruisen van het tablet wordt veroorzaakt doordat koolstofdioxide als gas uit de oplossing ontwijkt.

Een voorbeeld van een bruistablet is Aspro-bruis. Wanneer een Aspro-bruistablet in water wordt gebracht, is na afloop van de gasontwikkeling een oplossing ontstaan met  $\text{pH} = 5,00$ .

In deze oplossing zijn vrijwel alle acetylsalicylzuurmoleculen omgezet tot de zuurrestionen.

- 10** Bereken hoeveel procent van de acetylsalicylzuurmoleculen in deze oplossing is omgezet tot zuurrestionen. Gebruik hierbij voor acetylsalicylzuur de notatie  $\text{HAz}$  en voor het zuurrestion van acetylsalicylzuur de notatie  $\text{Az}^-$ . Gebruik voor  $K_z$  de waarde  $3,0 \cdot 10^{-4}$ .

Acetylsalicylzuur is niet het enige zuur dat in bruistabletten voorkomt. Behalve acetylsalicylzuur bevatten Aspro-bruistabletten ook citroenzuur ( $C_6H_8O_7$ , molecuulmassa 192,1 u), dat met waterstofcarbonaat reageert onder vorming van koolstofdioxide. Acetylsalicylzuur is een éénwaardig zuur en citroenzuur is een driewaardig zuur. Wanneer de gasontwikkeling die optreedt nadat een Aspro-bruistablet in water is gebracht, is afgelopen, hebben echter niet alle citroenzuurmoleculen hun drie beschikbare  $H^+$ -ionen afgestaan.

Een Aspro-bruistablet bevat 500 mg acetylsalicylzuur, 865 mg citroenzuur en 851 mg natriumwaterstofcarbonaat.

- 11 Bereken hoeveel  $H^+$ -ionen een citroenzuurmolecuul gemiddeld heeft afgestaan als de gasontwikkeling die optreedt nadat een Aspro-bruistablet in water is gebracht, is afgelopen.  
Ga er bij de berekening van uit dat al het acetylsalicylzuur en al het waterstofcarbonaat heeft gereageerd.

## Conserveermiddel

Sorbinezuur (of *trans-trans-hexa-2,4-dieenzuur*) wordt als conserveermiddel aan bijvoorbeeld vruchtsappen toegevoegd. Sorbinezuur is een zwak éénwaardig zuur. In waterig milieu stelt zich het volgende evenwicht in:



De conserverende werking van sorbinezuur wordt toegeschreven aan uitsluitend de ongeïoniseerde sorbinezuurmoleculen. Hoe groter de concentratie aan ongeïoniseerd sorbinezuur is, des te sterker is de conserverende werking.

Iemand voegt de maximaal toelaatbare hoeveelheid sorbinezuur toe aan 1 liter perziksap van  $pH = 3,5$ . Hij voegt ook een even grote hoeveelheid sorbinezuur toe aan 1 liter perziksap van  $pH = 4,0$ .

- 12 Leg uitgaande van het evenwicht van sorbinezuur in waterig milieu uit, in welk van de twee soorten perziksap de conserverende werking als gevolg van het toegevoegde sorbinezuur het sterkst zal zijn.

De  $K_z$  van sorbinezuur bedraagt  $1,5 \cdot 10^{-5}$  (298 K).

Bij toevoeging van de maximaal toelaatbare hoeveelheid sorbinezuur aan vruchtsap is de werking als conserveermiddel nog juist voldoende als nog 10% van het toegevoegde sorbinezuur in ongeïoniseerde vorm aanwezig is.

De pH waarbij dat het geval is, noemt men de pH-grens waarde.

- 13 Bereken de pH-grens waarde van sorbinezuur (298 K).

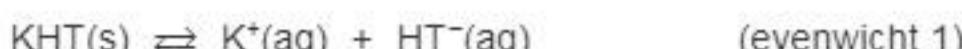
## Klare wijn

Wijn bevat meerdere zuren. Samen zijn deze van invloed op de smaak en op de pH van de wijn. Eén van die zuren is wijnsteenzuur.

Wijnsteenzuur is een tweewaardig zuur. Dat betekent dat een molecuul wijnsteenzuur twee  $H^+$ -ionen kan afsplitsen. Het negatieve ion dat ontstaat wanneer een molecuul wijnsteenzuur één  $H^+$  heeft afgestaan, wordt waterstoftartraat genoemd.

Het negatieve ion dat ontstaat wanneer wijnsteenzuur twee  $H^+$ -ionen afsplitst, wordt tartraat genoemd. In het vervolg van deze opgave wordt wijnsteenzuur weergegeven met  $H_2T$ , waterstoftartraat met  $HT^-$  en tartraat met  $T^{2-}$ .

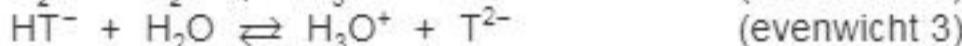
Wijn is soms troebel. Dit wordt vaak veroorzaakt doordat er slecht oplosbaar kaliumwaterstoftartraat wordt gevormd. Het volgende heterogene evenwicht heeft zich dan ingesteld:



Om te verhinderen dat wijn in de fles troebel wordt, wordt wijn eerst in een vat gedurende enkele dagen afgekoeld tot ongeveer  $0\text{ }^\circ\text{C}$ . Bij die temperatuur slaat een groot deel van het kaliumwaterstoftartraat neer en blijft in het vat achter.

Daarna wordt de wijn in flessen overgebracht.

Wijnsteenzuur ioniseert in twee stappen:



Tijdens het neerslaan van KHT dalen de concentraties van de deeltjes  $H_2T$  en  $T^{2-}$ .

- 14** Leg aan de hand van de evenwichten 2 en 3 uit dat de concentraties van  $H_2T$  en van  $T^{2-}$  dalen tijdens het neerslaan van KHT.

Voor evenwicht 2 geldt  $K_{z,2} = 9,1 \cdot 10^{-4}$  en voor evenwicht 3 geldt  $K_{z,3} = 4,3 \cdot 10^{-5}$  (298 K). Met behulp van bovenvermelde zuurconstanten kan men berekenen dat bij pH = 3,70 de concentratie van wijnsteenzuur,  $[H_2T]$ , vrijwel gelijk is aan de concentratie van tartraat,  $[T^{2-}]$ .

- 15** Geef deze berekening.

Men heeft onderzocht of en zo ja hoe de pH van de wijn verandert ten gevolge van het neerslaan van kaliumwaterstoftartraat. Daarbij spelen de begin-pH van de wijn en de ionisatie-evenwichten van wijnsteenzuur een belangrijke rol.

In dit onderzoek heeft men een aantal experimenten uitgevoerd. In één van die experimenten was de begin-pH van de oplossing 3,70 en in een ander experiment was de begin-pH van de oplossing hoger dan 3,70.

### Experiment 1

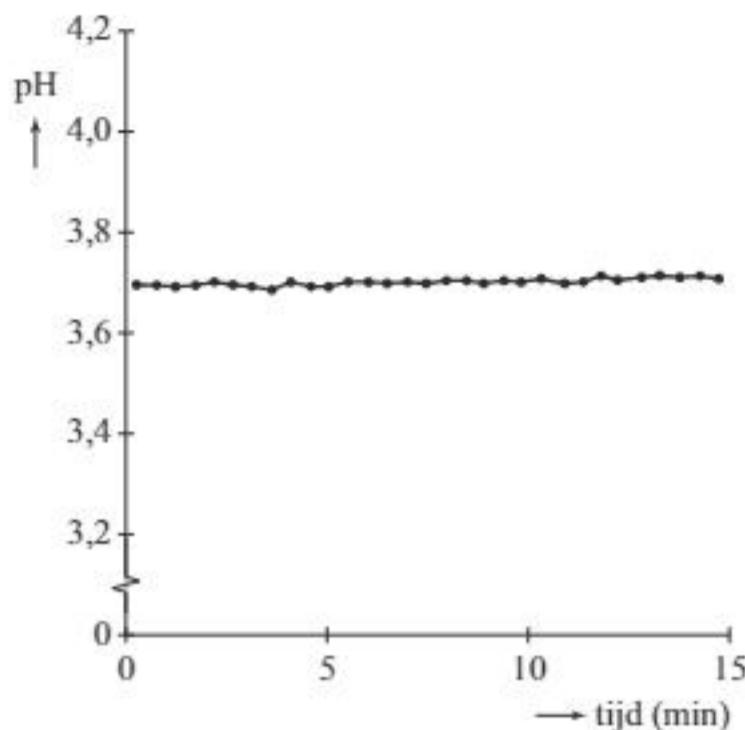
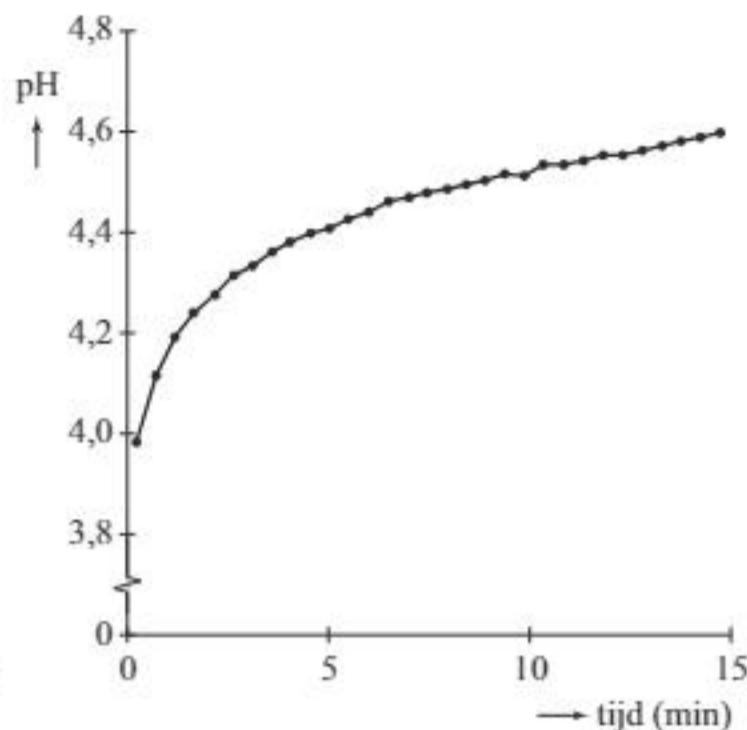
Bij kamertemperatuur werd in 25 mL water 1,0 gram natriumtartraat ( $Na_2T$ ) opgelost. Met 1,0 M zoutzuur werd de pH op een waarde van 3,70 gebracht.

De oplossing werd verwarmd tot ongeveer  $40\text{ }^\circ\text{C}$ . Daarna werd 1,0 gram kaliumchloride opgelost. Vervolgens liet men de oplossing gedurende 15 minuten afkoelen tot kamertemperatuur.

Tijdens het afkoelen werd om de 30 seconden de pH gemeten. Het bleek dat de pH vrijwel constant bleef (zie diagram 1).

**Experiment 2**

Dit experiment met de hogere begin-pH was verder gelijk aan het experiment bij pH = 3,70. In dit experiment bleek de pH gedurende het afkoelen te stijgen (zie diagram 2).

**diagram 1****diagram 2**

Bij deze proeven sloeg kaliumwaterstoftartraat neer. Hoe lager de temperatuur, hoe meer kaliumwaterstoftartraat neersloeg. Hierdoor dalen de concentraties van  $\text{H}_2\text{T}$  en  $\text{T}^{2-}$  in beide experimenten.

- 16 Leg met behulp van evenwichten 2 en 3 uit of de daling van de  $[\text{H}_2\text{T}]$  in experiment 1 groter of kleiner is dan de daling van de  $[\text{T}^{2-}]$  of dat de dalingen van deze concentraties aan elkaar gelijk zijn.  
Neem aan dat de waarden van  $K_{z,2}$  en  $K_{z,3}$  en  $K_w$  niet veranderen bij beide experimenten.
  
- 17 Leg met behulp van evenwichten 2 en 3 uit of de daling van de  $[\text{H}_2\text{T}]$  in experiment 2 groter of kleiner is dan de daling van de  $[\text{T}^{2-}]$  of dat de dalingen van deze concentraties aan elkaar gelijk zijn.  
Neem aan dat de waarden van  $K_{z,2}$  en  $K_{z,3}$  en  $K_w$  niet veranderen bij beide experimenten.

## Bufferoplossing maken

Men lost 2,0 mol ammoniumchloride in water op tot 1,0 liter.

- 18 Hoeveel liter ammoniakgas van  $p = p_0$  en  $T = 298$  K moet men in deze oplossing inleiden om pH op 9,20 te brengen? Het molaire gasvolume vind je in Binas tabel 7.

Het is mogelijk met twee componenten in water verschillende buffermengsels te maken, die dezelfde pH-waarde hebben.

- 19 Waarom zal de bufferende werking groter zijn naarmate men de concentraties van de componenten die de buffer vormen groter neemt?

Een oplossing met pH = 9,20 is ook te verkrijgen met behulp van ammonia en zoutzuur. Men maakt daar toe 1,0 liter ammonia met daarin opgelost 2,0 mol NH<sub>3</sub>. Daaraan wordt geconcentreerd zoutzuur toegevoegd.

- 20 Hoeveel mol HCl moet dit zoutzuur bevatten, om een buffer te krijgen met pH = 9,20?

## Fosfaatbuffer

Waterstof kan door middel van elektrolyse gevormd worden uit water.

De materiaalkeuze voor de positieve elektrode (anode) vormt daarbij een lastig probleem.

In het vakblad 'Science' is een artikel verschenen over een onderzoek naar het gebruik van een speciaal elektrodemateriaal. De in het onderzoek gebruikte elektrodes bevatten aan het oppervlak een dunne laag van het materiaal indiumtinoxide ITO. Daarbij moet bij een goed bepaalde pH gewerkt worden. De onderzoekers maakten daarom een oplossing van kaliumfosfaat in water. Ze brachten de oplossing door toevoeging van nog één andere soort stof op pH = 7,00.

De fosfaationen worden hierbij geheel omgezet tot twee andere ionen.

- 21 Leg uit welke soort stof de onderzoekers hebben toegevoegd om de pH van de oplossing op 7,00 te brengen.
- 22 Ga met een berekening na van welke soort ionen, ontstaan uit de fosfaationen, de concentratie het grootst is bij pH = 7,00 (298 K).

## Speeksel

Onder normale omstandigheden is de pH van speeksel ongeveer 7. Als de pH in de mond daalt tot een waarde die lager is dan 5,5 kan aantasting van het gebit optreden. Speeksel bevat een aantal buffers. Die buffers kunnen de daling van de pH binnen zekere grenzen houden. Daardoor wordt het gebit beschermd. De zogenoemde buffercapaciteit geeft aan hoe goed een buffer de daling van de pH kan beperken. Bij de bepaling van de buffercapaciteit van speeksel wordt met zogenoemd 'gestimuleerd speeksel' gewerkt. Dat is speeksel dat ontstaat als op iets wordt gekauwd. Hieronder is een methode beschreven om de buffercapaciteit van 'gestimuleerd speeksel' te bepalen:

- de pH van het 'gestimuleerde speeksel' wordt gemeten;
- 1,0 mL speeksel wordt toegevoegd aan 3,0 mL 0,0050 M zoutzuur;
- het mengsel wordt 20 minuten geroerd om de ontstane CO<sub>2</sub> te verwijderen;
- de pH wordt gemeten.

- 23 Leg uit aan de hand van bovenstaande gegevens en het feit dat de pH van speeksel ongeveer 7 is, welk zuur-basekoppel in ieder geval in het 'gestimuleerde speeksel' aanwezig is.
- 24 Bereken in welke molverhouding dit zuur en zijn gekoppelde base in speeksel met pH = 6,80 voorkomen. Noteer de uitkomst van je berekening als volgt:

$$\frac{\text{aantal mol zuur}}{\text{aantal mol gekoppelde base}} = \dots$$

Bij een proefpersoon werd de buffercapaciteit van het speeksel onderzocht volgens deze methode. De begin-pH van zijn speeksel was 7,0. Na afloop van de bepaling was de pH van het mengsel 4,5.

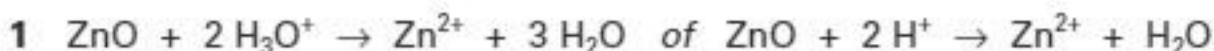
- 25 Toon met behulp van een berekening aan dat het speeksel van deze proefpersoon inderdaad een bufferende werking bezit.

## Hints bij hoofdstuk 3

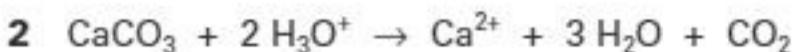
- 1 Zinkoxide bevat de base.
- 2 Dit is een zuur-basereactie.
- 3 Bereken eerst het aantal mol  $\text{H}^+$  uit de pH en het volume van de zure oplossing.
- 4 Gebruik Binas 49.
- 5 Bereken eerst het aantal mol  $\text{H}^+$  uit de pH en het volume.
- 6 totaal aantal mol zoutzuur =  $2 \times$  aantal mol  $\text{MgO}$  + aantal mol  $\text{NaOH}$
- 7 Kan carbonaat ook  $\text{H}^+$  binden?
- 8 Stel  $[\text{OH}^-]$  is  $x$ . Hoe groot is dan  $[\text{Ca}^{2+}]$ ?
- 9 Bijna alle stoffen zijn genoemd. Hoe geef je de oplossing van  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  weer?
- 10 Schrijf de evenwichtsvoorwaarde op en vul hierin  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  in.
- 11 Natriumwaterstofcarbonaat reageert zowel met acetylsalicylzuur als met citroenzuur. Hoeveel (m)mol heeft met acetylsalicylzuur gereageerd?
- 12 Vergelijk de ligging van het evenwicht bij de verschillende pH-waarden.
- 13 Vul de verhouding  $[\text{C}_5\text{H}_7\text{COO}^-] : [\text{C}_5\text{H}_7\text{COOH}]$  in in de evenwichtsvoorwaarde.
- 14 Tijdens het neerslaan van KHT verdwijnen er  $\text{HT}^-$ -ionen uit de wijn.
- 15 Schrijf beide evenwichtsvoorwaarden op en vul de berekende  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  in.
- 16 Denk aan het antwoord op de vorige vraag.
- 17 Hoe beïnvloedt een hogere pH de evenwichten 2 en 3?
- 18 Gebruik de evenwichtsvoorwaarde van het zuur  $\text{NH}_4^+$  (of van de base  $\text{NH}_3$ ). Vul daarin  $[\text{NH}_4^+]$  en  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  (of  $[\text{OH}^-]$ ) in.
- 19 Wat is het essentiële kenmerk van een bufferoplossing?
- 20 Dezelfde pH, dus de zuur-baseverhouding moet weer gelijk worden aan die bij 18.
- 21 Wat weet je van het fosfaation? Gebruik Binas 49.
- 22 Kies een evenwicht waarin beide (fosfaatbevattende) ionen voorkomen. Stel de evenwichtsvoorwaarde op.
- 23 Een belangrijk gegeven is, dat  $\text{CO}_2$  ontwijkt.
- 24 Gebruik Binas 49 en de evenwichtsvoorwaarde.
- 25 Bereken de pH na verdunnen van het zoutzuur door niet-gebufferde speeksel.

## Uitwerkingen bij hoofdstuk 3

### Zinkoxide

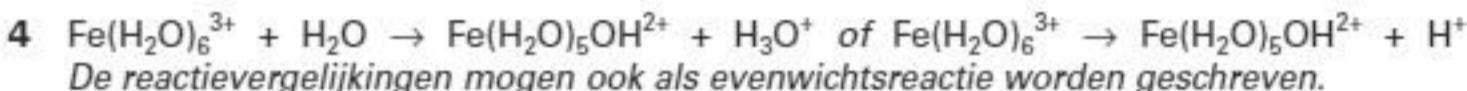


### Ongeluk bij zinkmijn



3 Voor de zure oplossing geldt:  $\text{pH} = 2,5 \Rightarrow [\text{H}^+] = 10^{-2,5} \text{ mol L}^{-1} = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ .  
 De 3 miljoen  $\text{m}^3$  zuur slib bevat  $1,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  of  $1,5 \cdot 10^9 \text{ L}$  zure oplossing  $\Rightarrow$   
 deze oplossing bevat  $1,5 \cdot 10^9 \text{ L} \cdot 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} = 4,8 \cdot 10^6 \text{ mol H}^+$ .  
 Deze hoeveelheid  $\text{H}^+$  reageert met soda in de molverhouding 2 : 1 dus met  
 $2,4 \cdot 10^6 \text{ mol Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O} = 2,4 \cdot 10^6 \text{ mol} \cdot 286,2 \text{ g mol}^{-1} = 6,9 \cdot 10^8 \text{ g} =$   
 $= 7 \cdot 10^5 \text{ kg}$  (1 significant cijfer door 1 decimaal in pH).

### Bookkeeper



5  $\text{pH} = 5,10 \Rightarrow [\text{H}^+] = 10^{-5,10} = 7,9 \cdot 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$   
 In 100 mL bevindt zich dus  $7,9 \cdot 10^{-7} \text{ mol H}^+$ , afkomstig uit 2,00 g papier  $\Rightarrow$   
 $\Rightarrow$  in het boek (met 250 g papier) is aanwezig  $\frac{250}{2,00} \cdot 7,9 \cdot 10^{-7} = 9,9 \cdot 10^{-2} \text{ mmol H}^+$ .  
 (2 significante cijfers door de 2 decimalen in de pH)

6 20,0 mL zoutzuur van 0,100 M bevat  $20,0 \text{ mL} \cdot 0,100 \text{ mmol mL}^{-1} = 2,000 \text{ mmol H}^+$ .  
 16,7 mL natronloog van 0,100 M bevat  $16,7 \text{ mL} \cdot 0,100 \text{ mmol mL}^{-1} = 1,670 \text{ mmol OH}^-$   
 $\Rightarrow 2,000 - 1,670 = 0,330 \text{ mmol H}^+$  heeft dus met het MgO gereageerd.  
 De molverhouding MgO :  $\text{H}^+ = 1 : 2$ . Er zat dus 0,165 mmol MgO in het papier.  
 De molaire massa van MgO is  $40,305 \text{ mg mmol}^{-1}$  (Binas 98), dus in 1,0 gram papier  
 zat  $0,165 \text{ mmol} \cdot 40,305 \text{ mg mmol}^{-1} = 6,65 \text{ mg} = 6,65 \cdot 10^{-3} \text{ g MgO}$ .  
 Het massapercentage MgO is  $\frac{6,65 \cdot 10^{-3}}{1,0} \cdot 100\% = 0,67\%$ ; dit is groter dan 0,60%.

7 Het aantal mmol  $\text{H}^+$  dat kan worden gebonden, blijft gelijk, want  $\text{CO}_3^{2-}$  is ook een base, die net als  $\text{O}^{2-}$  en 2  $\text{OH}^-$  2 mol  $\text{H}^+$  kan binden.  
 $\text{CO}_3^{2-}$  is wel een zwakkere base dan  $\text{O}^{2-}$  en  $\text{OH}^-$ , maar dat maakt voor de reactie niet uit.

**Beton**

- 8** Stel de onbekende concentratie van  $\text{OH}^-$  is  $x \text{ mol L}^{-1} \Rightarrow [\text{Ca}^{2+}] = \frac{1}{2} x \text{ mol L}^{-1}$   
 (zie reactievergelijking in de opgave)  $\Rightarrow K_s = 5,0 \cdot 10^{-6} = \frac{1}{2} x \cdot x^2 = \frac{1}{2} x^3 \Rightarrow$   
 $x^3 = 10,0 \cdot 10^{-6} \Rightarrow x = [\text{OH}^-] = \sqrt[3]{10,0 \cdot 10^{-6}} = 2,15 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$   
 $\text{pOH} = -\log 2,15 \cdot 10^{-2} = 1,67$   
 Bij  $T = 298 \text{ K}$  geldt  $\text{pH} + \text{pOH} = 14,00$  (Binas 50A)  $\Rightarrow \text{pH} = 14,00 - 1,67 = 12,33$   
 (2 significante decimalen)
- 9**  $\text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + 2 \text{OH}^-(\text{aq}) + \text{CO}_2(\text{aq}) \rightarrow \text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l})$   
*Toestandsaanduidingen zijn niet verplicht.*

**Bruistablet**

- 10** Het acetylsalicylzuur geeft een zuur-base-evenwicht:  $\text{HAz} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Az}^- + \text{H}_3\text{O}^+$   
 Evenwichtsvoorwaarde:  $K_z = \frac{[\text{Az}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{HAz}]}$  met  $\text{pH} = 5,00 \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 1,0 \cdot 10^{-5} \Rightarrow$   
 $\frac{[\text{Az}^-]}{[\text{HAz}]} = \frac{K_z}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{3,0 \cdot 10^{-4}}{1,0 \cdot 10^{-5}} = 30$  of  $[\text{Az}^-] : [\text{HAz}] = 30 : 1 \Rightarrow$  het aandeel van  $\text{Az}^-$   
 van het totaal is  $\frac{30}{31}$ . Dit komt overeen met  $\frac{30}{31} \cdot 100\% = 97\%$  (2 significante cijfers).
- 11** De molaire massa van acetylsalicylzuur ( $\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_4$ ) bedraagt  $180,2 \text{ mg mmol}^{-1}$   
 (zie bv. Binas 99).  $500 \text{ mg}$  acetylsalicylzuur is dus  $\frac{500 \text{ mg}}{180,2 \text{ mg mol}^{-1}} = 2,77 \text{ mmol}$ .  
 Dit acetylsalicylzuur geeft  $2,77 \text{ mmol H}^+$  af aan  $2,77 \text{ mmol HCO}_3^-$   
 (want  $1 \text{ mmol HCO}_3^-$  kan  $1 \text{ mmol H}^+$  binden).  
 De bruistablet bevat  $851 \text{ mg}$  natriumwaterstofcarbonaat of  $\frac{851 \text{ mg}}{84,01 \text{ mg mmol}^{-1}} = 10,1 \text{ mmol}$ .  
 Hiervan kan nog  $10,1 \text{ mmol} - 2,77 \text{ mmol} = 7,3 \text{ mmol}$  reageren (met evenveel  $\text{H}^+$ ).  
 In de tablet zit  $865 \text{ mg}$  citroenzuur of  $\frac{865 \text{ mg}}{192,1 \text{ mg mmol}^{-1}} = 4,50 \text{ mmol}$  citroenzuur.  
 $4,50 \text{ mmol}$  citroenzuur levert  $7,3 \text{ mmol H}^+$  aan  $\text{HCO}_3^-$  (zie hierboven).  
 Dat is (gemiddeld) per molecuul:  $\frac{7,3}{4,50} = 1,6 \text{ H}^+$  (2 significante cijfers).

**Conserveermiddel**

- 12**  $\text{C}_5\text{H}_7\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{C}_5\text{H}_7\text{COO}^- + \text{H}_3\text{O}^+$   
 Bij  $\text{pH} = 3,5$  is  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  groter dan bij  $\text{pH} = 4,0$ . Daardoor zal bij  $\text{pH} = 3,5$  de reactie naar links belangrijker zijn, dus zal het evenwicht meer naar links liggen  $\Rightarrow$   
 meer ongesplitst sorbinezuur  $\Rightarrow$  betere conserverende werking in perziksap van  $\text{pH} = 3,5$ .
- 13** 10% van het sorbinezuur is aanwezig in ongeïoniseerde vorm, 90% is dus wel  
 geïoniseerd  $\Rightarrow \frac{[\text{C}_5\text{H}_7\text{COO}^-]}{[\text{C}_5\text{H}_7\text{COOH}]} = \frac{0,90}{0,10} = 9,0$ . De evenwichtsvoorwaarde is:  
 $K_z = \frac{[\text{C}_5\text{H}_7\text{COO}^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{C}_5\text{H}_7\text{COOH}]} = 1,5 \cdot 10^{-5} \Rightarrow 9,0 \cdot [\text{H}_3\text{O}^+] = 1,5 \cdot 10^{-5} \Rightarrow$   
 $[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{1,5 \cdot 10^{-5}}{9,0} = 1,67 \cdot 10^{-6} \text{ mol L}^{-1} \Rightarrow \text{pH} = 5,78$  (2 significante decimalen).

**Klare wijn**

- 14** Tijdens het neerslaan van KHT verdwijnen er  $\text{HT}^-$ -ionen uit de wijn. Evenwicht 2 is daardoor verstoord en zal naar rechts verschuiven  $\Rightarrow$  er komt minder  $\text{H}_2\text{T}$ . Evenwicht 3 is ook verstoord door het verdwijnen van  $\text{HT}^-$ -ionen uit de wijn. Het evenwicht reageert in dit geval met een verschuiving naar links. Daarbij daalt de concentratie van  $\text{T}^{2-}$ -ionen.

**15**  $\text{pH} = 3,70 \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-3,70} = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol L}^{-1}$

$$\text{Evenwichtsvoorwaarde voor evenwicht 2: } K_{z,2} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{HT}^-]}{[\text{H}_2\text{T}]} = 9,1 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{Substitutie van } [\text{H}_3\text{O}^+] \text{ geeft: } \frac{[\text{HT}^-]}{[\text{H}_2\text{T}]} = \frac{9,1 \cdot 10^{-4}}{2,0 \cdot 10^{-4}} = 4,6 \Rightarrow \frac{[\text{H}_2\text{T}]}{[\text{HT}^-]} = \frac{1}{4,6} = 0,22$$

$$\text{Evenwichtsvoorwaarde voor evenwicht 3: } K_{z,3} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{T}^{2-}]}{[\text{HT}^-]} = 4,3 \cdot 10^{-5}$$

$$\text{Substitutie van } [\text{H}_3\text{O}^+] \text{ geeft: } \frac{[\text{T}^{2-}]}{[\text{HT}^-]} = \frac{4,3 \cdot 10^{-5}}{2,0 \cdot 10^{-4}} = 0,22$$

$[\text{H}_2\text{T}]$  en  $[\text{T}^{2-}]$  zijn allebei ongeveer een vijfde van  $[\text{HT}^-]$ , dus  $[\text{H}_2\text{T}]$  en  $[\text{T}^{2-}]$  zijn aan elkaar gelijk (in 2 significante cijfers).

- 16** *Voorbeelden van een juist antwoord:*

- Bij de berekening die in uitwerking 15 is uitgevoerd, is de waarde van  $[\text{HT}^-]$  niet van belang. Dus ook als  $[\text{HT}^-]$  afneemt (bij  $\text{pH} = 3,70$ ) zullen dezelfde verhoudingen tussen de concentraties blijven bestaan.  $[\text{H}_2\text{T}]$  en  $[\text{T}^{2-}]$  waren gelijk en zijn na daling nog steeds aan elkaar gelijk.  
Conclusie: Ook de dalingen van  $[\text{H}_2\text{T}]$  en  $[\text{T}^{2-}]$  zijn aan elkaar gelijk.
- Bij het neerslaan van KHT neemt  $[\text{HT}^-]$  in beide evenwichten evenveel af. Omdat in experiment 1 de pH vrijwel constant blijft, zal door verschuiving van evenwicht 2 evenveel  $\text{H}_3\text{O}^+$  worden gevormd, als in evenwicht 3 wordt weggenomen. Gelijkzeitig zullen daarbij  $[\text{H}_2\text{T}]$  en  $[\text{T}^{2-}]$  in dezelfde mate dalen.

- 17** *Voorbeelden van een juist antwoord:*

- Een berekening zoals in uitwerking 15 leidt bij  $\text{pH} = 4,0$  tot de volgende uitkomsten:

$$[\text{H}_2\text{T}] = 0,11[\text{HT}^-] \text{ en } [\text{T}^{2-}] = 0,43[\text{HT}^-] \Rightarrow \frac{[\text{H}_2\text{T}]}{[\text{T}^{2-}]} = 0,26$$

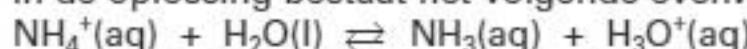
Bij een grotere pH dan 3,70 is  $[\text{H}_2\text{T}]$  dus kleiner geworden dan  $[\text{T}^{2-}]$ . Dit geldt nog sterker bij grotere pH-waarden. Omdat de concentraties bij  $\text{pH} = 3,70$  gelijk waren (zie uitwerking 15), zal  $[\text{H}_2\text{T}]$  dus sterker zijn gedaald dan  $[\text{T}^{2-}]$ .

- In experiment 2 stijgt de pH, dus daalt  $[\text{H}_3\text{O}^+]$ . Tegelijkertijd daalt in evenwicht 2 ook  $[\text{HT}^-]$  rechts van de pijl. In evenwicht 3 daalt  $[\text{HT}^-]$  links van de pijl en  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  rechts van de pijl. Evenwicht 3 zal dus minder verschuiven dan evenwicht 2  $\Rightarrow$   $[\text{H}_2\text{T}]$  (in evenwicht 2) daalt sterker dan  $[\text{T}^{2-}]$  (in evenwicht 3).

*Het tweede antwoord was bij het examen onderwerp van discussie. Het zou kunnen dat  $[\text{H}_2\text{T}]$  wel procentueel sterker daalt dan  $[\text{T}^{2-}]$  maar dat hoeft niet zo te zijn in absolute zin. Je mag uit het stijgen van de pH niet zondermeer concluderen dat er in verhouding meer komt van de base  $\text{T}^{2-}$ , want er verdwijnt veel van het zuur  $\text{HT}^-$  uit de oplossing en dat kan ook de reden zijn van het oplopen van de pH.*

## Bufferoplossing maken

- 18** In de oplossing bestaat het volgende evenwicht:



Gegeven is  $[\text{NH}_4^+] = 2,0 \text{ mol L}^{-1}$ ;  $\text{pH} = 9,20 \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-9,20} = 6,31 \cdot 10^{-10} \text{ mol L}^{-1}$

Concentraties invullen in  $K_z = \frac{[\text{NH}_3][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{NH}_4^+]}$  levert:

$$[\text{NH}_3] = \frac{2,0 \cdot 5,6 \cdot 10^{-10}}{6,31 \cdot 10^{-10}} = 1,77 \text{ mol L}^{-1}$$

In 1 L moet dus 1,77 mol  $\text{NH}_3$  worden ingeleid, dat komt overeen met  $1,77 \text{ mol} \cdot 24,5 \text{ L mol}^{-1} = 43 \text{ L ammoniakgas}$  (2 significante cijfers).

- 19** Naarmate de concentratie van de componenten groter is kan een grotere hoeveelheid zuur of base worden geneutraliseerd zonder dat de pH veel zal veranderen.

- 20** Door HCl toe te voegen aan de ammonia ontstaan  $\text{NH}_4^+$ -ionen uit het opgeloste  $\text{NH}_3$ . Uit het antwoord op vraag 18 blijkt dat  $\text{pH} = 9,20$  kan worden bereikt met een verhouding van  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{NH}_3$  van  $2,0 : 1,8$ . Het percentage  $\text{NH}_4^+$  in het buffermengsel van  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{NH}_3$  is dan  $\frac{2,0}{2,0 + 1,8} \cdot 100\% = \frac{2,0}{3,8} \cdot 100\% = 53\%$ .

Als 53% van de ammoniakmoleculen in het ammonia moet worden omgezet met HCl, moet er aanwezig zijn in het toegevoegde zoutzuur:  $0,53 \cdot 2,0 \text{ mol} = 1,1 \text{ mol HCl}$ .

## Fosfaatbuffer

- 21** Het fosfaation is een zwakke base. Een oplossing met fosfaationen heeft dus een pH boven de 7,00. Je moet daarom een zuur toevoegen om de pH op 7,00 te brengen.

- 22** Als fosfaationen met zuur reageren, dan ontstaan er monowaterstoffsfaationen ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) en diwaterstoffsfaationen ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ). Beide ionen komen voor in de volgende evenwichtsreactie:  $\text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{HPO}_4^{2-}$

De evenwichtsvoorwaarde hiervan is:  $K_z = 6,2 \cdot 10^{-8} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]}$  (Binas 49)

$[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-7,00}$  Als je dit invult in de evenwichtsvoorwaarde, dan staat er:

$$6,2 \cdot 10^{-8} = \frac{10^{-7,00} \cdot [\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} \Rightarrow \frac{[\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} = \frac{6,2 \cdot 10^{-8}}{10^{-7,00}} = 0,62$$

Dit is kleiner dan 1 dus de noemer van de breuk is groter dan de teller.  $[\text{H}_2\text{PO}_4^-]$  is dus groter dan  $[\text{HPO}_4^{2-}]$

Je kunt dit ook met behulp van de baseconstante  $K_b$  van de base  $\text{HPO}_4^{2-}$  berekenen.

## Speeksel

- 23** Uit het feit dat er  $\text{CO}_2$  ontstaat, kun je afleiden dat er  $\text{HCO}_3^-$ -ionen aanwezig moeten zijn geweest. Een mengsel van (opgelost)  $\text{CO}_2$  en  $\text{HCO}_3^-$  kan bij  $\text{pH} = 7,0$  bestaan (want  $\text{pK}_z$  van  $\text{CO}_2 = 6,35$ ).

Een mengsel van  $\text{HCO}_3^-$  en  $\text{CO}_3^{2-}$  kan ook koolstofdioxide geven bij toevoeging van een sterk zuur, maar de pH van dat mengsel ligt eerder bij  $\text{pH} = 10$  ( $\text{pK}_z$  van  $\text{HCO}_3^-$  is 10,33).

- 24** Bij het evenwicht  $\text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{HCO}_3^-$  hoort de evenwichtsvoorwaarde:
- $$K_z = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]} = 4,5 \cdot 10^{-7}$$
- (Binas 49) met
- $\text{pH} = 6,80 \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-6,80} = 1,58 \cdot 10^{-7}$
- Invullen geeft:  $\frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]} = \frac{4,5 \cdot 10^{-7}}{1,58 \cdot 10^{-7}} \Rightarrow \frac{[\text{CO}_2]}{[\text{HCO}_3^-]} = \frac{1,58 \cdot 10^{-7}}{4,5 \cdot 10^{-7}} = \frac{0,35}{1}$
- 25** 0,0050 molair HCl-oplossing heeft  $\text{pH} = -\log 5,0 \cdot 10^{-3} = 2,30$ . Toevoeging van 3 mL van dit zoutzuur aan 1 mL ongebufferde speeksel van  $\text{pH} = 7,0$  levert dezelfde pH als toevoeging aan 1 mL zuiver water met  $\text{pH} = 7,0$ . Door de verdunning zou  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  veranderen van  $5,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$  naar  $\frac{3}{4} \cdot 5,0 \cdot 10^{-3} = 3,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ . De pH daalt dan van  $\text{pH} = 7,0$  tot  $\text{pH} = -\log 3,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol} = 2,42$  (of 2,43). In werkelijkheid daalt de pH maar tot 4,5. Het speeksel bezit dus een bufferende werking.

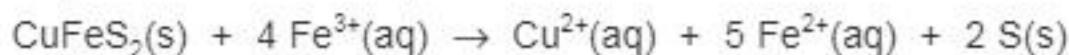
Vind je dit onderwerp lastig? Bekijk een uitlegfilmpje op [mijnexamenbundel.nl](https://mijnexamenbundel.nl) of oefen met extra examenopgaven.



## 4 Redoxreacties

### Koperkies

Voor het maken van het metaal koper wordt vaak koperkies ( $\text{CuFeS}_2$ ) gebruikt. De systematische naam van koperkies is koper(I)ijzer(III)sulfide. Bij dit proces vindt de volgende redoxreactie plaats:



- Leg uit welke van de deeltjes uit koperkies (de koperdeeltjes en/of de ijzerdeeltjes en/of de zwaveldeeltjes) bij deze reactie als reductor werken. Verwerk in de uitleg de ladingsverandering(en) van de deeltjes.

### Chromiet

Het belangrijkste chroomerts is chromiet. De formule van chromiet kan als  $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}$  worden aangegeven.

Om chromiet te kunnen gebruiken voor de bereiding van chroom moet het erts eerst zo bewerkt worden, dat een in water oplosbare chroomverbinding ontstaat. Daartoe wordt een mengsel van chromiet en natriumcarbonaat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) verhit in aanwezigheid van lucht.

Er treedt dan een redoxreactie op, waarbij natriumchromaat ( $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ ), ijzer(III)oxide ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) en koolstofdioxide ( $\text{CO}_2$ ) ontstaan.

- Geef de vergelijking van deze reactie.
- Leg aan de hand van bovenstaande gegevens uit welke van de deeltjes uit chromiet (de chroomdeeltjes en/of de zuurstofdeeltjes en/of de ijzerdeeltjes) bij deze reactie als reductor werken.

### Kerkklokken

De klank van oude kerkklokken van brons is heel mooi, omdat het brons, behalve koper en tin ook lood bevat. Bij een bepaling van het kopergehalte van het brons wordt gebruik gemaakt van geconcentreerd salpeterzuur. Het is belangrijk te weten of de aanwezigheid van lood daarbij storend kan werken.

- Leg met behulp van gegevens uit Binas tabel 48 uit dat lood in salpeterzuur wordt omgezet tot  $\text{Pb}^{2+}$  en dat het gevormde  $\text{Pb}^{2+}$  daarna niet verder wordt omgezet tot  $\text{PbO}_2$ . Neem aan dat bij de omstandigheden waarbij de bepaling wordt uitgevoerd, Binas tabel 48 gebruikt mag worden.

## Verzuring door oxidatie

Sommige metaalertsen die aan het aardoppervlak blootgesteld worden aan zuurstof, kunnen aanleiding geven tot verzuring van het milieu. Dit geldt met name voor sulfiden, zoals pyriet ( $\text{FeS}_2$ ).

Pyriet wordt door zuurstof uit de lucht en water omgezet tot een oplossing die, behalve  $\text{H}^+$ -ionen, ook  $\text{Fe}^{3+}$ -ionen en  $\text{SO}_4^{2-}$ -ionen bevat. Deze reactie is een redoxreactie.

De vergelijking van de halfreactie van  $\text{FeS}_2$  is hieronder onvolledig weergegeven:

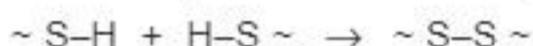


In deze vergelijking ontbreken de elektronen en er moeten nog coëfficiënten worden geplaatst.

- 5 Geef de volledige vergelijking van de halfreactie van  $\text{FeS}_2$ .
- 6 Leid met behulp van deze halfreactie en de halfreactie van zuurstof de totale reactievergelijking af van deze omzetting van pyriet door zuurstof en water.

## Zwavelbrug

Cysteïne is een aminozuur. De vorming van een zwavelbrug uit de SH-groepen van twee cysteïne-eenheden is een redoxreactie. De vergelijking van de halfreactie voor de vorming van een zwavelbrug is hieronder schematisch en onvolledig weergegeven:



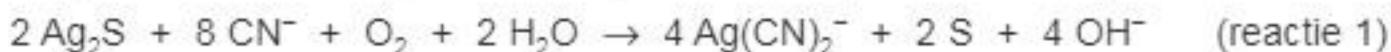
In deze vergelijking ontbreken onder andere de elektronen.

- 7 Geef de volledige vergelijking van de halfreactie voor de vorming van een zwavelbrug uit de SH-groepen van twee cysteïne-eenheden. Gebruik de hierboven gegeven schematische weergave.
- 8 Leg uit of voor de vorming van de zwavelbruggen de SH-groepen met een oxidator of met een reducteur moeten reageren.

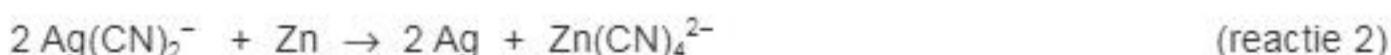
## Zilver

Zilver komt voor in het erts argentiet,  $\text{Ag}_2\text{S}$ .

Bij de winning van zilver wordt het gesteente dat argentiet bevat, fijngemalen en gemengd met de natriumcyanide-oplossing. Er ontstaat een suspensie. Door deze suspensie wordt lucht geleid. Hierbij treedt de volgende reactie op:



De suspensie wordt gefilterd. Het filtraat wordt met overmaat zinkpoeder geroerd. De volgende reactie treedt op:



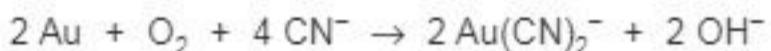
Aangenomen mag worden dat zowel in het deeltje  $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$  als in het deeltje  $\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}$  cyanide-ionen voorkomen.

- 9 Leg mede aan de hand van formules van deeltjes in de vergelijkingen van reactie 1 en reactie 2, uit of het om redoxreacties gaat of niet.  
Noteer je antwoord door in elk van onderstaande zinnen een keuze voor 'wel' of 'niet' te maken en de zinnen af te maken.
- Reactie 1 is wel/niet een redoxreactie want ...  
Reactie 2 is wel/niet een redoxreactie want ...
- Het ontstane zilver wordt samen met de overmaat zinkpoeder door filtratie afgescheiden. Het residu is een mengsel van zilver en zink. Hieruit wordt het zink verwijderd door een oplossing van een zuur toe te voegen waarmee zink wel reageert en zilver niet. Verduld salpeterzuur is daarvoor niet geschikt.
- 10 Leg met behulp van gegevens uit Binas tabel 48 uit dat verduld salpeterzuur niet geschikt is om zink uit een mengsel van zilver en zink te verwijderen.

## Goudwinning

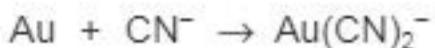
Goud komt in de natuur samen met zilver voor in gesteenten, het zogenoemde gouderts. Uit dit erts wordt goud gewonnen. Aan een artikel uit *Het Digitale Archief III (cd-rom Natuur & Techniek, 1999)* over de winning van goud is de volgende tekst ontleend.

Bij het cyanideproces vermengt men fijngemalen gouderts met een natriumcyanide-oplossing. Het goud, evenals zilver, reageert met deze oplossing en zuurstof, volgens de reactievergelijking:



De reactie verloopt volledig en snel naar rechts. In de praktijk roert men het ertsconcentraat in een natriumcyanide-oplossing waar lucht door borrelt. Als de edelmetalen zijn opgelost, filtreert men het gesteente af.

De reactievergelijking in deze tekst is fout. De correcte vergelijking kan worden afgeleid onder andere met behulp van het gegeven dat deze reactie een redoxreactie is. De vergelijking van de halfreactie van het goud is hieronder gedeeltelijk weergegeven:



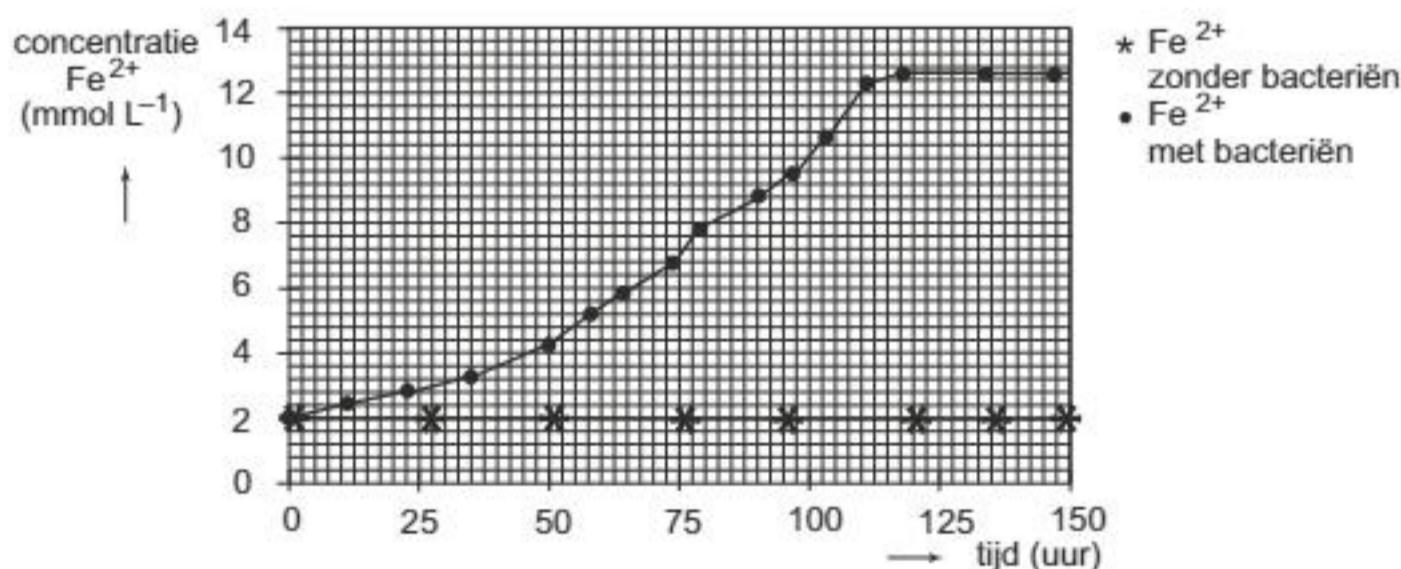
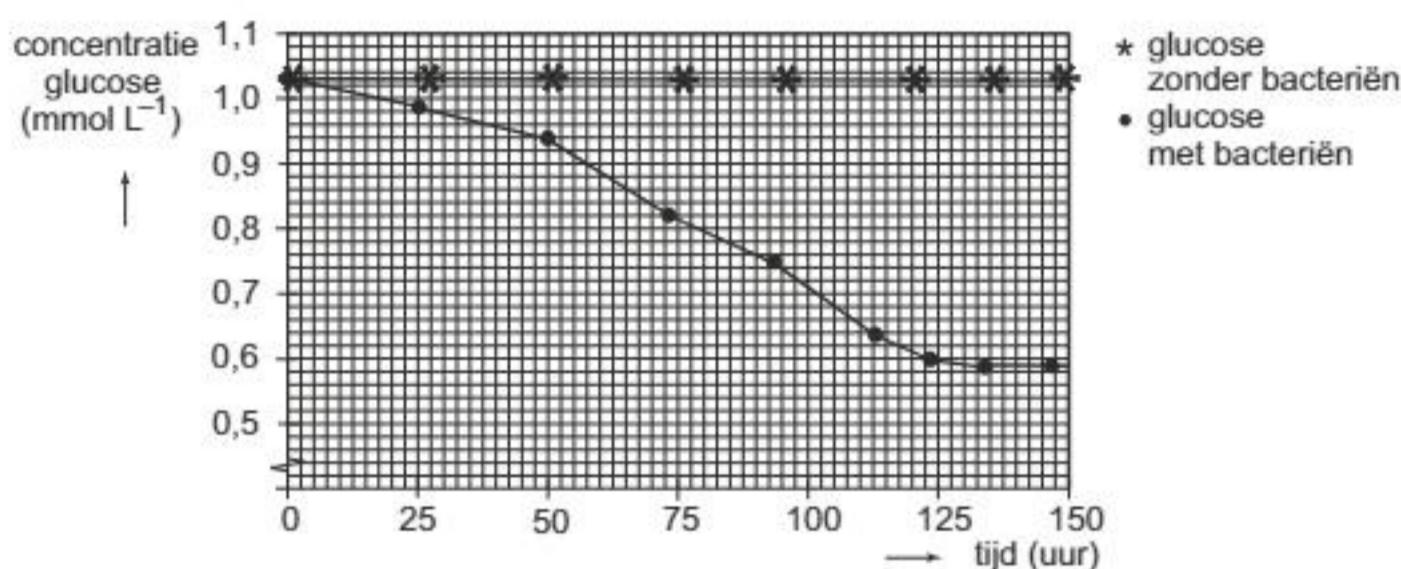
De andere halfreactie is die van zuurstof in niet-zuur milieu.

- 11 Maak de hierboven gegeven onvolledige vergelijking van de halfreactie van het goud af.
- 12 Leid met behulp van de vergelijkingen van de halfreacties de correcte vergelijking af van de reactie die wordt bedoeld in bovenstaande tekst.

## Biobrandstofcel

De bacterie *Rhodoferax ferrireducens* leeft in anaëroob milieu (zuurstofloze omstandigheden). Voor zijn energievoorziening zet deze bacterie glucose om tot onder andere koolstofdioxide. Bij de omzetting van glucose tot koolstofdioxide is glucose reductor. Als oxidator in het anaërobe milieu treedt  $\text{Fe}^{3+}$  op, dat wordt omgezet tot  $\text{Fe}^{2+}$ . De reactie, en de functie van de bacteriën daarbij, is onderzocht. Daartoe werden proeven uitgevoerd waarbij glucose-oplossingen en oplossingen met  $\text{Fe}^{3+}$  werden samengevoegd zowel in aanwezigheid van de bacteriën als zonder bacteriën. Zonder bacteriën treedt geen reactie op.

De onderzoeksresultaten van een proef met bacteriën en een proef zonder bacteriën zijn verzameld in de onderstaande twee diagrammen.



Uit de diagrammen kan worden afgeleid dat per molecuul glucose bij de halfreactie voor de omzetting van glucose tot koolstofdioxide, 24 elektronen vrijkomen.

- 13 Leg dit uit met behulp van gegevens uit de diagrammen. Ga ervan uit dat de afname van de hoeveelheid glucose alleen wordt veroorzaakt door de reactie met  $\text{Fe}^{3+}$  en dat de toename van de hoeveelheid  $\text{Fe}^{2+}$  alleen wordt veroorzaakt door de reactie met glucose.

Men heeft onderzocht of de omzetting van glucose door *Rhodoferax ferrireducens* kan worden gebruikt in een elektrochemische cel om stroom op te wekken.

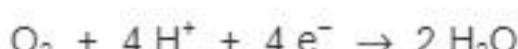
De elektrochemische cel bestaat uit twee halfcellen.

De ene halfcel van de elektrochemische cel bestaat uit een poreuze elektrode van grafiet die is geplaatst in een gebufferde glucose-oplossing. Op en rond de elektrode bevinden zich de bacteriën. Om te voorkomen dat zuurstof in de oplossing terechtkomt, wordt stikstofgas doorgeweerd. De pH van de oplossing moet 6,90 zijn.

De elektronen die bij de omzetting van glucose vrijkomen, worden overgedragen aan de elektrode.

In de andere halfcel bevindt zich de oxidator. Dat is in de elektrochemische cel niet  $\text{Fe}^{3+}$ , maar zuurstof. Deze halfcel bestaat uit een elektrode, eveneens van grafiet, die is geplaatst in een bufferoplossing (ook pH = 6,90), waar lucht doorheen wordt geleid. Als de twee elektroden worden verbonden, gaat een elektrische stroom lopen.

De zuurstof uit de lucht wordt daarbij omgezet volgens:



De ontstane elektrochemische cel wordt een biobrandstofcel genoemd.

- 14 Geef de vergelijking van de halfreactie voor de omzetting van glucose tot koolstofdioxide. Behalve de formules van de genoemde stoffen komen in de vergelijking nog  $\text{e}^-$ ,  $\text{H}^+$  en  $\text{H}_2\text{O}$  voor.
- 15 Leid de vergelijking af van de totale reactie waarop de stroomlevering door de biobrandstofcel berust.

De cel heeft gedurende een proefperiode van 600 uur een stroom geleverd van  $0,20 \cdot 10^{-3} \text{ A}$  ( $\text{A}$  is ampère;  $1 \text{ ampère} = 1 \text{ C s}^{-1}$ ). Van de omgezette glucose werd 83% gebruikt voor de stroomlevering.

- 16 Bereken hoeveel g glucose gedurende de 600 uur van de stroomlevering werd omgezet. Maak bij je berekening onder andere gebruik van het gegeven dat de lading van één mol elektronen gelijk is aan  $9,65 \cdot 10^4 \text{ C}$ .

## Lithiumbatterijen

Een pacemaker is een apparaat om het hart te ondersteunen en wordt vlak onder de huid van een patiënt geplaatst. Een belangrijk moment in de ontwikkeling van pacemakers was het gebruik van lithiumbatterijen.

De pacemaker en dus ook de batterij moet zo klein en zo licht mogelijk zijn.

Bij de keuze van een geschikt metaal voor de toepassing in een pacemaker, is de zogenoemde elektrochemische capaciteit van belang. Daarmee wordt in deze opgave bedoeld: de hoeveelheid lading die 1 gram van dat metaal kan genereren.

- 17 Laat met behulp van een berekening zien van welk metaal de elektrochemische capaciteit het grootst is: lithium of beryllium.

Mede vanwege de giftigheid van beryllium wordt deze stof niet in pacemakers toegepast. De toepassing van lithium in batterijen kent dat probleem niet.

Een lithiumbatterij heeft de volgende opbouw:

- een lithiumanode: lithium reageert tijdens stroomlevering als reductor; het is de negatieve pool van de batterij;
- een kathode: dit is een materiaal (of materialen) dat tijdens stroomlevering als oxidator reageert; dit is de positieve pool van de batterij;
- een elektrolyt: dit is (meestal) een oplossing die ionentransport in de batterij mogelijk maakt en de anode en kathode in de batterij van elkaar scheidt.

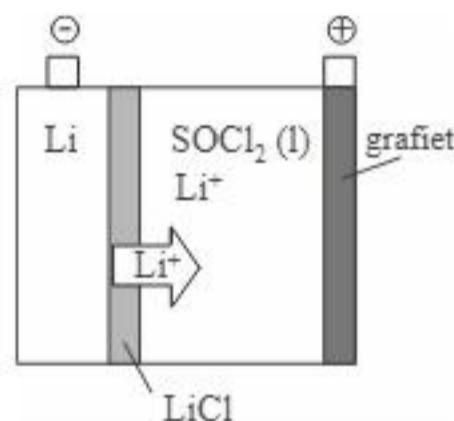
In batterijen wordt soms een waterige oplossing als elektrolyt gebruikt, maar een dergelijke oplossing is in een batterij met een lithiumanode niet bruikbaar, omdat dan een gevaarlijke situatie ontstaat.

- 18** Leg uit wat er zal gebeuren in een batterij met een lithiumanode als een waterige oplossing als elektrolyt wordt gebruikt en geef aan waarom dat gevaarlijk is.

De lithiumbatterijen die in omloop zijn, verschillen onder andere in het kathodemateriaal. Hiernaast is een batterij weergegeven met als kathode een grafitelektrode. Deze is geplaatst in een ruimte met daarin als elektrolyt de stof  $\text{LiAlCl}_4$  opgelost in de vloeistof thionylchloride ( $\text{SOCl}_2$ ).

Als in deze oplossing een anode van lithium wordt geplaatst, vormt zich een laagje vast lithiumchloride op het oppervlak van de anode. Dit laagje kan wel lithiumionen doorlaten, maar geen deeltjes  $\text{SOCl}_2$ .

Tijdens stroomlevering van een dergelijke lithiumbatterij worden aan de kathode thionylchloride en lithiumionen omgezet tot opgelost zwavel (S), opgelost zwavel-dioxide en vast lithiumchloride.



- 19** Geef de vergelijking van de halfreactie die tijdens stroomlevering aan de kathode optreedt.

Als een pacemaker het hartritme continu ondersteunt, is de batterij eerder leeg dan wanneer de pacemaker maar af en toe in werking hoeft te komen. Voor plaatsing kan bepaald worden hoe lang de levensduur van een batterij is.

Hiervoor is alleen het volume van belang dat het lithium in de batterij inneemt.

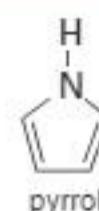
Van het totale volume van een bepaalde lithiumbatterij wordt  $0,435 \text{ cm}^3$  ingenomen door het lithium.

- 20** Bereken hoeveel jaren deze batterij gebruikt kan worden bij constante ondersteuning van het hartritme. Neem aan dat alle andere stoffen dan lithium in de batterij in overmaat aanwezig zijn. Maak bij de berekening gebruik van Binas tabel 7 en onder andere de volgende gegevens:

- de dichtheid van lithium bedraagt  $0,534 \text{ g cm}^{-3}$ ;
- de batterij levert een constante stroom van  $10 \mu\text{A}$  ( $1 \text{ A} = 1 \text{ C s}^{-1}$ );
- de batterij kan worden gebruikt tot het moment dat 80% van het anodemateriaal is opgebruikt.

## Papieren batterij

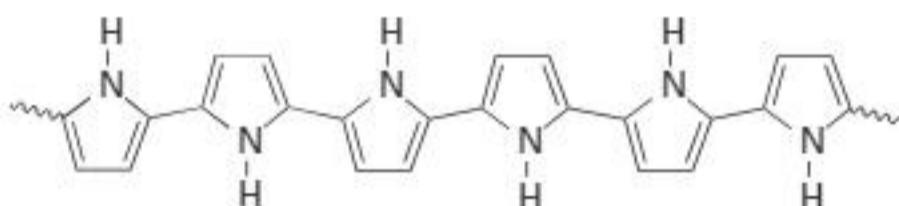
Zweedse onderzoekers hebben een lichtgewicht oplaadbare batterij van papier ontwikkeld. Deze batterij is gebaseerd op een polymeer van pyrrol. De structuurformule van pyrrol is hiernaast weergegeven. Dit polymeer is gehecht aan cellulosevezels. De gevormde vezels kunnen worden gebruikt om een materiaal te bereiden dat lijkt op papier.



De bereiding van het polymeer verloopt in twee stappen, die in één proces achter elkaar verlopen.

Stap 1: pyrrol wordt opgelost in ethanol en in contact gebracht met een overmaat ijzer(III)chloride-oplossing, waarmee het reageert.

Er treedt een zogenoemde elektrochemische polymerisatiereactie op, waarbij onder andere polypyrrrol (PPy) en ijzer(II)ionen ontstaan.



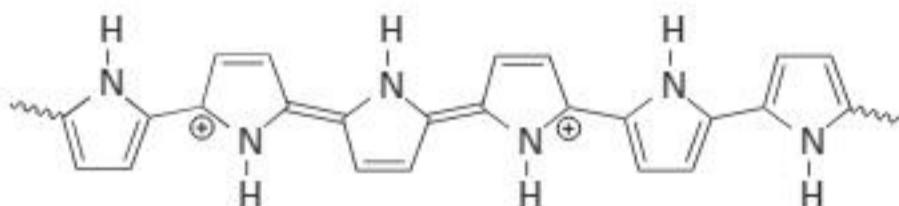
polypyrrrol (PPy)

- 21** Geef de vergelijking van de halfreactie voor de vorming van PPy uit pyrrol. Gebruik voor PPy de notatie  $H-(C_4H_3N)_n-H$ . In de vergelijking van deze halfreactie komt ook  $H^+$  voor.
- 22** Geef de vergelijking van de halfreactie voor de omzetting van ijzer(III)ionen in ijzer(II)ionen en geef de vergelijking van de totaalreactie.

Stap 2: het ontstane PPy reageert verder met de ijzer(III)chloride-oplossing.

Hierbij staan PPy-molekülen elektronen af aan ijzer(III)ionen. De PPy-molekülen worden hierdoor positief geladen, zoals hieronder is weergegeven.

De aanwezige chloride-ionen compenseren de positieve lading van de PPy-molekülen.

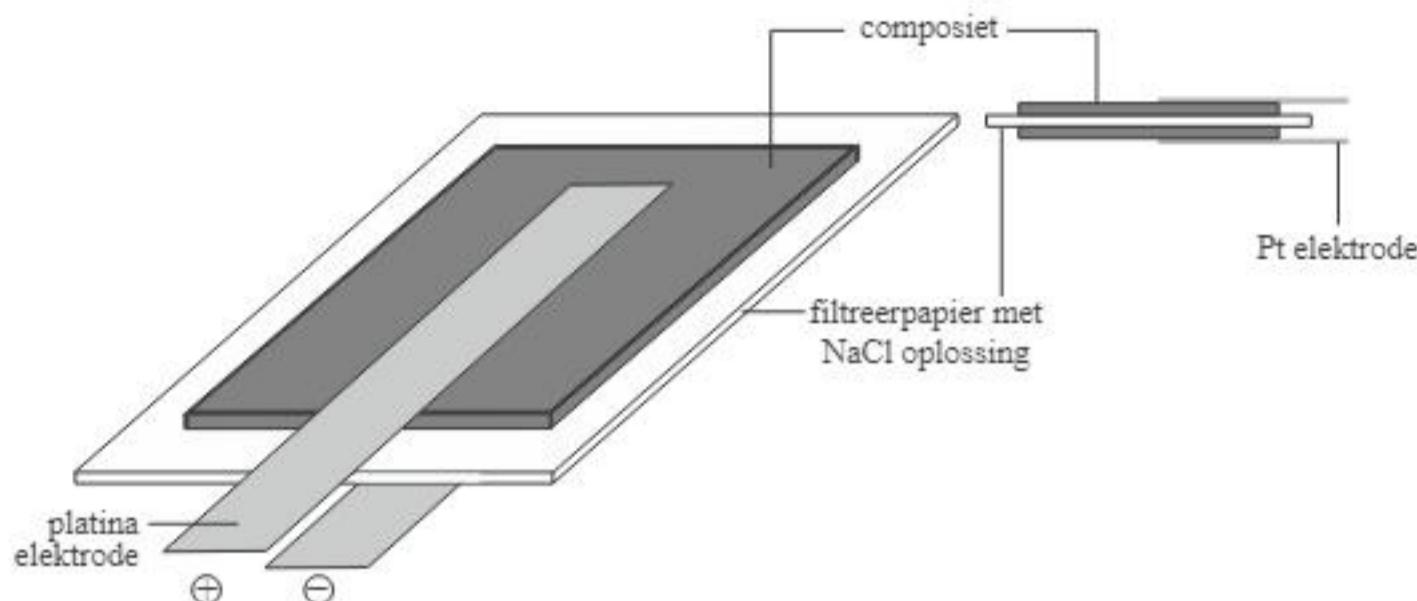


positief geladen polypyrrrol

De cellulose-PPy-vezels worden samengeperst tot platen. Het zo gevormde materiaal wordt in de rest van deze opgave aangeduid als composiet.

Zoals hieronder is weergegeven, wordt de papieren batterij samengesteld uit twee gelijke platen composiet, twee platina elektroden en filterpapier gedrenkt in een natriumchloride-oplossing. De batterij moet vóór gebruik opladen worden. Bij het opladen ontstaat een ladingsverschil tussen beide composietplaten doordat het aanvankelijk positief geladen PPy in één van de platen minder positief geladen wordt, terwijl het PPy in de andere plaat sterker positief geladen wordt.

Tijdens stroomlevering vinden de omgekeerde processen plaats.



- 23** Leg uit of tijdens stroomlevering de  $\text{Cl}^-$ -ionen in het filterpapier tussen de composietplaten in de richting van de positieve elektrode of in de richting van de negatieve elektrode zullen bewegen.

De papieren batterij is zeer snel oplaadbaar. De batterij heeft echter in vergelijking met de veelgebruikte lithiumbatterij maar een lage maximale spanning. De maximaal haalbare spanning van de papieren batterij is afhankelijk van de tijd dat het PPy reageert met de ijzer(III)chloride-oplossing.

Als de reactietijd kort is, is de hoeveelheid positieve ladingen in PPy-moleculen klein. Als de reactietijd lang is, is het aantal positieve ladingen in PPy-moleculen groot. Het aantal positieve ladingen dat kan ontstaan in PPy-moleculen kent een maximum.

- 24** Leg uit dat de batterij niet oplaadbaar is als de PPy-moleculen het maximaal aantal positieve ladingen hebben.

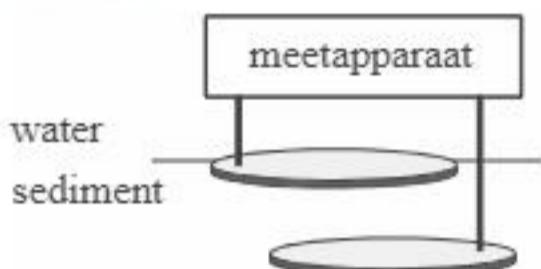
Het percentage van het maximaal aantal positieve ladingen is van belang om de maximaal haalbare spanning te kunnen bereiken. Daarom wordt de reactietijd zo gekozen dat het percentage positieve ladingen in PPy-moleculen een bepaalde waarde heeft.

- 25** Leg uit tot welk percentage van het maximaal aantal positieve ladingen de PPy-moleculen moeten reageren met de ijzer(III)chloride-oplossing, zodat de maximaal haalbare spanning van de batterij bereikt kan worden bij het opladen.

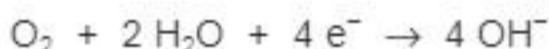
## Modderstroom

Sedimentbrandstofcellen zijn elektrische cellen op de zeebodem. Ze maken gebruik van verschillen in concentraties van stoffen in de zeebodem. Ze voorzien apparaatjes van stroom, zoals meetapparatuur in internationale wateren. Een sedimentbrandstofcel bestaat uit twee met het meetapparaat verbonden elektroden. Eén elektrode bevindt zich in de bovenste laag van het sediment, de andere iets dieper. In figuur 1 is een sedimentbrandstofcel schematisch weergegeven.

**figuur 1**



Aan de bovenste elektrode reageert zuurstof met water volgens



Aan de onderste elektrode reageert waterstofsulfide ( $\text{H}_2\text{S}$ ) in de bodem tot vast zwavel (S) en  $\text{H}^+$ .

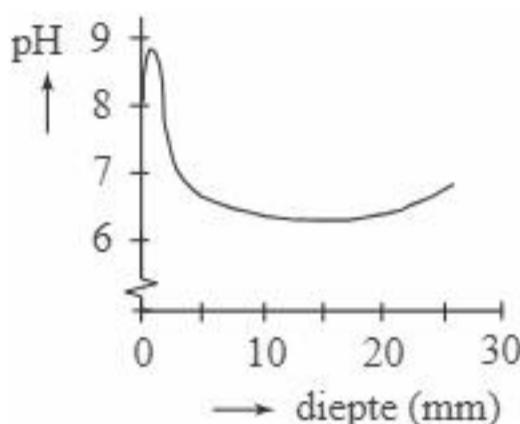
- 26 Geef de vergelijking van de halfreactie van waterstofsulfide en geef de totaalvergelijking.
- 27 Bereken hoeveel gram waterstofsulfide moet worden omgezet om een sedimentbrandstofcel een jaar lang een stroom van 1,0 mA te laten leveren. Je mag er in deze berekening van uitgaan dat er voldoende zuurstof aanwezig is.  
Gegeven:  $1 \text{A} = 1 \text{Cs}^{-1}$ . Maak gebruik van Binas-tabel 7.

Lars Peter Nielsen, een onderzoeker uit Denemarken, heeft bodemonsters uit de haven van Aarhus onderzocht om de werking van de sedimentbrandstofcel beter te begrijpen. Hij ontdekte dat het bovenste deel van de bodem uit drie sedimentlagen bestaat. In de bovenste laag (ruim 1 cm dik) is veel zuurstof aanwezig. Hier bevinden zich geen zwavel of zwavelverbindingen zoals waterstofsulfide. In de onderste laag is geen zuurstof aanwezig, maar bevinden zich wel zwavelverbindingen. In de middelste laag (1,2 à 1,9 cm dik) zijn veel organische verbindingen aanwezig die in een halfreactie met water reageren tot koolstofdioxide, waarbij  $\text{H}^+$  ontstaat.

- 28 Geef de vergelijking van de halfreactie die in de middelste laag plaatsvindt. Geef de organische verbindingen weer met de algemene formule  $(\text{CH}_2\text{O})_n$ .

Nielsen mat de pH op verschillende dieptes in het sediment. De resultaten van de metingen zijn weergegeven in figuur 2.

figuur 2



Onder andere uit deze resultaten concludeerde hij dat de halfreacties van zuurstof en waterstofsulfide gescheiden van elkaar plaatsvinden, ook als er geen sedimentbrandstofcel in de sedimentlagen aanwezig is.

- 29 Leg uit waarom deze conclusie door de resultaten in figuur 2 ondersteund wordt.

Tussen de verschillende sedimentlagen bewegen ionen, afhankelijk van hun lading, naar boven of naar beneden.

- 30 Leg uit of de positieve ionen in het sediment naar boven of naar beneden bewegen.

## Hints bij hoofdstuk 4

- 1 Bekijk niet alleen de ladingsverandering van S.
- 2 De coëfficiënt van  $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}$  moet 2x zo groot zijn als die van  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  en de coëfficiënt van  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  moet weer 2x zo groot zijn als die van  $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}$ .
- 3 Welke ladingsveranderingen treden op bij de genoemde atoomsoorten?
- 4 Wanneer reageren een reductor en een oxidator *niet* met elkaar?
- 5 Zowel de aantallen atomen (van elke soort) als de lading moet 'kloppen'.
- 6 Je kunt als oxidator zowel  $\text{O}_2$  in neutraal als in zuur milieu gebruiken.
- 7 Rechts en links van de pijl moeten de atoomsoorten en de lading 'kloppen'.
- 8 Zijn de SH-groepen zelf oxidator of reductor?
- 9 Ga na of er sprake is van ladingsoverdracht / ladingsverandering.
- 10 Waar staan in Binas 48 de ionen die karakteristiek zijn voor verdund  $\text{HNO}_3$ ?
- 11 De aantallen van elke atoomsoort moeten kloppen, maar ook de lading.
- 12 Zoek de halfreactie van zuurstof (zonder  $\text{H}^+$ ) op in Binas 48.
- 13 Begin met het tweede diagram, omdat daar de halfreactie bekend is.
- 14 Welke atoomsoort komt glucose tekort voor de omzetting in  $\text{CO}_2$ ?
- 15 Gebruik Binas 48 en je antwoord op vraag 14.
- 16 Bereken eerst hoeveel mol glucose nodig is voor de stroomlevering.
- 17 Hoeveel mol elektronen kan 1 mol van elk van de metalen leveren?
- 18 Gebruik Binas 48.
- 19 De lading moet, door het plaatsen van de juiste hoeveelheid elektronen, links en rechts van de pijl nul worden.
- 20 1 mol lithium kan maximaal 1 mol elektronen afgeven.
- 21 Zet voor alle formules een coëfficiënt met  $n$  er in.
- 22 In de totaalvergelijking staat ook voor de ijzerionen een coëfficiënt met  $n$  er in.
- 23 Welke richting gaan de elektronen op?
- 24 Bij het opladen moet er een ladingsverschil tussen de platen ontstaan.
- 25 Je hoeft bij deze vraag niets te berekenen.
- 26 Je kunt Binas 48 gebruiken. Denk aan het vereenvoudigen van de totaalreactie.
- 27 Bepaal eerst hoeveel lading in een jaar wordt getransporteerd en bepaal daarna hoe het aantal mol  $\text{H}_2\text{S}$  samenhangt met deze lading.
- 28 Maak eerst de C-atomen kloppend.
- 29 Bij de halfreacties ontstaan  $\text{H}^+$ - en  $\text{OH}^-$ -ionen.
- 30 Ga bij je redenering uit van de situatie met een sedimentbrandstofcel.

## Uitwerkingen bij hoofdstuk 4

### Koperkies

- 1** De sulfide-ionen ( $S^{2-}$ ) uit koperkies gaan over in atomaire zwavel (S)  $\Rightarrow$  zij staan elektronen af en werken dus als reductor. Hetzelfde geldt voor de koper(I)ionen die overgaan in koper(II)ionen.

*De ijzer(III)ionen in beide stoffen treden op als oxidator, want zij gaan door opname van elektronen over in ijzer(II)ionen.*

### Chromiet

- 2**  $4 Cr_2O_3 \cdot FeO + 8 Na_2CO_3 + 7 O_2 \rightarrow 8 Na_2CrO_4 + 2 Fe_2O_3 + 8 CO_2$

*De coëfficiënten van  $Na_2CO_3$  en  $Na_2CrO_4$  zijn gelijk, omdat beide stoffen evenveel  $Na^+$  bevatten;  $CO_2$  heeft dezelfde coëfficiënt als  $Na_2CO_3$ , omdat beide stoffen evenveel C bevatten. De coëfficiënt van  $Cr_2O_3 \cdot FeO$  moet de helft bedragen van die van  $Na_2CrO_4$  en de coëfficiënt van  $Fe_2O_3$  weer de helft van die van  $Cr_2O_3 \cdot FeO$ .*

*De vergelijking wordt tenslotte kloppend gemaakt met  $O_2$ -moleculen (uit de lucht).*

- 3**  $FeO$  gaat over in  $Fe_2O_3$ ; daarbij verandert  $Fe^{2+}$  in  $Fe^{3+}$ .  $Fe^{2+}$  is hier dus reductor.

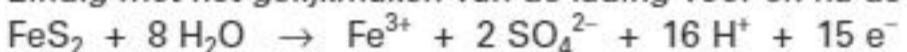
$Cr_2O_3$  gaat over in  $CrO_4^{2-}$ . De  $Cr^{3+}$ -ionen (in  $Cr_2O_3$ ) gaan daarbij over in 'Cr-ionen' waaraan de lading 6+ kan worden toegeschreven ( $CrO_4^{2-}$  wordt dan beschouwd als één  $Cr^{6+}$ -ion en vier  $O^{2-}$ -ionen). Ook  $Cr^{3+}$  staat elektronen af en treedt dus op als reductor.

### Kerkklokken

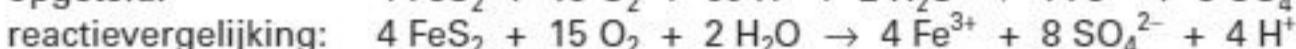
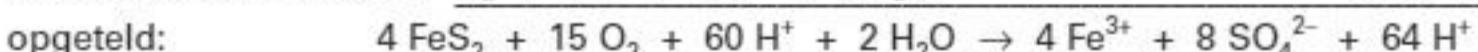
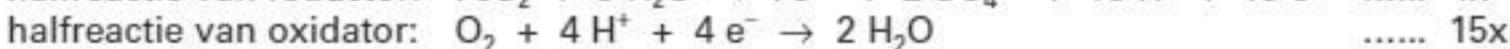
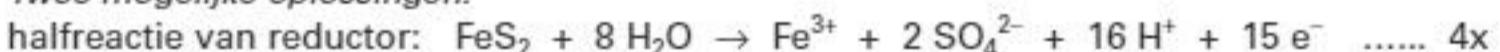
- 4** Bij de omzetting van  $Pb^{2+}$  naar  $PbO_2$  vindt een redoxreactie plaats waarbij  $Pb^{2+}$  de reductor is. Salpeterzuur in oplossing ( $H^+ + NO_3^-$ ) is echter niet sterk genoeg om  $Pb^{2+}$  in  $PbO_2$  (zelf een sterkere oxidator dan salpeterzuur) om te zetten.

### Verzuring door oxidatie

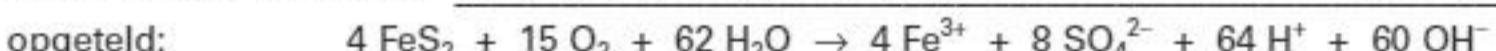
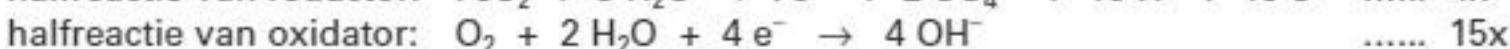
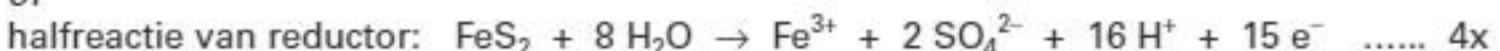
- 5** Eindig met het gelijkmaken van de lading voor en na de (half)reactie met elektronen.



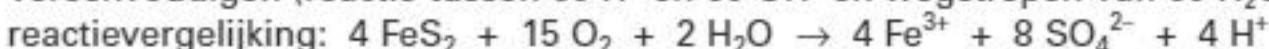
- 6** Twee mogelijke oplossingen:



of



Vereenvoudigen (reactie tussen  $60 H^+$  en  $60 OH^-$  en wegstrepen van  $60 H_2O$ ) geeft als



**Zwavelbrug**

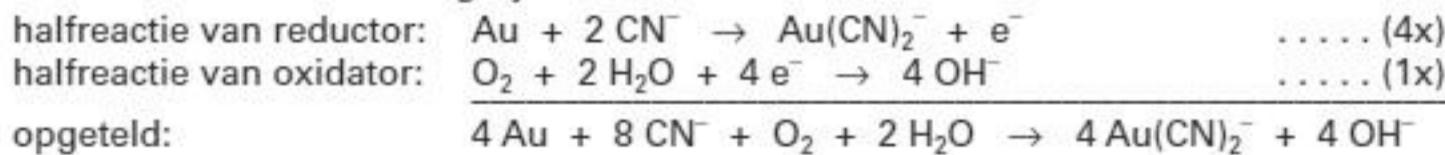
- 8 Bij de vorming van een zwavelbrug komen elektronen vrij (zie antwoord 7). Je hebt dus een oxidator (elektronenacceptor) nodig om dat mogelijk te maken.

**Zilver**

- 9 Reactie 2 is wel een redoxreactie, want zuurstof gaat over van het (ongeladen) element naar gebonden zuurstof *en/of* want uit gebonden zwavel ontstaat het (ongeladen) element S. Er is dus overdracht van elektronen.  
 Reactie 3 is wel een redoxreactie, want zilverionen ( $\text{Ag}(\text{CN})^{2-}$ ) gaan over in het metaal Ag *en/of* want uit het metaal Zn ontstaan zinkionen (gebonden in  $\text{Zn}(\text{CN})^{4-}$ ). Er is dus overdracht van elektronen.
- 10 Verduld salpeterzuur is een oxidator die zo sterk is, dat hij zowel zink als zilver kan oxideren, want alle redoxkoppels waarin  $\text{NO}_3^-$  en  $\text{H}^+$  voorkomen ( $V = +0,96, 0,93$  en  $0,81\text{ V}$ ) staan boven de redoxkoppels  $\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}$  en  $\text{Ag}^+/\text{Ag}$  in Binas 48.

**Goudwinning**

- 12 Maak het aantal elektronen gelijk:

**Biobrandstofcel**

- 13  $\text{Fe}^{3+}$  treedt op als oxidator:  $\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$

Uit het tweede diagram is af te lezen dat (per liter) 10,6 mmol  $\text{Fe}^{2+}$  wordt gevormd en daarbij worden 10,6 mmol elektronen gebruikt (zie halfreactie).

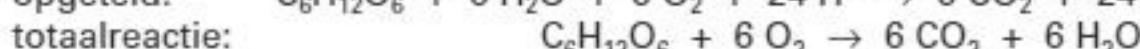
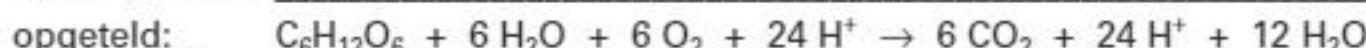
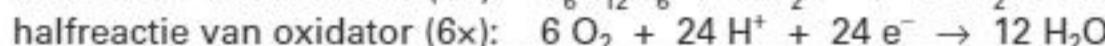
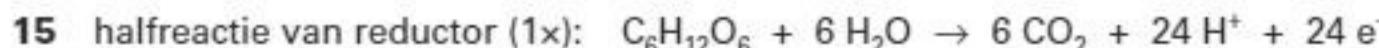
Deze worden gevormd als  $1,03 - 0,59 = 0,44$  mmol glucose (per liter) wordt omgezet (zie eerste diagram).

Per mmol glucose komen dus  $\frac{1,0}{0,44} \cdot 10,6 = 24$  mmol elektronen vrij en per molecuul glucose dus 24 elektronen.



Voor de vorming van  $\text{CO}_2$  bevat glucose verhoudingsgewijs te weinig zuurstof. Hiervoor zijn watermoleculen nodig. De vergelijking is kloppend te maken met  $\text{H}^+$  en  $\text{e}^-$  rechts van de pijl.

Controle: 24 elektronen worden genoemd in de opgave.



- 16** Totaal levert de cel in 600 uur ( $= 2,16 \cdot 10^6$  seconden)  $2,16 \cdot 10^6 \text{ s} \cdot 0,20 \cdot 10^{-3} \text{ C s}^{-1} = 432$  coulomb. 1 mol elektronen heeft een lading van  $9,65 \cdot 10^4 \text{ C}$  (gegeven).

Het aantal mol  $e^-$  dat is geleverd, is dus  $\frac{432}{9,65 \cdot 10^4} = 4,48 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$ .

Aantal mol glucose dat als reductor heeft gereageerd, is (volgens uitwerking 14):

$$\frac{4,48 \cdot 10^{-3} \text{ mol}}{24} = 1,87 \cdot 10^{-4} \text{ mol}$$

Slechts 83% van de glucose ( $M = 180,16 \text{ g mol}^{-1}$ ) heeft stroom geleverd, dus totaal is

$$\text{omgezet: } \frac{100}{83} \cdot 1,87 \cdot 10^{-4} \text{ mol} = 2,25 \cdot 10^{-4} \text{ mol, overeenkomend met:}$$

$$2,25 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot 180,16 \text{ g mol}^{-1} = 4,1 \cdot 10^{-2} \text{ g glucose (2 significante cijfers).}$$

### Lithiumbatterijen

- 17** 1 mol lithium kan 1 mol elektronen afgeven en 1 mol beryllium kan 2 mol elektronen afgeven. 1 g Li komt overeen met  $\frac{1 \text{ g}}{6,941 \text{ g mol}^{-1}} = 0,144 \text{ mol Li}$  (Binas 99).

Dit komt overeen met 0,144 mol elektronen.

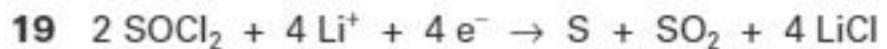
1 g Be komt overeen met  $\frac{1 \text{ g}}{6,012 \text{ g mol}^{-1}} = 0,111 \text{ mol Be}$  (Binas 99). Dit komt overeen

met  $2 \cdot 0,111 = 0,222 \text{ mol elektronen}$ . Beryllium levert meer lading (elektronen) per gram en heeft dus een grotere elektrochemische capaciteit.

*Als lithiumatomen één elektron afgeven dan hebben ze een edelgasomringing (een gevulde buitenste elektronenschil). Berylliumatomen moeten twee elektronen afgeven om edelgasomringing te krijgen.*

- 18** Lithium en water reageren met elkaar (Binas 48). Daarbij ontstaat het explosieve gas waterstof. De batterij kan dus openscheuren / ontploffen.

*Je mag ook antwoorden dat er door de reactie van water met lithium een sterke basische en dus bijtende oplossing van lithiumhydroxide ontstaat.*



- 20** 1 cm<sup>3</sup> lithium heeft een massa van 0,534 g, dus de gebruikte 0,435 cm<sup>3</sup> lithium heeft een massa van  $0,435 \cdot 0,534 = 0,232 \text{ g}$ .

Dit komt overeen met  $\frac{0,232 \text{ g}}{6,941 \text{ g mol}^{-1}} = 3,34 \cdot 10^{-2} \text{ mol Li}$  (Binas 99).

Als 80% hiervan heeft gereageerd, dan levert de batterij geen stroom meer.

Er heeft dan  $\frac{80}{100} \cdot 3,34 \cdot 10^{-2} = 2,67 \cdot 10^{-2} \text{ mol Li}$  gereageerd. Er ontstaat daarbij

$2,67 \cdot 10^{-2} \text{ mol e}^- (\text{Li} \rightarrow \text{Li}^+ + \text{e}^-)$ . 1 mol  $e^-$  heeft een lading van  $9,64853 \cdot 10^4 \text{ C}$  (Binas 7)  
 $\Rightarrow 2,67 \cdot 10^{-2} \text{ mol e}^-$  heeft een lading van  $2,67 \cdot 10^{-2} \cdot 9,64853 \cdot 10^4 = 2,58 \cdot 10^3 \text{ C}$ .

In 1 seconde levert de batterij  $10 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ . Het leveren van  $2,58 \cdot 10^3 \text{ C}$  duurt dus

$$\frac{2,58 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^{-6}} = 2,58 \cdot 10^8 \text{ s. Dit is gelijk aan } \frac{2,58 \cdot 10^8}{365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = 8,2 \text{ jaar (2 significante cijfers).}$$

## Papieren batterij

- 21**  $n \text{C}_4\text{H}_5\text{N} \rightarrow \text{H}-(\text{C}_4\text{H}_3\text{N})_n-\text{H} + (2n-2) \text{H}^+ + (2n-2) \text{e}^-$
- 22** halfreactie van RED:  $n \text{C}_4\text{H}_5\text{N} \rightarrow \text{H}-(\text{C}_4\text{H}_3\text{N})_n-\text{H} + (2n-2) \text{H}^+ + (2n-2) \text{e}^-$   
 halfreactie van OX:  $\text{Fe}^{3+} + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$  ....  $(2n-2) \times$   
 opgeteld:  $n \text{C}_4\text{H}_5\text{N} + (2n-2) \text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{H}-(\text{C}_4\text{H}_3\text{N})_n-\text{H} + (2n-2) \text{H}^+ + (2n-2) \text{Fe}^{2+}$
- 23** De elektronen zullen (door de draad) van de negatieve naar de positieve elektrode bewegen. Om het ladingsverschil dat zo ontstaat te compenseren, zullen de chloride-ionen (door de natriumchloride-oplossing) van de positieve naar de negatieve elektrode bewegen.  
*Tegelijkertijd zullen de natriumionen in de omgekeerde richting bewegen.*
- 24** Als de PPy-moleculen het maximaal aantal positieve ladingen hebben dan is het niet mogelijk door het opladen één van beide platen meer positieve lading te geven. Er zal dus geen ladingsverschil kunnen optreden en de batterij zal daardoor geen stroom meer leveren.
- 25** De composiet moet zolang met de ijzer(III)chloride-oplossing reageren dat 50% van het maximaal aantal positieve ladingen op de PPy-moleculen gevormd wordt. De ene plaat zal dan bij opladen het maximaal aantal positieve ladingen verkrijgen, terwijl de andere plaat neutraal wordt.  
*Hierdoor wordt het maximaal haalbare potentiaalverschil bereikt.*

## Modderstroom

- 26** halfreactie van reductor (Binas 48):  $\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{S} + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$  ....  $(2x)$   
 halfreactie van oxidator (gegeven):  $\text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^- \rightarrow 4 \text{OH}^-$   
 opgeteld (geen vrije elektronen):  $2 \text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{S} + 4 \text{H}^+ + 4 \text{OH}^-$   
 vergelijking van redoxreactie:  $2 \text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{S} + 2 \text{H}_2\text{O}$   
*De reactievergelijking is te vereenvoudigen, want  $\text{H}^+$  en  $\text{OH}^-$  reageren tot water.*
- 27** Een stroom van  $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ C}$  per seconde gedurende een jaar betekent een ladingstransport van  $1,0 \cdot 10^{-3} \text{ Cs}^{-1} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s} = 3,15 \cdot 10^4 \text{ C}$ .  
 De lading van 1 mol elektronen is  $9,64853 \cdot 10^4 \text{ C}$  (constante van Faraday, zie Binas 7).  
 Gedurende het jaar wordt dus  $\frac{3,15 \cdot 10^4 \text{ C}}{9,64853 \cdot 10^4 \text{ Cmol}^{-1}} = 0,326 \text{ mol elektronen geleverd}$   
 door de reductor  $\text{H}_2\text{S}$ .  
 Uit de vergelijking van de halfreactie (zie uitwerking 26) volgt dat er 0,163 mol  $\text{H}_2\text{S}$  (in de bodem) is omgezet.  
 1 mol  $\text{H}_2\text{S}$  heeft een massa van  $34,081 \text{ g}$  (Binas 98)  $\Rightarrow$  0,163 mol  $\text{H}_2\text{S}$  heeft een massa van  $0,163 \cdot 34,081 = 5,6 \text{ g}$  (2 significante cijfers).
- 28**  $(\text{CH}_2\text{O})_n + n \text{H}_2\text{O} \rightarrow n \text{CO}_2 + 4n \text{H}^+ + 4n \text{e}^-$   
*Maak eerst C kloppend, vervolgens O en H en tenslotte de lading door rechts het juiste aantal elektronen te plaatsen.*

**29 Mogelijke antwoorden:**

- De hoge pH in de bovenste laag (op geringe diepte) wijst op de aanwezigheid van veel OH<sup>-</sup>-ionen. Als de halfreacties van zuurstof en waterstofsulfide aan elkaar gekoppeld zouden zijn, verwacht je een neutralisatiereactie tussen (evenveel) gevormde OH<sup>-</sup>-ionen als H<sup>+</sup>-ionen (zie uitwerking 26).
- De pH-verschillen op de verschillende diepten in figuur 2 zouden veel kleiner moeten zijn, als de reactie tussen zuurstof en waterstofsulfide rechtstreeks plaats zou vinden. In deze redoxreactie wordt namelijk netto geen zuur of base gevormd (zie uitwerking 26).

**30 Bij de reactie in de bovenste laag reageert de oxidator (zie opgave) en ontstaan negatieve ionen (OH<sup>-</sup>); in de onderste laag reageert de reducteur (zie uitwerking 26) en ontstaan positieve ionen (H<sup>+</sup>). De positieve ionen zullen van beneden naar boven gaan om dit proces door te laten gaan (of: om de stroomkring te sluiten).**

Ook toegestaan:

*Door de hogere pH in de bovenste laag zal H<sup>+</sup> naar boven bewegen (en OH<sup>-</sup> naar beneden).*



Vind je dit onderwerp lastig? Bekijk een uitlegfilmpje op [mijnexamenbundel.nl](http://mijnexamenbundel.nl) of oefen met extra examenopgaven.



## 5 Koolstofchemie

### Thermoplastisch zetmeel

Thermoplastisch zetmeel (in deze opgave verder TPS genoemd) is een kunststof die onder andere als verpakkingsmateriaal voor groenten wordt gebruikt. TPS wordt bereid uit aardappelzetmeel, water en een weekmaker. De ketenlengte neemt daarbij met een factor 20 af. Het gevormde TPS kan worden gesmolten en verwerkt.

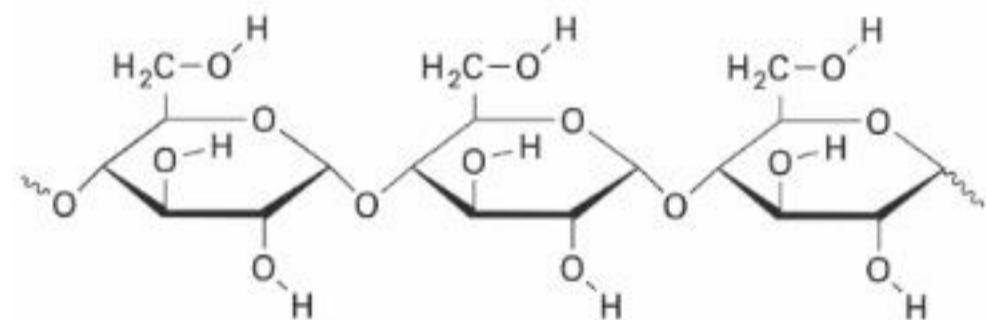
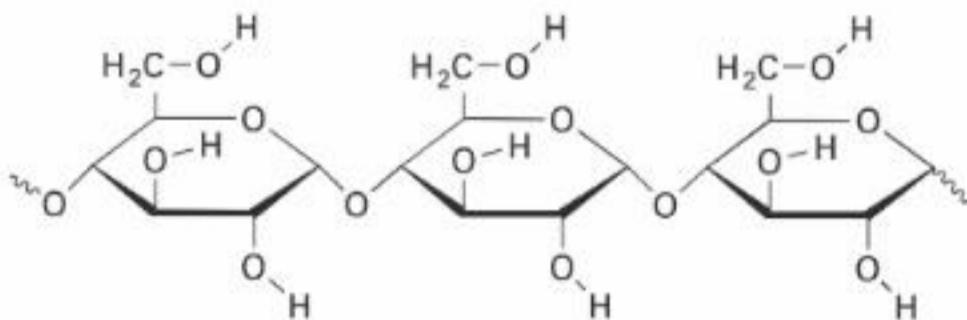
Eén van de weekmakers die in TPS wordt gebruikt, is glycerol (propaan-1,2,3-triol). Moleculen glycerol nestelen zich tussen polymeerketens en vormen daar waterstofbruggen mee.

Door de aanwezigheid van glycerol tussen de polymeerketens is TPS beter te vervormen dan zetmeel met een vergelijkbare ketenlengte.

Een deel van twee polymeerketens van TPS is op de bijlage hieronder weergegeven.

- 1 Teken in de bijlage een molecuul glycerol tussen de twee getekende delen van ketens van TPS. Geef in de tekening met stippellijntjes aan hoe het glycerolmolecuul met waterstofbruggen aan beide ketens is gebonden.

#### bijlage bij vraag 1



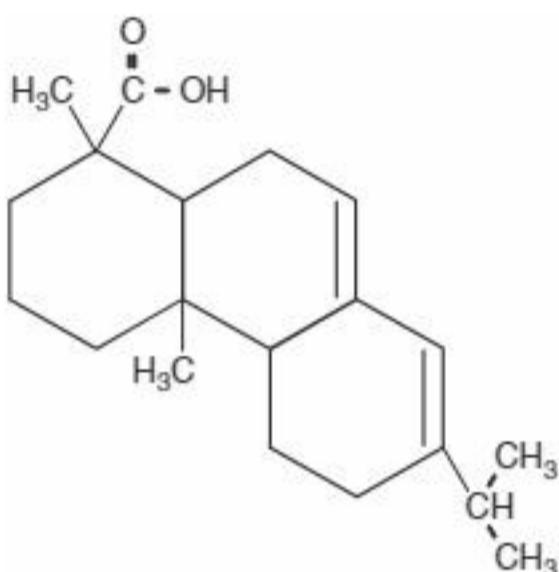
- 2 Leg uit met behulp van begrippen op deeltjesniveau hoe toevoeging van glycerol aan TPS het polymeer beter te vervormen maakt.

## Waterproof papier

Schrijfpapier moet zo worden gemaakt dat het zo weinig mogelijk water opneemt. Tijdens het fabricageproces van dit soort papier worden daarom stoffen toegevoegd om het papier 'waterproof' te maken. Bij een methode om papier waterproof te maken gebruikt men de stof abietzuur. Abietzuur kan worden weergegeven met de schematische structuurformule die in de bijlage is afgedrukt. In deze schematische structuurformule zijn de C-atomen van de zesringen niet getekend; de H-atomen die aan die C-atomen zijn gebonden, zijn weggelaten.

- 3 Teken in de structuurformule in de bijlage alle ontbrekende H-atomen.

### bijlage bij vraag 3

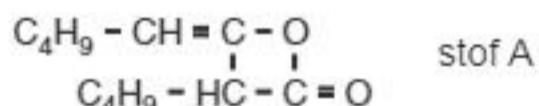


Abietzuur kan gemakshalve worden weergegeven met de formule HR.

Bij het waterproofmaken van papier wordt het abietzuur eerst omgezet tot het matig oplosbare natriumzout van abietzuur ( $\text{NaR}$ ). De  $\text{R}^-$ -ionen uit dit zout reageren met  $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ -ionen afkomstig van opgelost aluminiumsulfaat, dat tijdens het fabricageproces van papier wordt toegevoegd. Om abietzuur om te zetten tot het natriumzout van abietzuur, laat men het abietzuur reageren met een oplossing van een stof X.

- 4 Geef de naam van een stof X die daarvoor geschikt is.

Bij een andere methode om papier waterproof te maken, gebruikt men de stof met de volgende structuurformule:

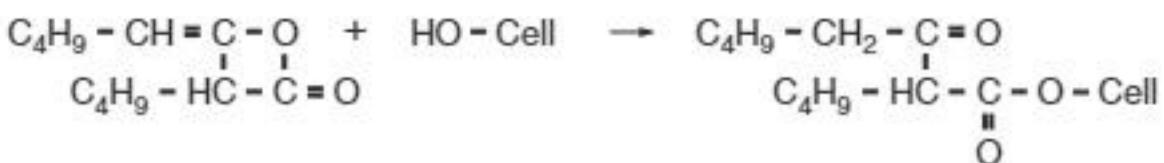


Stof A wordt gevormd door dimerisatie van butylketen,  $\text{C}_4\text{H}_9 - \text{CH} = \text{C} = \text{O}$ . Bij deze reactie treedt koppeling op van twee moleculen butylketen. De reactie is op te vatten als een additiereactie, waarbij het C-atoom en het O-atoom van het ene molecuul zich hechten aan de C-atomen van de C=C binding van het andere molecuul.

Als de additie op deze manier plaatsvindt, kunnen twee dimeren ontstaan. Eén ervan is stof A. Het andere dimer is een structuurisomeer van stof A.

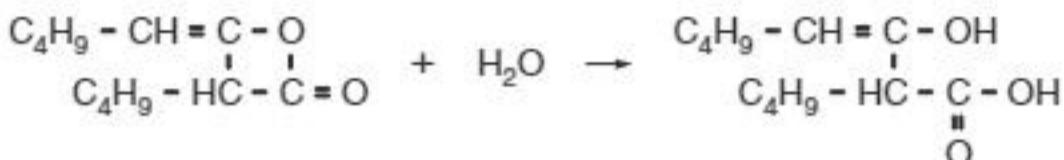
- 5 Geef de structuurformule van dat andere dimer van butylketen.  
Gebruik de notatie  $\text{C}_4\text{H}_9$  om de butylgroep weer te geven.

Bij het waterproofmaken van papier met behulp van stof A treedt een reactie op tussen moleculen van stof A en de OH-groepen van cellulose. Deze reactie kan als volgt in een reactievergelijking worden weergegeven (hierin is het cellulosemolecuul weergegeven met HO - Cell):



Men kan zich voorstellen dat deze reactie in drie stappen verloopt:

- in de eerste stap reageert een molecuul van stof A met een watermolecuul:

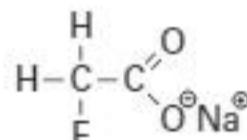


- in de tweede stap reageert een cellulosemolecuul met een molecuul van het product van de reactie tussen stof A en water.
  - in de derde stap treedt in een molecuul van de stof die in de tweede stap is gevormd uitsluitend een inwendige verhuizing op van een H-atoom waarbij een molecuul van het reactieproduct wordt gevormd.

- 6 Geef de tweede en derde stap in reactievergelijkingen met structuurformules weer. Gebruik de notatie HO - Cell voor een cellulosemolecuul en C<sub>4</sub>H<sub>9</sub> voor de butylgroep.

## **Bestrijdingsmiddel 1080**

1080 (ten-eighty) is de triviale naam van het natriumzout van fluorazijnzuur. 1080 is zeer giftig en wordt gebruikt als bestrijdingsmiddel tegen ongedierte. De structuurformule van 1080 is hiernaast afgebeeld.



De giftigheid van 1080 komt voort uit het feit dat na inname van de stof de citroenzuurcyclus wordt geblokkeerd. Door blokkade van de cyclus als gevolg van inname van 1080 komt de energievoorziening van het organisme in gevaar, wat de dood tot gevolg kan hebben. De reacties die optreden in de citroenzuurcyclus staan in Binas tabel 68C.

Na inname van 1080 wordt deze stof in een aantal stappen enzymatisch omgezet tot de stof fluorcitroenzuur. Deze stof lijkt veel op citroenzuur.

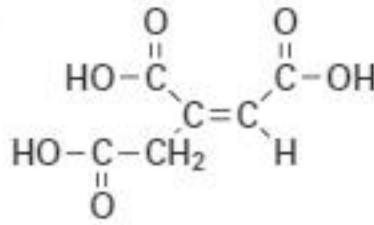
Het verschil tussen fluorcitroenzuur en citroenzuur is dat in een molecuul fluorcitroenzuur één fluoratoom aan een koolstofatoom is gebonden op de plaats waar in een molecuul citroenzuur een waterstofatoom aan een koolstofatoom is gebonden.

Van fluorcitroenzuur bestaan verschillende stereo-isomeren, van citroenzuur niet.

- 7 Geef de structuurformule van fluorcitroenzuur. Geef hierin met een sterretje aan welk koolstofatoom asymmetrisch is of welke koolstofatomen asymmetrisch zijn.

Onder normale omstandigheden wordt citroenzuur in de eerste twee stappen van de citroenzuurcyclus door het enzym aconitase omgezet tot isocitroenzuur.

Als tussenproduct wordt hierbij een stof gevormd die *cis*-aconietzuur wordt genoemd (zie structuurformule).

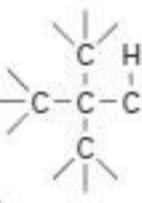


- 8 Omcirkel in de structuurformule de atomen die in één vlak liggen. Vermeld ook waarom de overige atomen (meestal) niet in dit vlak liggen.
- Aconitase kan echter ook fluorcitroenzuur omzetten. Men vond dat één van de stereo-isomeren van fluorcitroenzuur door aconitase wordt omgezet tot een stof die wordt aangeduid met de naam 4-hydroxy-*trans*-aconietzuur en dat geen verdere omzetting tot isocitroenzuur plaatsvindt.
- 9 Geef de structuurformule van 4-hydroxy-*trans*-aconietzuur. Ga ervan uit dat de plaatsaanduiding van een OH-groep een lagere prioriteit heeft dan de plaatsaanduiding van een C=C binding.

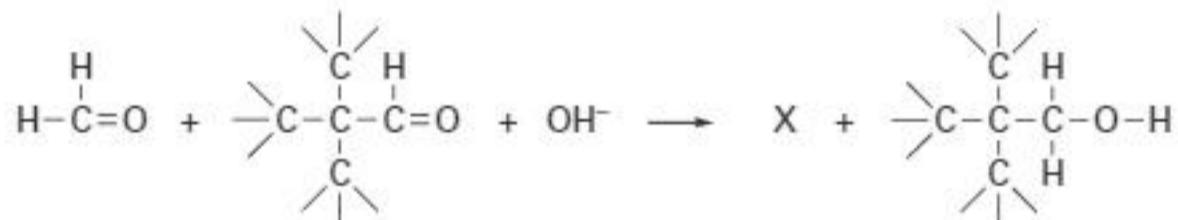
## Kneedbom

Methanal kan in basisch milieu reageren met andere aldehyden. De soort reactie die daarbij optreedt, hangt af van het type aldehyde dat met methanal wordt samengevoegd.

Bij de reactie van methanal, in basisch milieu, met een aldehyde waarbij in het

molecuul een  groep voorkomt, ontstaat een oplossing van een alkanoaat en een alcohol.

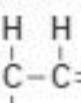
Deze reactie kan als volgt in een vergelijking worden weergegeven:



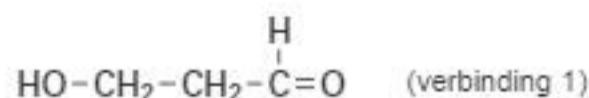
Alle coëfficiënten in deze vergelijking zijn gelijk aan 1.

- 10 Geef de structuurformule van X.

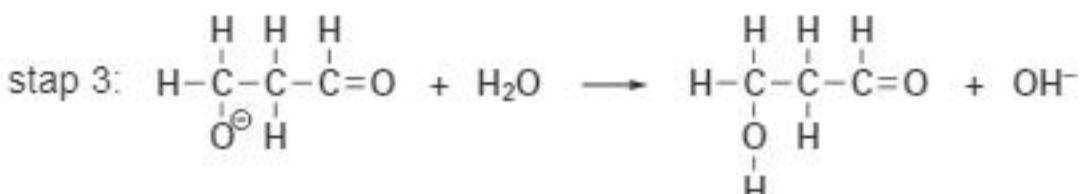
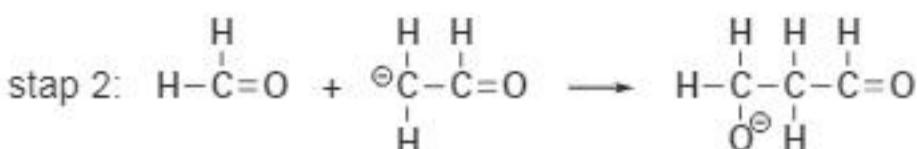
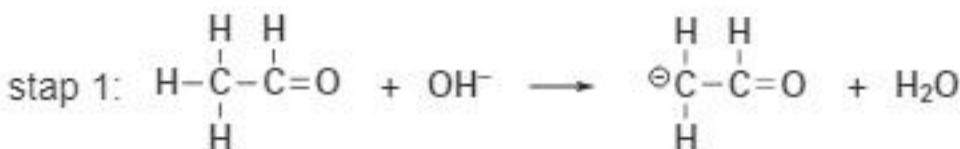
De reactie van methanal in basisch milieu met een aldehyde waarbij in een molecuul

een  groep voorkomt, verloopt op een geheel andere wijze.

Eén van de reactieproducten die ontstaan als methanal en ethanal in basisch milieu worden samengevoegd, heeft de volgende structuurformule:



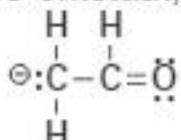
Men veronderstelt dat de reactie waarbij verbinding 1 ontstaat, in drie stappen verloopt.



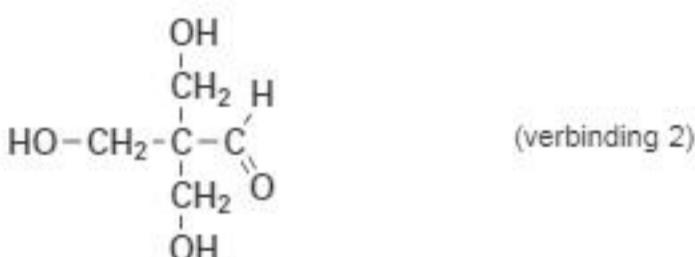
Van het ion dat in stap 1 van dit reactiemechanisme ontstaat, kunnen twee mesomere grensstructuren worden gegeven.

Eén van die twee grensstructuren is:

- 11 Geef de andere grensstructuur van dit ion.



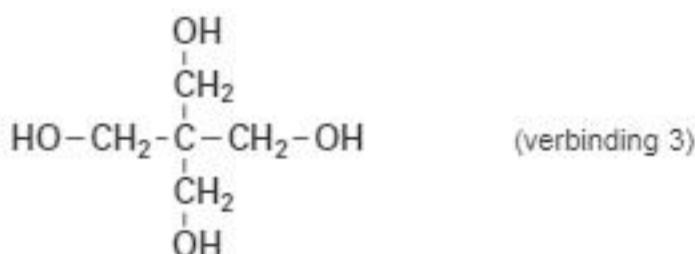
Laat men een mengsel van ethanal en een grote overmaat methanol in basisch milieu reageren, dan ontstaat een verbinding met de volgende structuurformule:



Het ontstaan van verbinding 2 uit het genoemde mengsel kan verklaard worden met behulp van het beschreven reactiemechanisme.

- 12 Leg uit hoe het ontstaan van verbinding 2 uit het genoemde mengsel verklaard moet worden.

In het reactiemengsel dat ontstaat uit het mengsel van ethanal en een grote overmaat methanol in basisch milieu, wordt uiteindelijk ook een verbinding met de volgende structuurformule aangetroffen:



- 13 Leg aan de hand van voorgaande gegevens uit hoe het ontstaan van verbinding 3 uit het genoemde mengsel verklaard moet worden.

Verbinding 3 wordt in de explosievenindustrie gebruikt voor de productie van één van de bestanddelen van de zogenoemde kneedbom.

Daartoe laat men verbinding 3 reageren met salpeterzuur dat in overmaat wordt toegevoegd. Daarbij wordt verbinding 3 volledig veresterd.

- 14 Geef de lewisstructuur van  $\text{HNO}_3$  weer met twee mesomere grensstructuren. Geef hierin ook de formele ladingen aan.
- 15 Geef de structuurformule van de ester die dan zal ontstaan uit verbinding 3 en een overmaat salpeterzuur.

## 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. Hieronder staat een deel van dit artikel. Weekmakers zijn bij kamertemperatuur vloeistoffen.

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 verzwaken, 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 allerhande ongewenste (eco)toxicologische effecten.

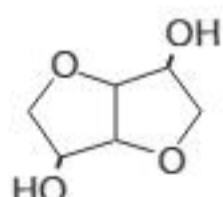
naar: 'Kunststof en Rubber', K. Molenveld, WUR, Wageningen

Met 'interacties tussen de polymeerketens' wordt een bepaald type binding bedoeld. Plastics worden vaak ingedeeld in thermoplasten en thermoharders.

- 16 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).

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 iso-sorbide een geschikte stof is om weekmakers te synthetiseren die aan de gestelde voorwaarden voldoen.

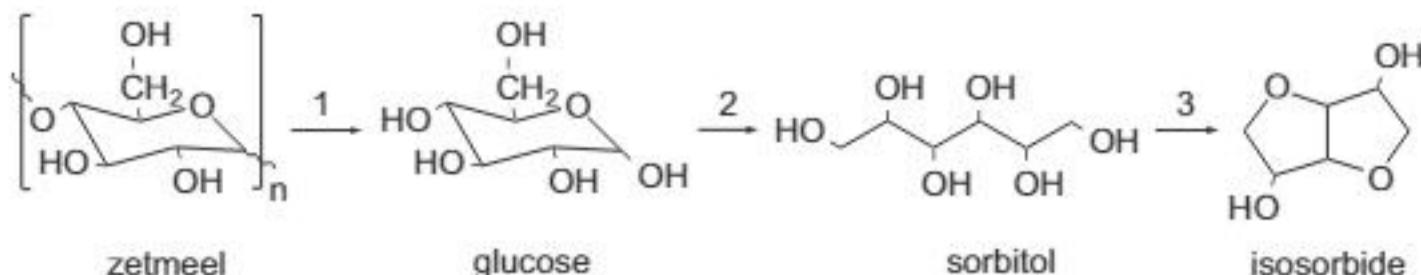
De structuurformule van isosorbide kan als volgt worden weergegeven:



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

- 17 Geef de reactievergelijking voor het ontstaan van deze weekmaker. Gebruik daarin structuurformules voor de organische verbindingen. Voor isosorbide mag de structuurformule worden gebruikt die hierboven 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.



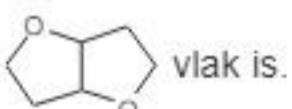
Voor omzetting 1 is behalve zetmeel nog een stof X nodig. Voor omzetting 2 is behalve glucose nog een stof Y nodig.

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

stof X is:

stof Y is:

Door isosorbide weer te geven als bovenstaand, lijkt het alsof het gedeelte

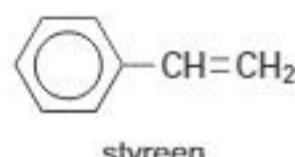


Dat geldt wel bij benadering voor elk van beide vijfringen afzonderlijk, maar de hoek tussen de vlakken van beide vijfringen is niet gelijk aan  $180^\circ$ . Beide vijfringen liggen dus niet in één plat vlak.

- 19 Leg uit dat de hoek tussen de vlakken van beide vijfringen in het gedeelte van het isosorbidemolecuul niet gelijk is aan  $180^\circ$ .

### **Styrene**

Hiernaast is de structuurformule van styreen afgebeeld. Styreen is de grondstof voor een aantal kunststoffen. Eén van die kunststoffen is ABS (Acrylonitril-Butadieen-Styreen).



Eén van de grondstoffen voor de bereiding van ABS is een polymeer van buta-1,3-dieen. Als buta-1,3-dieen polymeriseert, zijn de koolstofatomen 1 en 4 betrokken bij de polymerisatie.

In een molecuul van dit polybutadieen is hierdoor per monomere eenheid nog een C=C binding in de hoofdketen aanwezig. Door de aanwezigheid van deze C=C bindingen kan polybutadieen met acrylonitril en styreen reageren. Er ontstaan dan zijtakken aan de polybutadieenmoleculen waarin moleculen acrylonitril en styreen zijn verwerkt.

Hiernaast is de structuurformule van acrylonitril afgebeeld.

- 20 Geef van het hierboven beschreven polybutadieen een gedeelte uit het midden van een polymeermolecuul in structuurformule weer. Dit gedeelte dient te zijn opgebouwd uit twee monomeereenheden. Houd geen rekening met eventuele *cis-trans*-isomerie.

21 Geef de structuurformule van een fragment van een molecuul ABS. Dit fragment moet bestaan uit één polybutadieen-eenheid, één acrylonitril-eenheid en één styreen-eenheid. Geef hierbij de CN-groep van acrylonitril als  $-\text{CN}$  weer.

- In de industrie wordt styreen onder andere bereid uit ethylbenzeen.
- 22** Geef de reactievergelijking voor de vorming van styreen uit ethylbenzeen. Gebruik structuurformules voor de organische stoffen.

Het voor de bereiding van styreen benodigde ethylbenzeen wordt in een apart proces bereid. Daartoe laat men etheen reageren met benzeen. Er ontstaan echter ook bijproducten. Het ontstane ethylbenzeen kan namelijk met etheen doorreageren onder vorming van di-ethylbenzenen. En ook de di-ethylbenzenen kunnen met etheen reageren, waarbij tri-ethylbenzenen worden gevormd.

Er zijn meerdere stoffen die als tri-ethylbenzeen kunnen worden aangeduid.

- 23** Geef de structuurformules van alle tri-ethylbenzenen.

## Nanomotors

Nanomotors zijn apparaatjes van enkele nanometers lang die in staat zijn zichzelf voort te bewegen. Een groep wetenschappers heeft een nanomotor gemaakt die kan voortbewegen als gevolg van de polymerisatie van norborneen. Norborneen wordt gemaakt uit een alkadien en etheen.



In figuur 1 is met schematische structuurformules weergegeven hoe buta-1,3-dieen met etheen reageert. Met pijltjes is aangegeven hoe elektronenparen zich verplaatsen tijdens de reactie. De stof waaruit norborneen gevormd wordt, reageert op vergelijkbare wijze met etheen.

**figuur 1**



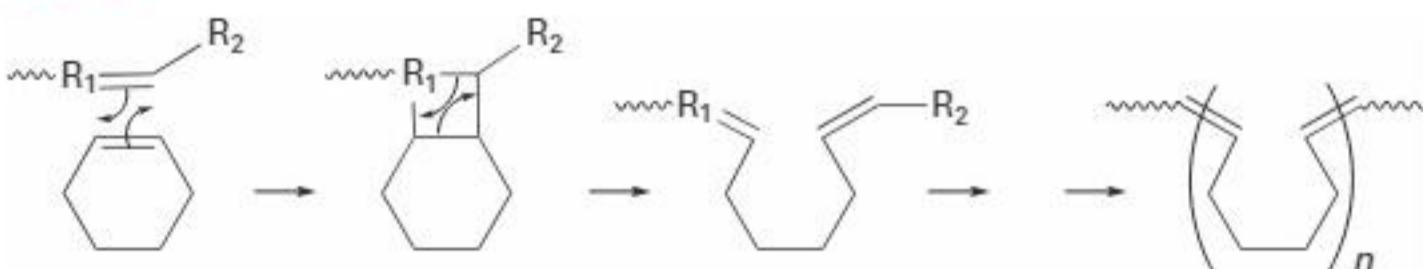
- 24** Geef de schematische structuurformule van de stof waaruit norborneen ontstaan is.

Norborneen polymeriseert volgens een zogeheten ROMP-reactie.

Deze polymerisatie van norborneen verloopt hierbij op vergelijkbare wijze als de polymerisatie van cyclohexeen. De polymerisatie van cyclohexeen volgens een ROMP-reactie is in figuur 2 schematisch weergegeven.

De atoomgroep  $\sim R_1 = R_2$  katalyseert de polymerisatie.

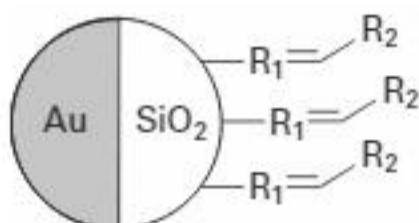
**figuur 2**



- 25** Geef een gedeelte uit het midden van een molecuul polynorborneen in schematische structuurformule weer. Dit gedeelte moet zijn ontstaan uit twee norborneen-eenheden.

In figuur 3 is een onderzochte nanomotor weergegeven. Een nanomotor bestaat uit een klein bolletje siliciumdioxide. Op 50% van het oppervlak zijn de katalysatormoleculen bevestigd waar zich polymeerketens vormen. Het andere deel is bedekt met goud. De polymerisatiereactie zorgt voor de voortbeweging van de nanomotor.

**figuur 3**



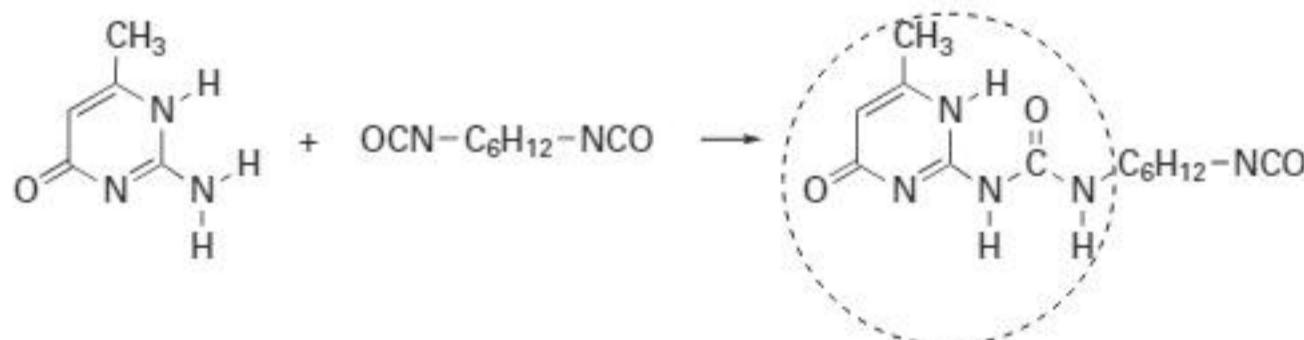
Een student brengt een hoeveelheid nanomotors in een oplossing van norborneen. Na verloop van 25 seconden analyseert hij het gevormde polymeer en stelt vast dat de gemiddelde ketenlengte van de polymeerketens  $3,6 \cdot 10^2$  eenheden bedraagt.

- 26** Bereken de gemiddelde molecuulmassa van de gevormde polymeerketens. Neem aan dat de massa van de katalysatordeeltjes verwaarloosd mag worden.

## Zelfherstellende verf

Onderzoekers aan de TU Eindhoven ontwikkelden een nieuw type polymeer met bijzondere eigenschappen: het supramoleculaire polymeer. Dit polymeer kan worden toegepast in verf. Wanneer een verflaag die deze polymeersoort bevat, beschadigd is, kan dat eenvoudig worden hersteld door de verflaag te verwarmen. De synthese van dit supramoleculaire polymeer verloopt in twee stappen. In de eerste stap (reactie 1) reageert methylisocytosine met hexaan-1,6-di-isocyanaat waarvan de schematische structuurformule  $\text{OCN}-\text{C}_6\text{H}_{12}-\text{NCO}$  is. Deze reactie is hieronder weergegeven.

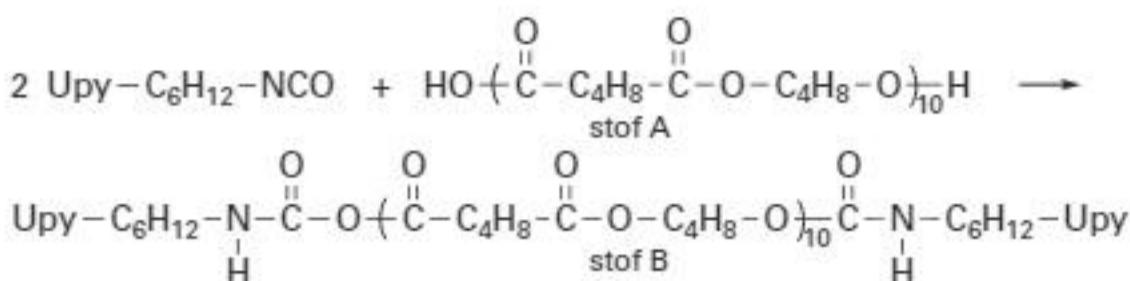
**reactie 1**



- 27** Geef de lewisstructuur van hexaan-1,6-di-isocyanaat.  
**28** Geef de naam van het type reactie dat optreedt tussen methylisocytosine en hexaan-1,6-di-isocyanaat. Licht je antwoord toe aan de hand van kenmerkende structuurelementen.

De omcirkelde groep in het reactieproduct van reactie 1 wordt de 2-ureido-4[1H]-pyrimidoongroep genoemd. In het vervolg van deze opgave wordt hij weergegeven met Upy. Het product van reactie 1 reageert in de tweede reactiestap (reactie 2) met stof A. Stof A wordt van tevoren gevormd in een reactie van twee stoffen.

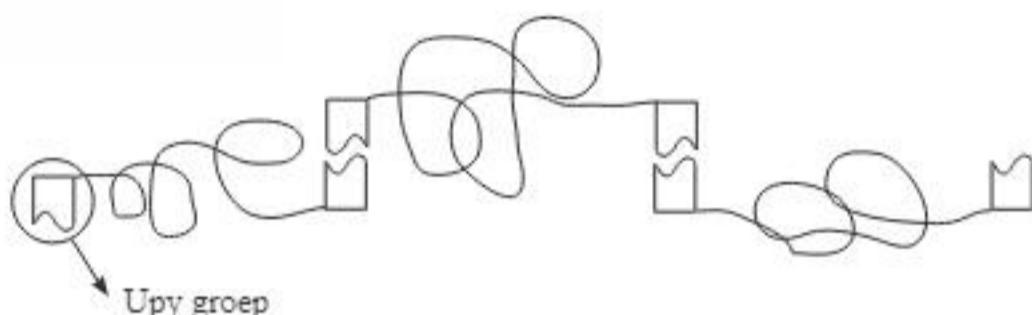
## reactie 2



- 29 Geef de reactievergelijking van de vorming van stof A. Gebruik voor de koolstofverbindingen structuurformules en tevens de notatie  $\text{C}_4\text{H}_8$ .

Het supramoleculaire polymeer ontstaat doordat moleculen van stof B zich via de Upy-groepen aan elkaar binden.

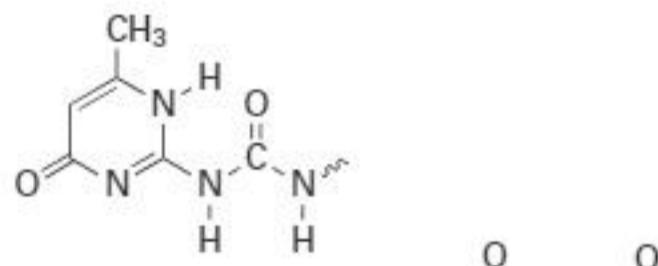
Hieronder is een gedeelte van het supramoleculaire polymeer schematisch weergegeven.



Aan elk uiteinde van een molecuul van stof B bevindt zich een Upy-groep. De Upy-groepen van twee verschillende moleculen van stof B zijn met elkaar verbonden via vier waterstofbruggen. In de bijlage is een Upy-groep in structuurformule weergegeven.

- 30 Teken in de bijlage een tweede Upy-groep en geef met vier stippellijntjes aan hoe beide Upy-groepen door middel van waterstofbruggen aan elkaar zijn gebonden. Houd er rekening mee dat met de O-atomen van  $\text{C}=\text{O}$  bindingen ook waterstofbruggen kunnen worden gevormd.

## bijlage bij vraag 30



Door het aantal repeterende eenheden, het gedeelte  $\text{C}-\text{C}_4\text{H}_8-\overset{\text{O}}{\underset{\text{C}}{\text{C}}}(\text{O}-\text{C}_4\text{H}_8-\overset{\text{O}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}})_{10}\text{H}$ , in moleculen van stof B relatief laag te houden, krijgt het supramoleculaire polymeer bijzondere eigenschappen. Eén van die eigenschappen is dat krassen in verf waarin dit polymeer is verwerkt, gemakkelijk kunnen worden verholpen.

De beschadigde verflaag wordt met een föhn verwarmd tot ongeveer 140 °C. Bij 140 °C worden de H-bruggen tussen de Upy-groepen verbroken en wordt de verf weer vloeibaar. Bij afkoelen tot kamertemperatuur wordt het oppervlak weer glad. Dit wordt het 'zelfherstellend vermogen' van de verf genoemd.

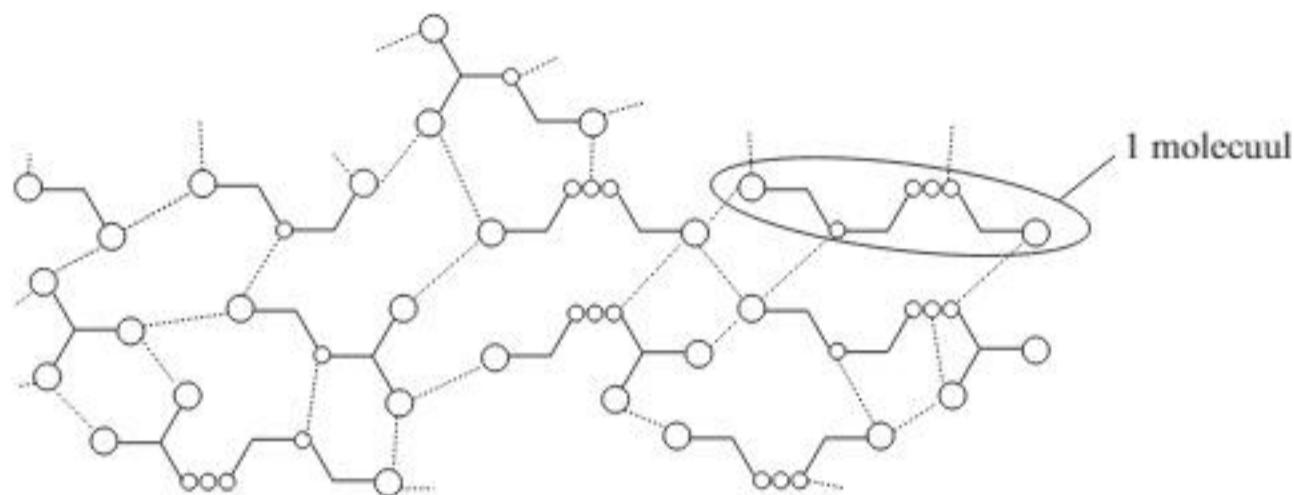
- 31 Leg met behulp van begrippen op microniveau uit waarom het zelfherstellend vermogen wel optreedt als het aantal repeterende eenheden in de moleculen van stof B laag is en niet als dit aantal te hoog is.

### Zelfherstellend rubber

Een groep onderzoekers heeft een elastisch materiaal ontwikkeld met zelfherstellende eigenschappen. Als een elastiekje van dit materiaal wordt doorgesneden, hechten de twee delen bij samendrukken weer aan elkaar.

Na afloop is het elastiekje weer net zo sterk en elastisch.

Het materiaal bestaat uit allerlei verschillende moleculen, die elk zijn opgebouwd uit een aantal dezelfde basiseenheden. In onderstaande figuur is de microstructuur van dit materiaal schematisch weergegeven.



De stippenlijnen geven waterstofbruggen weer tussen de verschillende moleculen. Door de vele waterstofbruggen vormen de moleculen een stevige netwerkstructuur, waardoor het materiaal elastische eigenschappen krijgt.

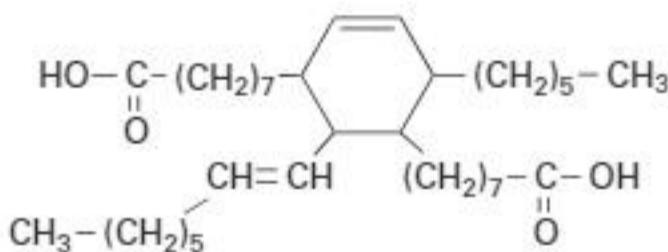
De vorming van het materiaal kan in drie stappen worden weergegeven.

Stap 1: door een additiereactie van twee moleculen van een meervoudig onverzadigd vetzuur wordt een dizuur gevormd.

Het mechanisme van deze additiereactie is hiernaast vereenvoudigd weergegeven.

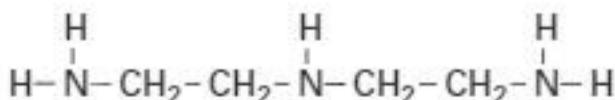


De structuurformule van het dizuur dat volgens deze additiereactie is gevormd, is hieronder weergegeven.



- 32** Geef de structuurformule van het vetzuur dat als grondstof voor het dizuur is gebruikt. Je hoeft bij de beantwoording geen rekening te houden met eventuele stereo-isomerie.

Stap 2: men laat het dizuur reageren met diëthyleentriamine (DET) om aan het gevormde dizuur waterstofbrugvormende groepen aan te brengen.  
De structuurformule van DET is hieronder weergegeven.

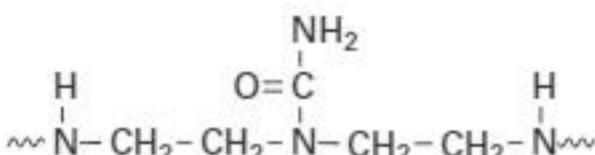


Afhankelijk van de gekozen molverhouding tussen het dizuur en DET worden verschillende producten gevormd.

- 33 Geef de vergelijking van de reactie wanneer twee moleculen DET reageren met één molecuul van het dizuur.  
Gebruik structuurformules en geef het dizuur schematisch weer zoals hiernaast.



Stap 3: om nog meer waterstofbrugvormende groepen aan te brengen laat men de in stap 2 gevormde producten reageren met ureum.  
Atoomgroepen van de eenheden DET vormen atoombindingen met ureummoleculen, waarbij onder andere atoomgroepen worden gevormd zoals hieronder is weergegeven.



In deze reactie wordt nog een andere stof gevormd.

- 34 Geef de naam van de andere stof die wordt gevormd als ureum met een eenheid DET reageert. Gebruik Binas-tabel 67J.

Als een stukje van dit materiaal wordt doorgesneden, worden de waterstofbruggen tussen de moleculen aan weerszijden van de snede verbroken. Door de beide zijden tegen elkaar te drukken, komen de waterstofbrugvormende groepen weer met elkaar in contact en worden weer waterstofbruggen gevormd. De mate waarin het materiaal eenvoudig hersteld kan worden, hangt onder andere sterk af van de temperatuur.

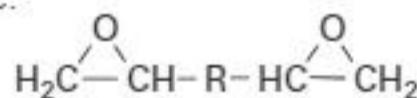
Bij 23 °C kan nog volledig herstel worden verkregen tot een week na de breuk, bij 40 °C tot 48 uur en bij 90 °C tot 15 minuten.

- 35 Geef een verklaring op microniveau waarom de tijd waarin het rubber nog hersteld kan worden, afneemt bij hogere temperatuur.

## Carbon

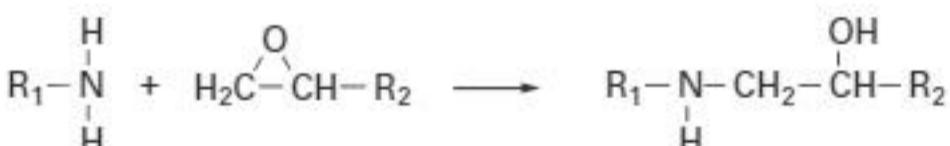
Carbon is een composiet samengesteld uit een netwerkpolymeer en koolstofvezels. Het netwerkpolymeer in carbon is een epoxyhars. De epoxyhars wordt gevormd uit twee monomeren: een amine en een zogeheten di-epoxide.

Moleculen van het di-epoxide bevatten aan beide uiteinden een epoxidegroep.



Wanneer het di-epoxide wordt gemengd met de amine treedt de hieronder weergegeven reactie op.

Met R<sub>1</sub> en R<sub>2</sub> worden de overige delen van de moleculen aangeduid.



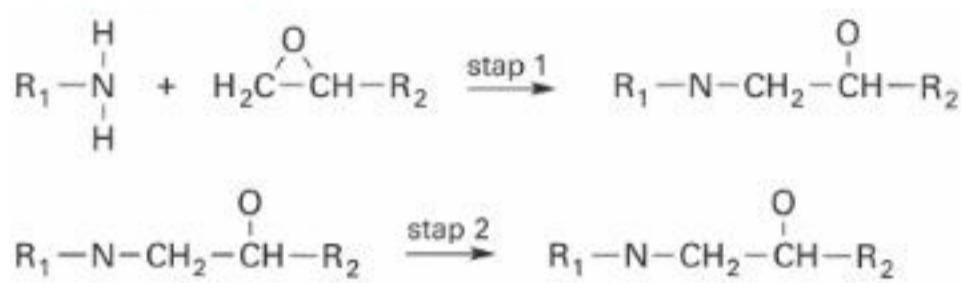
In de bijlage hieronder is de reactie onvolledig weergegeven in twee stappen.

De amine treedt in stap 1 op als een nucleofiel deeltje.

In stap 2 verplaatst zich een H-atoom.

- 36** Maak de stappen in de bijlage af door ontbrekende elektronenparen en atomen aan te vullen. Gebruik lewisstructuren. Geef met pijlen aan hoe elektronenparen zich verplaatsen. Geef formele ladingen aan.

### bijlage bij vraag 36



Een epoxidegroep is op te vatten als een cyclische ethergroep.

Van alle ethers blijken de stoffen met een epoxidegroep in de moleculen veel reactiever te zijn dan de lineaire ethers. De reden hiervoor is dat de bindingshoeken in de ring van een epoxidegroep afwijken van wat de VSEPR-theorie voorspelt.

Hierdoor is de activeringsenergie voor het verbreken van de C–O binding in een epoxidegroep veel lager dan bij een lineaire ether.

- 37** Leg uit dat de bindingshoeken in de ring van een epoxidegroep afwijken van wat de VSEPR-theorie voorspelt.

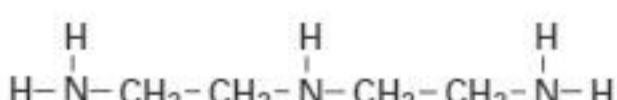
Men streeft ernaar dat in het materiaal geen reactieve groepen meer over zijn.

Daarom moeten de ~NH groepen en de epoxidegroepen in een molverhouding 1:1 gemengd worden.

Voor de gebruiker vermelden fabrikanten daarom twee waarden op de verpakking: de EEM en de AHEM. Deze waarden zijn als volgt gedefinieerd:

- EEM: het aantal gram van het di-epoxide per mol epoxidegroepen;
- AHEM: het aantal gram van de amine per mol aan stikstof gebonden waterstofatomen.

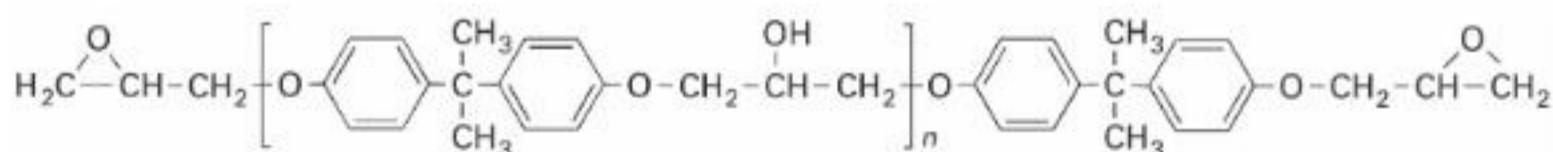
Hieronder is de structuur van veelgebruikt diëthyleentriamine (DET) weergegeven.



- 38** Bereken de AHEM voor DET. Geef je antwoord in twee significante cijfers.

Omdat de aminemoleculen meerdere reactieve plaatsen hebben, vormen deze crosslinks tussen de moleculen van het di-epoxide.

De structuur van het meest gebruikte di-epoxide voor carbon is hieronder weergegeven. De waarde van  $n$  in dit monomeer kan liggen tussen 0 tot 25.



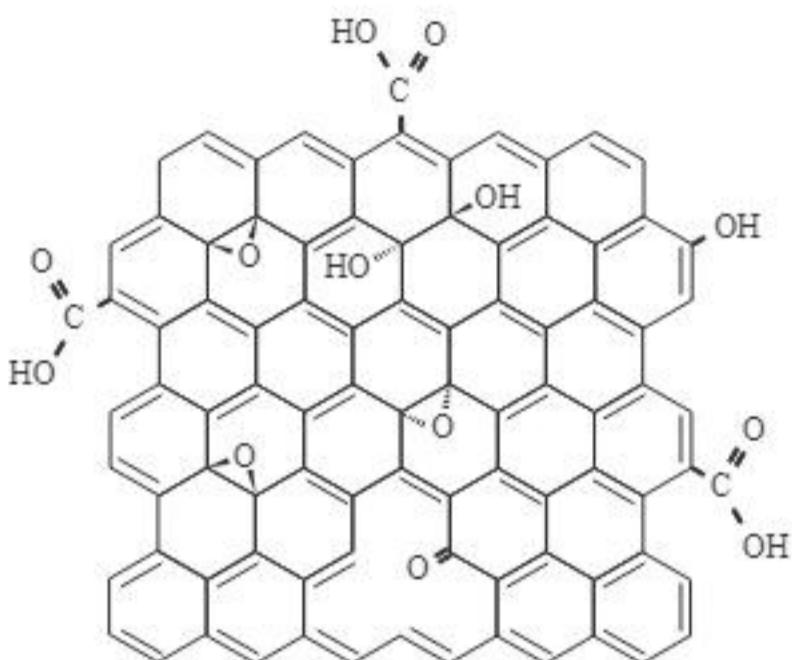
De waarde van  $n$  heeft onder meer invloed op de vervormbaarheid van de gevormde epoxyhars.

- 39** Leg uit dat een grotere waarde van  $n$  zal leiden tot een grotere vervormbaarheid van de epoxyhars.

Om een voorwerp van carbon te produceren worden de twee monomeren samen met de koolstofvezels in een mal geperst.

Voor de sterkte van het gevormde carbon is van belang dat de koolstofvezels goed hechten aan de epoxyhars. Op microniveau bestaan de vezels uit meerdere koolstoflaagjes van elk één atoom dik, vergelijkbaar met grafiët (zie Binas-tabel 67E). Dankzij de platte vorm liggen de lagen dicht op elkaar.

Om de hechting met het netwerkpolymeer te verbeteren worden de koolstofvezels voorbehandeld met een oxidator. In onderstaande figuur is weergegeven hoe een laagje er dan uit kan zien.



- 40 Leg uit op microniveau waarom deze voorbehandeling van de koolstofvezels leidt tot een betere hechting tussen de koolstofvezels en de hiervoor beschreven epoxyhars.

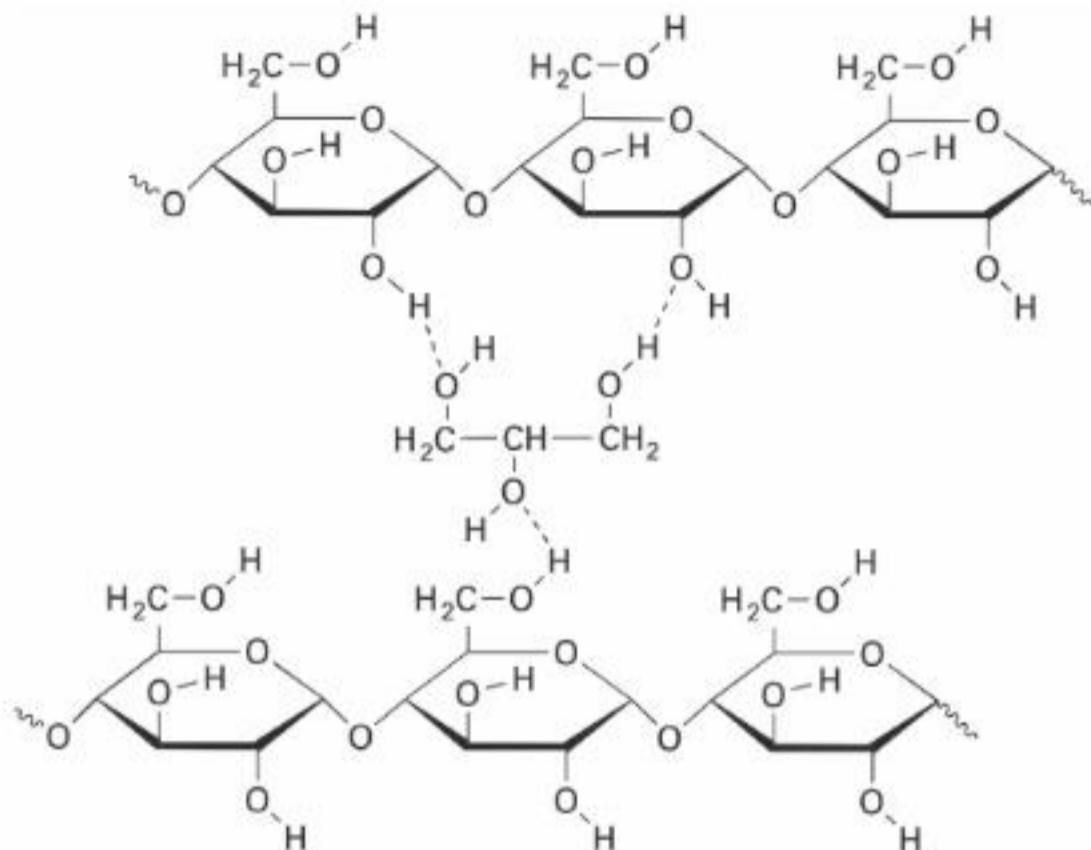
## Hints bij hoofdstuk 5

- 1 Waterstofbruggen ontstaan meestal door wisselwerking van OH-groepen.
- 2 De molecuulketens kunnen makkelijker bewegen. Waardoor?
- 4 Er moet een H<sup>+</sup> worden verwijderd.
- 5 De dubbele C=C binding in butylketeen is niet symmetrisch omringd.
- 6 De tweede stap is een estervorming.
- 7 Alleen de CH<sub>2</sub>-groepen in citroenzuur bevatten C-H bindingen.
- 8 Pas de VSEPR-theorie toe.
- 9 De C-atomen van de dubbele binding krijgen de laagste plaatsnummers.
- 10 Zowel het aantal atomen (per soort) als de lading moet kloppend zijn.
- 11 Elektronenparen kunnen verschuiven.
- 12/13 Er zijn twee soorten reacties mogelijk met aldehyden. Welke is dat hier?
- 14 Gebruik de octetregel. Hoeveel elektronen zijn aan elk atoom toe te schrijven?
- 15 Er vindt waterafsplitsing plaats.
- 16 Wat moet een weekmaker doen met de polymeermoleculen?
- 17 Bij een veresterung splitst water af.
- 18 Kijk naar verschillen tussen beginstof en product.
- 19 Welke covalentie heeft koolstof in verbindingen?
- 20 Waar komt de dubbele binding in elke butadien-eenheid?
- 21 ABS ontstaat door (poly)additiereacties, dus alleen de C=C bindingen reageren.
- 22 Ook waterstof komt in de reactievergelijking voor.
- 23 Er zijn drie isomeren.
- 24 Het gaat om een cyclische koolwaterstof met twee dubbele bindingen.
- 25 Teken norborneen met de dubbele binding aan de bovenkant en pas figuur 2 toe.
- 26 Bereken eerst de molecuulmassa van een monomeereenheid van polynorborneen.
- 27 Elk atoom in hexaan-1,6-di-isocyanaat heeft een edelgasconfiguratie.
- 28 Welke bindingen worden verbroken bij deze reactie?
- 29 Stof A is een ester.
- 30 Teken de tweede Upy-groep er 180° gedraaid bij.
- 31 Welke binding is er, naast waterstofbruggen, nog meer tussen de moleculen?
- 32 Twee moleculen van het vetzuur reageren zoals in de gegeven stap 1.
- 33 Dit is een condensatiereactie.
- 35 Wat weet je van het effect van de temperatuur op microniveau?
- 36 Het vrije elektronenpaar van de nucleofiele amine start de reactie (stap 1).
- 37 VSEPR = Valentie-Schil-Elektronen-Paar-Repulsie. Repulsie is afstotning.
- 38 Ga uit van 1 mol van DET.
- 39 Bij de vorming van epoxyhars uit het gegeven di-epoxide vormen alleen de epoxidegroepen crosslinks.
- 40 Het gaat over de soorten bindingen die mogelijk zijn tussen de koolstoflaagjes.

## **Uitwerkingen bij hoofdstuk 5**

#### **Thermoplastisch zetmeel**

- 1 De waterstofbruggen kunnen als volgt zijn weergegeven:**



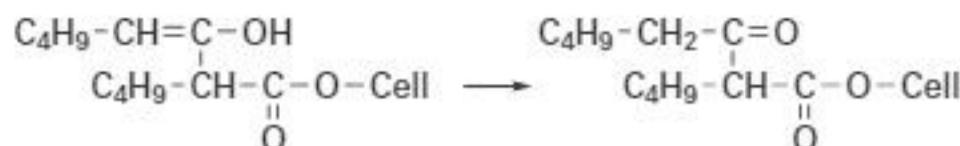
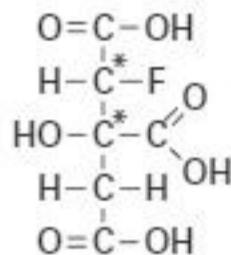
- 2** Zonder de weekmaker zijn de zetmeelmoleculen van TPS met veel waterstofbruggen met elkaar verbonden, waardoor een stijve structuur ontstaat. Doordat de veel kleinere glycerolmoleculen zich tussen de ketens dringen, wordt de interactie tussen de ketens onderling verzwakt (*of:* komen de ketens verder van elkaar) en zullen de ketens elkaar bij verwarming makkelijker loslaten.  
Dat betekent (op macroniveau) dat de stof beter te vervormen is.

## **Waterproof papier**

- 3**

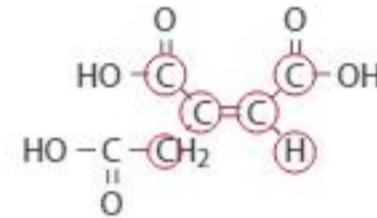
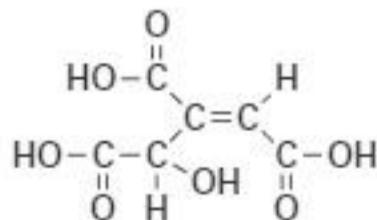
- #### 4. sodiumhydroxide

- 5  $\text{C}_4\text{H}_9-\text{CH}=\text{C}-\text{O}$   
           |      |  
           \text{O}=\text{C}-\text{CH}-\text{C}\_4\text{H}\_9

**6 2<sup>e</sup> stap (estervorming):****3<sup>e</sup> stap (isomerisatie):****Bestrijdingsmiddel 1080****7 De onderstaande structuurformule kan ook anders getekend worden.****8 Alleen de atomen van de dubbele binding en de atomen die daar rechtstreeks aan vast zitten liggen in een vlak:**

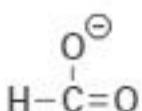
Omdat er draaiing mogelijk is om de enkelvoudige bindingen die aan de dubbelgebonden C-atomen vastzitten, bewegen de groepen die daar twee plaatsen van verwijderd zijn door de ruimte.

*De twee (drievoudig omringde) C-atomen van de bovenste COOH-groepen maken ieder ook deel uit van een ander plat vlak (door C en tweemaal O). Deze vlakken draaien ten opzichte van het centrale vlak rond de dubbele binding.*

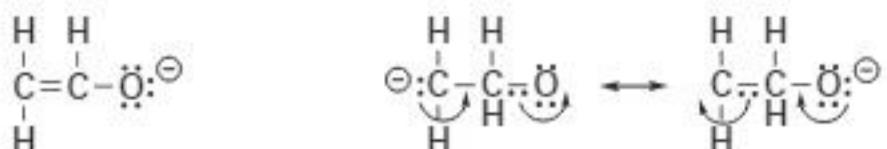
**9 De dubbele binding heeft een zo laag mogelijke plaatsaanduiding, dus ligt tussen C(2) en C(3), en hoeft niet vermeld te worden.**

**Kneedbom**

- 10** Het moet een negatief geladen deeltje zijn:

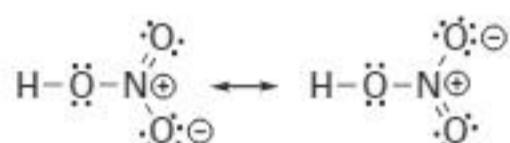


- 11** De octetregel blijft ook gelden voor de andere mesomere grensstructuur:



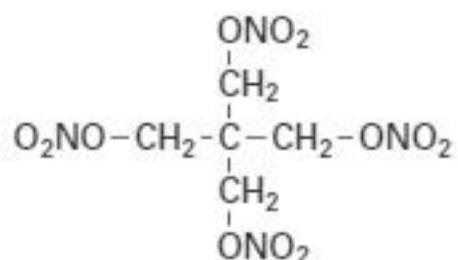
De grensstructuren gaan in elkaar over door het schuiven van elektronenparen (zie boven).

- 12** Verbinding 1 (zie opgave) is een aldehyde met twee H-atomen aan het C(2)-atoom. Net als in ethanal kunnen die vervangen worden door een CH<sub>2</sub>-OH groep. Voor het maken van verbindung 2 uit ethanal worden de stappen 1 t/m 3 dus drie keer doorlopen. Omdat methanal in grote overmaat aanwezig is, reageren de verbindingen niet of nauwelijks met ethanal.
- 13** Verbinding 2 (zie opgave) heeft geen H-atomen aan C(2). Deze stof reageert daarom op dezelfde manier als het eerste voorbeeld in de opgave, waarbij uit de aldehydengroep een alcoholgroep (hydroxylgroep) ontstaat (wat leidt tot verbinding 3).
- 14** Mogelijke weergave van de twee mesomere grensstructuren:



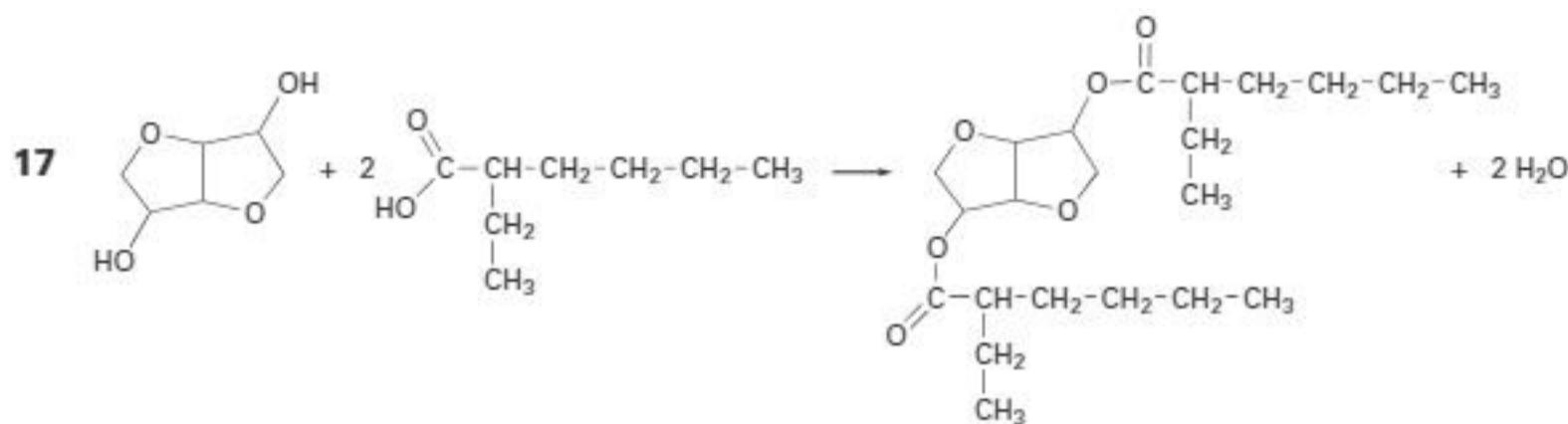
Voor het bepalen van de formele lading krijgen beide atomen van elke binding (gedeeld elektronenpaar) slechts de helft daarvan toegewezen: Om de enkelgebonden O-atomen zitten dan 6 vrije elektronenparen en een elektron van de binding. Dat is een elektron meer dan in een neutraal O-atoom. Om het N-atoom zitten 4 elektronen (helft van 4 bindingen). Dat is een elektron minder dan in een neutraal N-atoom.

- 15** Teken de ester bij voorkeur op dezelfde wijze als verbindung 3 is weergegeven:



Weekmaker

- 16** De polymeerketens in een thermoplast zijn verbonden door vanderwaalskrachten die door de (kleinere) moleculen van een weekmaker kunnen worden verzwakt. In een thermoharder houden atoombindingen (als dwarsverbindingen) de polymeerketens bijeen, zodat ze een star netwerk vormen. Weekmakers kunnen deze bindingen niet beïnvloeden. *De vanderwaalskracht is evenredig met de massa van de moleculen. De vanderwaalskracht tussen de grote polymeermoleculen is dus veel groter dan die tussen een polymeermolecuul en het kleine molecuul van een weekmaker.*

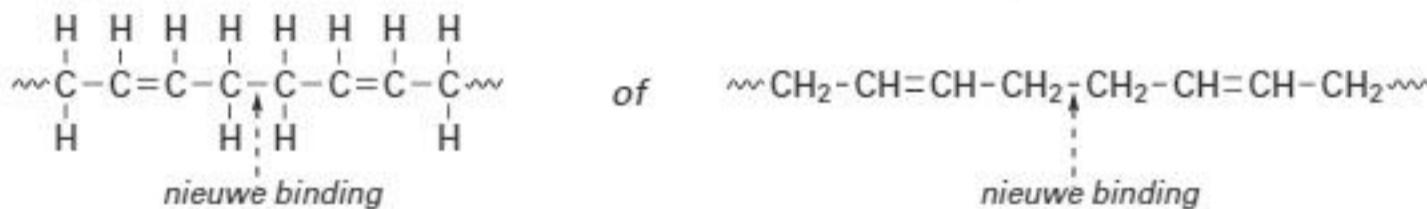


- 18** stof X is: water  
stofY is: waterstof  
*Reactie 1 is de bekende hydrolysereactie van zetmeel tot glucose.*  
*Reactie 2 is geen hydrolysereactie. Te controleren met de molecuulformules van glucose ( $C_6H_{12}O_6$ ) en sorbitol ( $C_6H_{14}O_6$ ): Er zijn alleen waterstofatomen bijgekomen.*

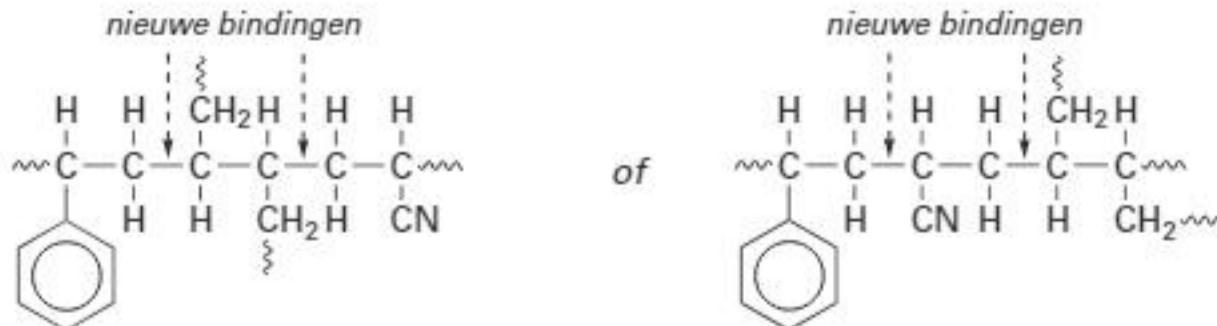
**19** In de vereenvoudigde weergave van het ringsysteem zijn niet alle bindingen getekend. Koolstof gaat vier bindingen aan met naburige atomen (covalentie 4). Omdat er geen dubbele bindingen voorkomen in het ringsysteem zullen alle koolstofatomen een tetraëdrische omringing hebben met hoeken van  $109.5^\circ$ .

## **Styrene**

- 20** Toegestaan als volledige structuurformule en als vereenvoudigde structuurformule:

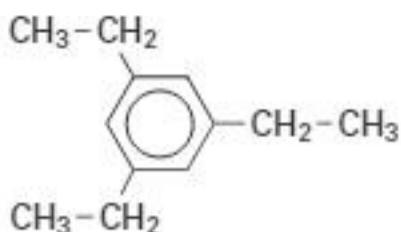
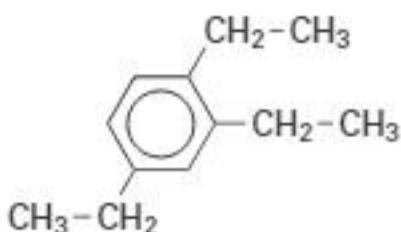
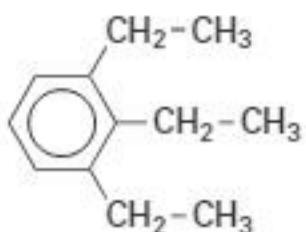


- ## **21 Twee van de mogelijke manieren van opschrijven:**

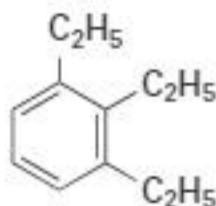




23 Er zijn drie isomeren:



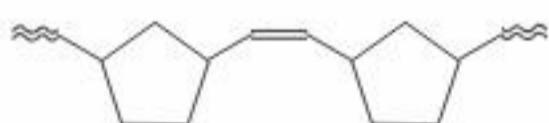
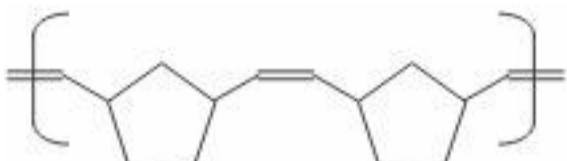
Het gaat hier om de isomeren. Daarom mag de ethylgroep ook zijn weergeven als  $C_2H_5-$ , zoals in het voorbeeld hiernaast.



### Nanomotors

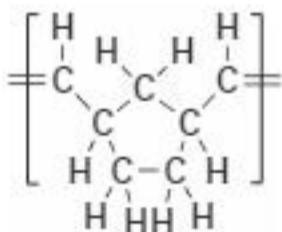


25 Drie manieren om de structuurformule te tekenen:



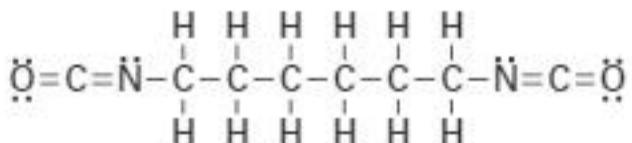
26 Een monomeereenheid van polynorborneen ( $C_7H_{10}$ ) heeft een massa van  $7 \cdot 12,01 + 10 \cdot 1,008 = 94,15 \text{ u}$  (Binas 99). De ketens bevatten gemiddeld  $3,6 \cdot 10^2$  eenheden (gegeven). De gemiddelde molecuulmassa van de ketens is dus  $3,6 \cdot 10^2 \cdot 94,15 \text{ u} = 3,4 \cdot 10^4 \text{ u}$  (2 significante cijfers).

De structuurformule van een monomeereenheid van polynorborneen zie je in de figuur hiernaast:



### Zelfherstellende verf

27 Een lewisstructuur bevat ook de vrije elektronenparen:

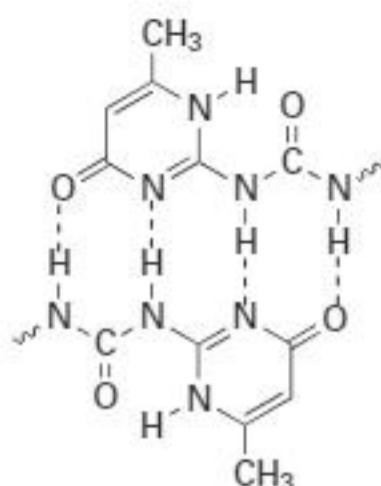


28 Bij deze reactie ontstaat één reactieproduct uit twee beginstoffen, waarbij de dubbele C=N binding in hexaan-1,6-di-isocyanaatmoleculen verdwijnt. Er is dus sprake van een additiereactie.

- 29** Aan de uiteinden van het molecuul wordt geen watermolecuul afgesplitst:

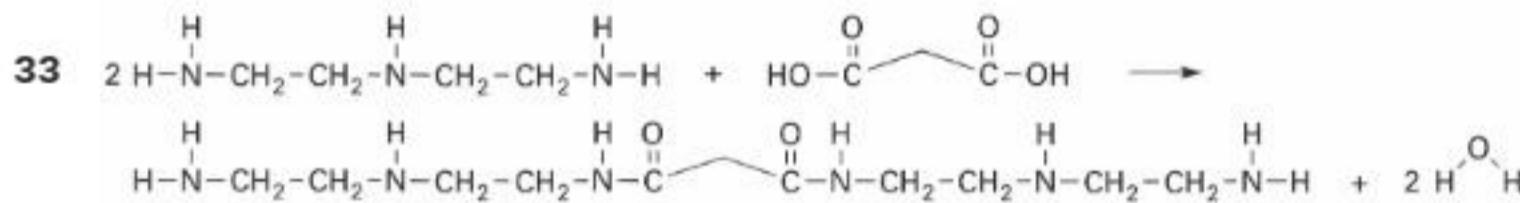
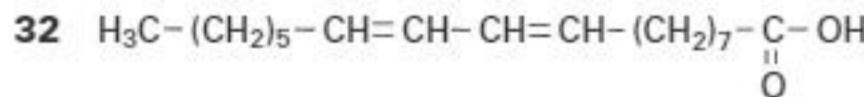


- 30** Door een tweede Upy-groep  $180^\circ$  te draaien, liggen de groepen precies tegenover elkaar:



- 31** Bij verwarmen kunnen, naast het verbreken van de H-bruggen, ook de vanderwaalsbindingen tussen de moleculen van stof B deels verbroken worden, zodat de stof vloeibaar wordt. Als het aantal repeterende eenheden laag is, zijn de vanderwaalsbindingen tussen moleculen van stof B zwak. De stof kan dan bij  $140^\circ\text{C}$  vloeibaar worden, waardoor het zelfherstellende vermogen kan optreden. Wanneer het aantal repeterende eenheden te hoog is, zijn de vanderwaalsbindingen tussen moleculen van stof B sterker. Bij verwarmen tot  $140^\circ\text{C}$  wordt de stof dan niet vloeibaar en kan het zelfherstellende vermogen niet optreden.

### Zelfherstellend rubber



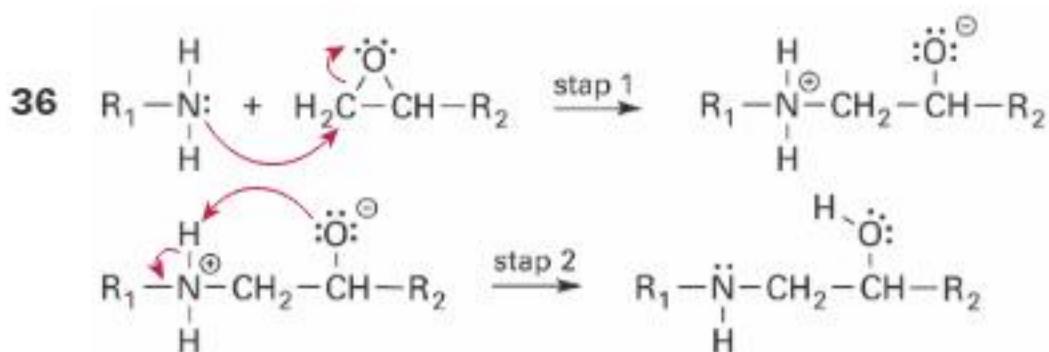
- 34** ammoniak

Het is een condensatiereactie waarbij NH<sub>3</sub> wordt afgesplitst (DET levert een H en ureum levert NH<sub>2</sub>).

- 35** Voorbeeld van een juist antwoord:

In een elastisch materiaal zijn de moleculen niet exact aan hun plaats gebonden. Door verschuiven en draaien kunnen de moleculen aan het breukvlak (extra) waterstofbruggen gaan vormen met naastliggende moleculen. Bij hogere temperaturen zijn de trillingen en rotaties heftiger, zodat een mogelijke verandering in positie sneller wordt bereikt.

Doordat de plaatsen waar eerst waterstofbruggen mogelijk waren (zoals O-H en N-H bindingen), nu bezet zijn, kan de breuk niet meer hersteld worden.

**Carbon**

*Het stikstofatoom van de amine is een beetje negatief ( $\delta-$ ) en daarom is de aminogroep een nucleofiel. Het vrije elektronenpaar (:) vormt in stap 1 een binding met het koolstofatoom ( $\delta+$ ) van het epoxide, waarbij de diering openspringt.*

*In stap 2 vindt (in een intramoleculaire zuur-basereactie) overdracht plaats van een  $\text{H}^+$ -ion van de positieve aminiumgroep naar het negatieve alcoholaation.*

- 37 Zowel de C-atomen als het O-atoom in de epoxyring hebben een omringingsgetal 4. Daarbij horen hoeken van (ongeveer)  $109^\circ$ , terwijl de bindende elektronenparen in de driehoek gedwongen worden tot hoeken van (ongeveer)  $60^\circ$ .  
*Ook bij cyclopropaan is deze ringspanning bekend. Deze komt vrij als energie als bij een reactie de ring openspringt, zoals ook hier gebeurt.*
- 38 1 mol DET ( $\text{C}_4\text{H}_{13}\text{N}_3$ ) heeft een massa van  $4 \cdot 12,01 + 13 \cdot 1,008 + 3 \cdot 14,01 = 103,17$  g (Binas 99). 1 mol DET bevat 5 mol H-atomen die aan N vastzitten.  
Volgens de definitie van AHEM (zie opgave) geldt dus:  $\text{AHEM} = \frac{103,17}{5} = 21$  g
- 39 Voorbeelden van juiste antwoorden:
- Bij een grotere waarde van  $n$  zitten de reactieve groepen verder van elkaar af. Daardoor zullen er grotere afstanden tussen de bruggen komen die het netwerk vormen. Daardoor zal het netwerk minder star zijn en dus beter vervormbaar.
  - De vervormbaarheid is afhankelijk van het aantal crosslinks tussen de ketens van het di-epoxide. Bij lange ketens (hoge waarde van  $n$ ) is de dichtheid van die crosslinks kleiner, zodat bij grote stukken van de ketens slechts de veel zwakkere vanderwaalsbinding een rol speelt. Dit vergemakkelijkt de vervormbaarheid van de epoxyhars.
- 40 Voorbeelden van juiste antwoorden:
- Door de voorbehandeling krijgen de koolstofvezels polaire groepen en groepen die waterstofbruggen kunnen vormen. Hierdoor ontstaan veel sterker bindingen tussen de geoxideerde koolstoflaagjes en de hars dan tussen de hars en (niet-geoxideerde) koolstoflaagjes met alleen vanderwaalsbindingen.
  - De epoxyringen in de koolstofvezels kunnen reageren met de aanwezige O-H bindingen in de epoxyhars, waardoor de koolstofvezels met atoombindingen aan de hars vast komen te zitten.
- Minder juist is het om bij het tweede antwoord de N-H bindingen te noemen, want in de ideale epoxyhars hebben die allemaal gereageerd.*

Vind je dit onderwerp lastig? Bekijk een uitlegfilmpje op [mijnexamenbundel.nl](http://mijnexamenbundel.nl) of oefen met extra examenopgaven.



## 6 Chemie van het leven (biochemie)

### Salatrim, een vetvervanger

Omdat het eten van te veel vet schadelijk is voor de gezondheid, is de voedingsmiddelenindustrie al geruime tijd op zoek naar zogenoemde vetvervangers. Dit zijn stoffen die in de mond aanvoelen als plantaardige of dierlijke vetten, maar bij vertering in het lichaam minder energie leveren. Salatrim is zo'n vetvervanger en wordt verwerkt in koekjes en chocolade.

Salatrim bestaat uit een mengsel van triglyceriden. In de moleculen van deze triglyceriden is glycerol op minstens één positie veresterd met een verzadigd vetzuur met een lange koolstofketen en op minstens één positie met een (vet)zuur met een korte koolstofketen.

Hieronder is zo'n triglyceride schematisch weergegeven:

— propaanzuur  
— stearinezuur  
— stearinezuur

triglyceride A

- 1 Geef de structuurformule van dit triglyceride.
  - Maak hierbij gebruik van Binas-tabel 67B.
  - De koolwaterstofrest van stearinezuur mag worden weergegeven met  $C_{17}H_{35}$ .

Triglyceride A kan worden gevormd uit glyceryltristearaat (een triglyceride dat uitsluitend vetzuren met een lange koolstofketen bevat) en glyceryltripropanoaat (een triglyceride dat uitsluitend (vet)zuren met een korte koolstofketen bevat).

Deze twee soorten triglyceriden worden toegevoegd aan een oplossing van het enzym lipase. Er treedt dan een zogenoemde om-estering op:

De triglyceriden worden gehydrolyseerd tot glycerol en (vet)zuren en daaruit worden vervolgens nieuwe triglyceriden gevormd.

Na afloop is een mengsel ontstaan van triglyceriden waarbij de verschillende soorten (vet)zuren random zijn verdeeld over de verschillende triglyceriden. In dit mengsel komen onder andere glyceryltristearaat, glyceryltripropanoaat en triglyceride A voor.

- 2 Geef op eenzelfde wijze als voor triglyceride A is gedaan, de schematische aanduiding van drie andere triglyceriden die in dit mengsel voorkomen. Laat hierbij spiegelbeeldisomerie buiten beschouwing.

Het mengsel van triglyceriden dat na de om-estering uit het reactiemengsel wordt afgescheiden, is een homogeen mengsel en heeft nog een vrij groot smeltraject. Dat wil zeggen dat het verschil tussen de temperatuur waarbij het mengsel begint te smelten en de temperatuur waarbij het gehele mengsel is gesmolten vrij groot is. Om het smeltraject te verkleinen wordt glyceryltripropanoaat door destillatie gescheiden van de rest van het mengsel. Dit resterende deel heet Salatrim en is door de verwijdering van glyceryltripropanoaat geschikt voor toepassingen in voedingsmiddelen.

- 3 Is glyceryltripropanoaat het destillaat of het residu bij de hierboven genoemde destillatie? Geef een verklaring op microniveau voor je antwoord.

## Afbraak van vetzuren

Vetten zijn triglyceriden. Vetten uit voeding worden in het lichaam afgebroken. Dit gebeurt in twee stappen. Eerst vindt de hydrolyse van vetten tot onder andere vetzuren plaats. Zo wordt glyceryltripalmitaat bij volledige hydrolyse omgezet tot onder andere palmitinezuur ( $C_{15}H_{31}COOH$ ).

- 4** Geef de reactievergelijking van de volledige hydrolyse van glyceryltripalmitaat.
- Noteer de koolwaterstofstaart van het palmitinezuur en palmitaat als  $C_{15}H_{31}$ .
  - Gebruik structuurformules voor de organische stoffen en maak gebruik van Binas-tabellen 67G1 en 67G2.

Na deze hydrolyse worden de vetzuren verder afgebroken. Vetten vormen een belangrijke energiebron voor het lichaam. Tijdens de afbraak in het lichaam komt veel energie vrij. Een gram vet levert bij afbraak beduidend meer energie dan een gram koolhydraat of eiwit. De grootste hoeveelheid energie komt hierbij vrij door de afbraak van de vetzuren.

Het mechanisme van de afbraak van vetzuren is lange tijd onduidelijk gebleven. De reden was dat de reactieproducten van tussenstappen snel worden afgebroken en daarom niet konden worden aangetoond. De wetenschapper Franz Knoop bedacht hiervoor in 1904 een oplossing.

Knoop mengde carbonzuren met het voer van honden. Dit waren carbonzuren die van tevoren dusdanig waren bewerkt dat aan het koolstofatoom dat het verst verwijderd was van de carbonzuurgroep, een benzeenring was gekoppeld. De benzeenring zorgde ervoor dat het carbonzuurmolecuul niet volledig kon worden afgebroken. Er bleef steeds een gedeelte (met een benzeenring) over.

Hij voerde de proef uit met carbonzuren waarvan de moleculen verschillende ketenlengtes hadden. Hij verzamelde de urine van de honden gedurende 24 uur en analyseerde deze.

Hij vond de volgende resultaten:

experiment nummer	aan de honden toegediend	uitgescheiden via de urine
1	$C_6H_5COOH$	$C_6H_5COOH$
2	$C_6H_5CH_2COOH$	$C_6H_5CH_2COOH$
3	$C_6H_5CH_2CH_2COOH$	$C_6H_5COOH$
4	$C_6H_5CH_2CH_2CH_2COOH$	$C_6H_5CH_2COOH$
5	$C_6H_5CH_2CH_2CH_2CH_2COOH$	$C_6H_5COOH$

Knoop stelde op basis van dit experiment de hypothese op dat de afbraak van vetzuren gefaseerd plaatsvindt: de koolstofketens van de vetzuurmoleculen worden telkens twee koolstofatomen of een veelvoud daarvan korter.

- 5** Leg uit dat de hypothese, dat de koolstofketens van de vetzuurmoleculen telkens twee koolstofatomen of een veelvoud daarvan korter worden, aansluit bij de resultaten van het bovenbeschreven experiment.

Knoop had hiermee een belangrijke stap in de ontrafeling van het afbraakmechanisme gezet. Later werd het afbraakmechanisme van vetzuren volledig opgehelderd. Daarbij bleek dat de stof co-enzym A een belangrijke rol in dit mechanisme speelt. In de structuurformule van co-enzym A is  $-S-H$  de reactieve groep. In het vervolg van de opgave wordt co-enzym A daarom als CoA-SH weergegeven.

In het reactieschema op de volgende bladzijde is het afbraakmechanisme schematisch weergegeven.

In dit schema wordt een aantal stoffen met hun afkortingen aangeduid.

Aan het begin van het afbraakmechanisme reageert een molecuul van het vetzuur met een molecuul co-enzym A tot een molecuul acyl-CoA.

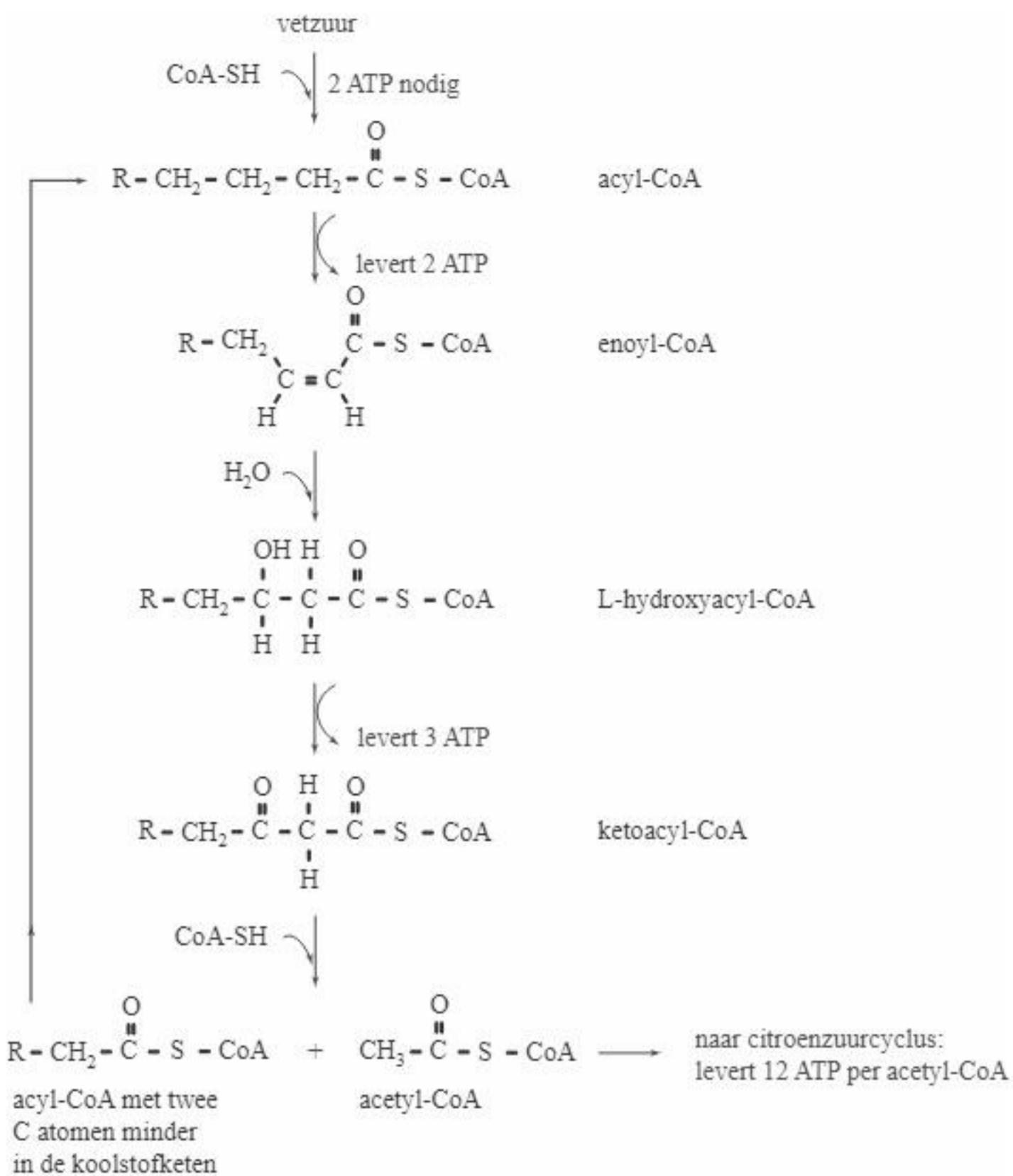
Vervolgens wordt in vier stappen de koolstofketen twee koolstofatomen korter gemaakt. Eén van de eindproducten van deze vier stappen is een nieuw molecuul acyl-CoA met een koolstofketen die twee koolstofatomen minder bevat dan de koolstofketen van het oorspronkelijke acyl-CoA. Dit nieuwe molecuul acyl-CoA ondergaat dezelfde vier stappen. Deze reeks van vier stappen wordt steeds herhaald, totdat in de laatste stap twee moleculen acetyl-CoA ontstaan.

Van de stof enoyl-CoA is een stereo-isomeer mogelijk. In het afbraakmechanisme blijkt alleen de getekende stereo-isomeer van enoyl-CoA te ontstaan.

- 6 Teken de structuurformule van de andere stereo-isomeer van enoyl-CoA. Gebruik hiervoor een vergelijkbare schematische weergave als in het reactieschema, met R en S-CoA.

De vorming van hydroxyacyl-CoA uit enoyl-CoA is een additiereactie. In principe kunnen vier additieproducten ontstaan. In dit afbraakmechanisme ontstaat er maar één.

- 7 Leg uit dat in principe vier producten in deze additiereactie mogelijk zijn.  
8 Geef een verklaring voor het feit dat in dit afbraakmechanisme bij de vorming van hydroxyacyl-CoA uit enoyl-CoA slechts één additieproduct ontstaat.



De omzetting van L-hydroxyacyl-CoA tot ketoacyl-CoA is een redoxreactie.

- 9 Leg aan de hand van de gegeven structuurformules van L-hydroxyacyl-CoA en ketoacyl-CoA uit of bij deze omzetting L-hydroxyacyl-CoA als oxidator of als reductor reageert.

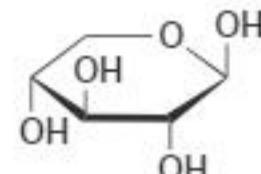
## Bio-ethanol uit stro

Eerste-generatie bio-ethanol werd geproduceerd uit suiker, afkomstig van eetbare gewassen. Tweede-generatie bio-ethanol wordt geproduceerd uit oneetbare, houtachtige gewassen zoals stro. De voornaamste bestanddelen van stro zijn cellulose, hemicellulose en lignine.

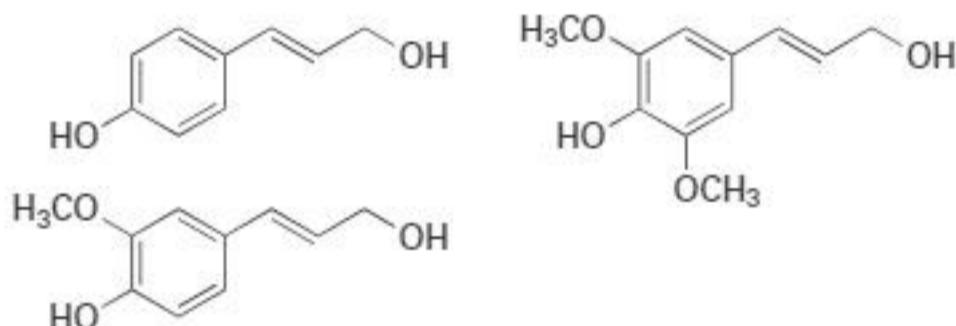
Cellulose en hemicellulose zijn ketenpolymeren, opgebouwd uit monosachariden. Bij cellulose is dit uitsluitend het monosacharide glucose, een zogenoemd C6-sacharide, omdat er zes koolstofatomen in een glucosemolecuul zitten. Hemicellulose is daarentegen opgebouwd uit zowel C5- als C6-monosachariden.

De monosachariden zijn op eenzelfde manier aan elkaar gekoppeld als bij cellulose. Het belangrijkste monosacharide in hemicellulose is xylose.

De schematische structuurformule van xylose is hiernaast afgebeeld.



- 10** Teken de structuurformule van een fragment uit het midden van een (onvertakte) hemicellulose-keten. Het fragment moet uit twee xylose-eenheden zijn opgebouwd. Gebruik een vergelijkbare notatie zoals hierboven voor de structuurformule van xylose is gebruikt.  
Lignine is een netwerkpolymeer. Het wordt in planten gevormd door een polymerisatie van verschillende monolignolen. De drie meest voorkomende monolignolen zijn hieronder weergegeven.



De biosynthese van monolignolen gaat uit van twee aminozuren.

- 11** Geef de namen van deze twee aminozuren die door planten gebruikt kunnen worden om monolignolen te produceren.

In een proeffabriek voor de tweede-generatie bio-ethanol wordt cellulose afkomstig van stro met behulp van enzymen afgebroken tot monosachariden. Hemicellulose wordt afgebroken tot sachariden met kortere ketens en lignine wordt in dit proces niet afgebroken.

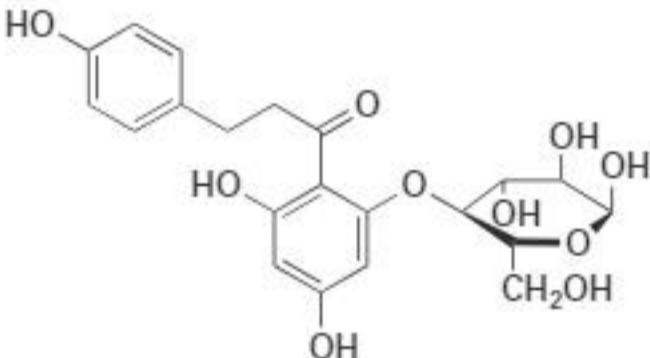
- 12** Geef een mogelijke verklaring voor het feit dat de enzymen die cellulose en hemicellulose afbreken, lignine niet kunnen afbreken.

## Lactase

Lactose is het belangrijkste koolhydraat in melk. Het is een disacharide, waarvan de schematische structuurformule is te vinden in Binas-tabel 67F. De eerste stap in de omzetting van lactose in de spijsvertering is hydrolyse. Deze hydrolyse wordt gekatalyseerd door het enzym lactase. In het actieve centrum voor deze hydrolyse speelt een glutaminezuureenheid op positie 405 in het enzym een belangrijke rol. Deze eenheid wordt op positie 404 geflankeerd door een threonine-eenheid en op positie 406 door een asparagine-eenheid. De aminozuureenheid op positie 1 is het amino-uiteinde van het eiwitmolecuul.

- 13 Geef het hierboven beschreven fragment uit het enzym lactase in structuurformule weer.

Het is gebleken dat lactase behalve de hydrolyse van lactose, ook de hydrolyse van phlorizine katalyseert. Phlorizine komt onder andere voor in appels. De structuurformule van phlorizine kan als volgt worden weergegeven:



De hydrolyse van phlorizine verloopt op vergelijkbare wijze als de hydrolyse van een disacharide als lactose.

- 14 Geef de reactievergelijking voor de hydrolyse van phlorizine. Gebruik in je reactievergelijking dezelfde soort schematische structuurformules als in bovenstaande structuurformule.

Enzymen hebben een specifieke werking. Het feit dat lactase twee verschillende stoffen kan omzetten, lijkt hiermee in tegenspraak.

- 15 Geef een mogelijke verklaring voor het feit dat lactase deze twee verschillende stoffen kan omzetten.

## Ontdekking van PKU

In 1934 bezocht de moeder van twee kinderen met een verstandelijke beperking de Noorse arts Asbjørn Følling. De moeder vond dat de urine van haar kinderen een afwijkende geur had en ze vermoedde dat die geur iets met de beperking van de kinderen te maken had. Vanwege de geur, die mogelijk op suikerziekte wees, voegde Følling aan de urine een paar druppels toe van een oplossing van ijzer(III)chloride ( $\text{FeCl}_3$ ), een standaardtest voor suikerziekte. Indien iemand aan suikerziekte lijdt, kleurt de urine paars-rood. Følling nam echter een groene kleur waar, die na enkele minuten verdween.

Følling isoleerde uit de urine een witte vaste stof (stof X). Hij toonde vervolgens aan dat stof X de groenkleuring van de urine veroorzaakte en dat stof X niet aanwezig was in de urine van gezonde mensen.

Om de structuurformule van stof X te achterhalen, deed Følling nog enige andere experimenten.

Følling trok hieruit de conclusie dat stof X was ontstaan uit het aminozuur fenylalanine.

Bij gezonde mensen wordt fenylalanine in het lichaam grotendeels omgezet tot een ander aminozuur doordat in een molecuul fenylalanine een OH-groep wordt aangebracht (hydroxyleren).

- 16 Geef de naam van het aminozuur dat ontstaat wanneer bij gezonde mensen fenylalanine door hydroxylering wordt omgezet.

Bij de kinderen vond de hydroxylering van fenylalanine kennelijk niet plaats. Følling vermoedde dat dit kwam door een genetische afwijking (mutatie) waardoor een voor de omzetting noodzakelijk enzym niet werkte. Het fenylalanine werd bij de kinderen kennelijk omgezet tot stof X. Omdat deze omzetting langzaam verloopt, hoopt fenylalanine zich op in het lichaam. Een gevolg daarvan is dat de hersenen en het zenuwstelsel worden aangetast. Deze genetische afwijking wordt reeds vele jaren phenylketonurie (PKU) genoemd.

Følling deed tot slot een onderzoek om na te gaan of gezonde mensen fenylalanine omzetten zonder dat daarbij stof X ontstaat. Hij kocht synthetisch gemaakte fenylalanine en nam een kleine hoeveelheid in.

Toen hij daarna een test met ijzer(III)chloride uitvoerde, kleurde zijn urine tegen zijn verwachting in groen. Ook bij geteste medewerkers kleurde de urine groen na het toevoegen van enkele druppels ijzer(III)chloride-oplossing. De verklaring voor deze waarneming kwam enige tijd later. Er zijn twee vormen van fenylalanine.

- 17 Leg aan de hand van de structuurformule van fenylalanine uit dat er twee vormen van deze stof bestaan.
- 18 Geef een mogelijke verklaring voor de groenkleuring van de urine van Følling en zijn medewerkers na inname van synthetisch gemaakte fenylalanine.

## Alcoholintolerantie

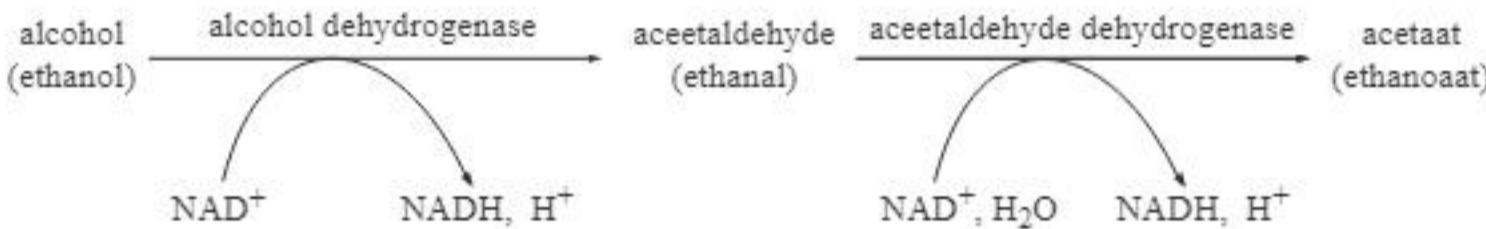
Wanneer alcohol in het menselijk lichaam wordt afgebroken, gebeurt dat in een aantal stappen.

In de eerste stap reageert alcohol met nicotineamide-adenine-dinucleotide (meestal weergegeven met NAD<sup>+</sup>) onder invloed van het enzym alcohol-dehydrogenase.

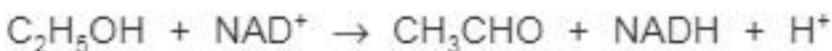
Het reactieproduct is ethanal. De niet-systematische naam van ethanal is aceetaldehyde.

Vervolgens reageert de aceetaldehyde door met NAD<sup>+</sup> onder invloed van het enzym aceataldehyde-dehydrogenase.

Deze eerste twee stappen van het afbraakproces van alcohol worden vaak schematisch als volgt weergegeven:



Met behulp van dit schema kunnen van bovenstaande omzettingen de reactievergelijkingen worden afgeleid. Zo kan de omzetting van ethanol tot ethanal als volgt in een reactievergelijking worden weergegeven:



- 19** Leg uit of bij deze omzetting NAD<sup>+</sup> als oxidator of als reducteur reageert.

- 20** Geef de reactievergelijking van de omzetting van ethanal tot ethanoaat.

Gebruik hierbij:

- gegevens uit bovenstaande schematische weergave;
- structuurformules voor ethanal en ethanoaat;
- de afkortingen NAD<sup>+</sup> en NADH.

Bij de vorming van het enzym aceataldehyde-dehydrogenase ontstaat eerst een polypeptide dat bestaat uit 517 aminozuureenheden. De eerste 17 aminozuurseenheden hiervan vormen een zogenoemd signaalpeptide. Dit stukje eiwit zorgt ervoor dat het enzym de goede ruimtelijke structuur krijgt en wordt uiteindelijk afgesplitst ('gesliced'). Het enzym aceataldehyde-dehydrogenase bestaat dus uit 500 aminozuureenheden.

Een deel van de aminozuurvolgorde van aceataldehyde-dehydrogenase is hieronder weergegeven:

aminozuur nummer	486	487	488
afkorting aminozuur	~~	Thr - Glu - Val	~~

- 21** Geef het hierboven weergegeven fragment uit het enzym aceataldehyde-dehydrogenase in structuurformule weer.

Bij veel mensen wordt na alcoholconsumptie de alcohol wel omgezet tot ethanal, maar wordt de ethanal niet verder omgezet tot ethanoaat. Hierdoor hoopt de in het lichaam gevormde ethanal zich op. Dit veroorzaakt onder andere een misselijk, ziek gevoel. Het verschijnsel wordt alcoholintolerantie genoemd en komt onder andere in veel Aziatische landen voor.

Alcoholintolerantie wordt veroorzaakt door een zogenoemde puntmutatie: bij mensen met alcoholintolerantie is één basenpaar anders in het gen dat codeert voor de reeks van 517 aminozuren waaruit aceetaldehyde-dehydrogenase ontstaat, dan bij mensen die geen alcoholintolerantie hebben. Het eiwit dat bij mensen met alcoholintolerantie wordt gevormd, verschilt daardoor op één plaats van aceataldehyde-dehydrogenase: op plaats 487 van het eiwit komt geen Glu maar Lys. Dit eiwit kan aceataldehyde niet omzetten.

- 22** Geef de symbolen van het basenpaar van de puntmutatie, zowel voor het gen van mensen zonder alcoholintolerantie als voor het gen van mensen met alcoholintolerantie. Noteer je antwoord als volgt:

zonder alcoholintolerantie	met alcoholintolerantie
-------------------------------	----------------------------

base op coderende streng:

...

base op matrijsstreng:

...

Geef een verklaring voor je antwoord. Gebruik Binas 71 en gegevens uit deze opgave.

- 23** Leg uit wat het nummer is van het basenpaar van de puntmutatie in het gen dat codeert voor de reeks van 517 aminozuren.

## Creutzfeldt-Jakob/BSE

Tijdens de spijsvertering worden eiwitten, bijvoorbeeld uit vlees, onder invloed van enzymen gehydrolyseerd. Daarbij worden peptidebindingen verbroken. Er ontstaan eerst kleinere peptideketens die soms zijn opgebouwd uit slechts enkele aminozuren, de zogenoemde oligopeptiden.

Twee enzymen die hierbij zijn betrokken, zijn trypsine en chymotrypsine.

Trypsine zorgt ervoor dat in eiwitketens na iedere arginine-eenheid en na iedere lysine-eenheid de peptidebinding aan de kant van de C=O groep wordt verbroken. Chymotrypsine 'knijpt' op dezelfde wijze de peptidebindingen naast fenylalanine-, tyrosine- en tryptofaanenhenen.

Zoogdieren hebben in hun lichaam een kleine hoeveelheid eiwit met een speciale functie, het zogenoemde proneiwit. Deze eiwitsoort speelt een rol bij de overdracht van signalen tussen zenuwcellen.

Hieronder is van een proneiwit van koeien de volgorde van de eerste 15 aminozuren gegeven:

H<sub>2</sub>N – Met – Val – Lys – Ser – His – Ile – Gly – Ser – Trp – Ile – Leu – Val – Leu – Phe – Val ...

- 24** Geef de structuurformule van het kleinste oligopeptide dat uit het bovenstaande fragment van 15 aminozuren ontstaat onder invloed van trypsine en chymotrypsine.

De gekke-koeien-ziekte (BSE) wordt veroorzaakt doordat de secundaire en tertiaire structuur van het prioneiwit van de koeien is veranderd. Prioneiwit met deze veranderde structuur veroorzaakt een domino-effect: ook andere moleculen van het prioneiwit veranderen van structuur. Veranderd prioneiwit wordt tijdens de spijsvertering niet afgebroken.

In vlees van koeien die zijn besmet met BSE bevindt zich dus veranderd prioneiwit. Wanneer mensen dit vlees binnenkrijgen, hoopt het veranderde prioneiwit zich op in het lichaam. Hierdoor verandert het menselijke prioneiwit ook van structuur. Het veranderde prioneiwit stapelt zich op, vooral in de hersenen. Het normale hersenweefsel sterft langzaam af en er vormen zich vele, kleine holtes in de hersenen. Dit is een vorm van de ziekte van Creutzfeldt-Jakob.

- 25** Verklaar waarom het veranderde prioneiwit niet meer door enzymen kan worden gesplitst.

Er is ook een vorm van de ziekte van Creutzfeldt-Jakob die niet door BSE wordt veroorzaakt maar door een genetische afwijking. De genetische code voor de vorming van prioneiwit is opgeslagen in het DNA van het zogenoemde PRNP-gen. Onder een gen wordt hier verstaan de verzameling basenparen op het DNA die de informatie voor de volgorde van de aminozuren in een eiwit bevat.

Het DNA is opgebouwd uit twee strengen: de coderende streng en de matrijsstreng. Aan de matrijsstreng wordt het messenger-RNA (mRNA) gevormd. In het DNA van het PRNP-gen komt een zogenoemde puntmutatie voor: één basenpaar op het DNA is anders. Als gevolg van deze puntmutatie is in het mRNA ook één base anders en wordt op plaats 210 in het prioneiwit niet het aminozuur valine ingebouwd maar het aminozuur isoleucine. Hierdoor kan de fatale structuurverandering van het prioneiwit optreden.

- 26** Geef van de puntmutatie het symbool van de base die op de coderende streng en op de matrijsstreng van het DNA voorkomt en geef het symbool van de base die in het mRNA anders is. Doe dit zowel voor het normale PRNP-gen als voor het afwijkende PRNP-gen. Gebruik gegevens uit Binas 71 en gegevens uit deze opgave.

Noteer je antwoord als volgt:

	base op de coderende streng	base op de matrijsstreng	base op het mRNA
normaal	...	...	...
afwijkend	...	...	...

- 27** Leid af wat het nummer is van het basenpaar van de puntmutatie op het PRNP-gen. Neem aan dat het basenpaar met nummer 1 tot het triplet behoort dat codeert voor het aminozuur met nummer 1.

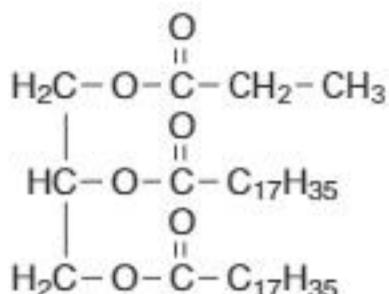
## Hints bij hoofdstuk 6

- 1 Vetten zijn tri-esters van (vet)zuren en glycerol (propaan-1,2,3-triol).
- 2 De gevraagde triglyceriden bevatten niet driemaal dezelfde zuurrest.
- 3 In het destillaat zit de stof met het laagste kookpunt.
- 4 Gebruik Binas 67G1.
- 5 Vergelijk de resultaten van de experimenten met elkaar.
- 7 Er is sprake van structuurisomerie en van spiegelbeeldisomerie.
- 9 Stel de vergelijking van de halfreactie van de omzetting van L-hydroxyacyl-CoA in ketoacyl-CoA op.
- 10 Let op de standen van de OH-groepen. Vergelijk het met andere polysachariden, zoals cellulose (Binas 67F3).
- 11 Gebruik Binas 67H1.
- 13 De threonine-eenheid komt dus links van de glutaminezuureenheid, de asparagine-eenheid rechts.
- 14 Bij de hydrolyse van phlorizine ontstaat onder andere een monosacharide.
- 15 Wat hebben beide omzettingen gemeen?
- 17 Denk aan de ruimtelijke structuur van fenylalanine.
- 18 Waarin kan een natuurlijke stof verschillen van een nagemaakte stof?
- 19 Een alcohol wordt omgezet in een aldehyde.
- 20 Ook dit is een redoxreactie met  $\text{NAD}^+$  als oxidator. Zorg voor een kloppende lading.
- 21 Gebruik Binas 67H1.
- 22 Gebruik Binas 71G. Het gaat hier om de codons van het m-RNA.  
Worden die afgelezen van de matrijsstreng of de coderende streng?
- 23 Plaats 487 van een aminozuur in aceetaldehydedehydrogenase komt overeen met plaats 504 in het polypeptide dat daaraan voorafgaat.
- 24 Waar wordt geknipt en welk oligopeptide is daardoor het kleinst?  
Gebruik verder Binas 67H1.
- 25 Wat is karakteristiek voor de werking van enzymen?
- 26 Binas 71G geeft informatie over de basen op het mRNA. Begin daarmee.
- 27 Voor codering van elk aminozuur in het prioneiwit zijn drie basen nodig.

## Uitwerkingen bij hoofdstuk 6

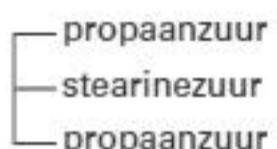
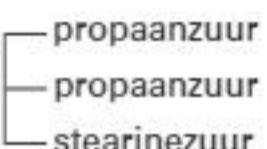
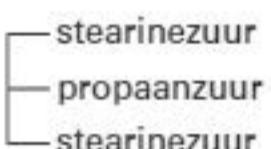
### Salatrim, een vetvervanger

- 1 Triglyceride A heeft de onderstaande structuurformule:



$-\text{CH}_2-\text{CH}_3$  mag ook geschreven worden als  $-\text{C}_2\text{H}_5$ .

- 2 De overige triglyceriden bezitten een of twee ketens afkomstig van propaanzuur:

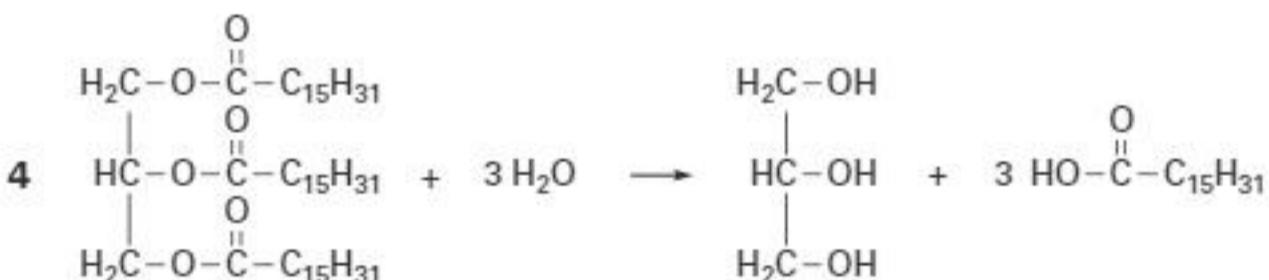


- 3 Voorbeeld van een juist antwoord:

Door de kortere ketens, afkomstig van propaanzuur, zullen de vanderwaalsbindingen (tussen de moleculen) veel kleiner zijn dan bij de veel langere ketens die van stearinezuur afkomstig zijn. Naarmate de vanderwaalsbindingen sterker zijn, is het kookpunt van de stof hoger.

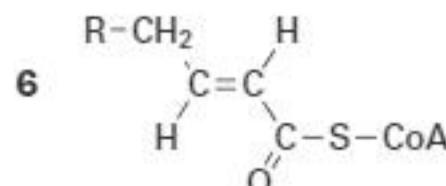
Glyceryltripropanoaat zal daardoor het laagste kookpunt hebben en is dus het destillaat.

### Afbraak van vetzuren

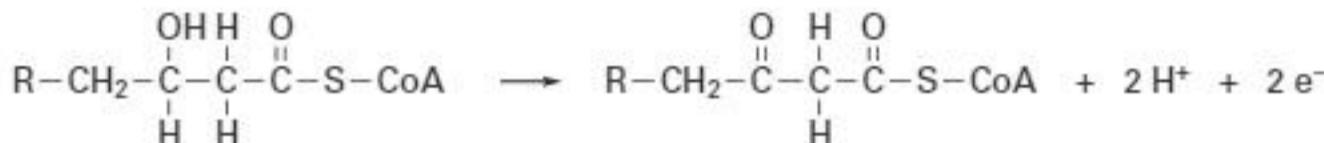


- 5 Voorbeelden van een juist antwoord:

- In de experimenten 3 en 4 worden de vetzuurmoleculen twee koolstofatomen korter en in experiment 5 vier. In de experimenten 1 en 2 wordt de koolstofketen niet korter. Er kan blijkbaar niet een afbraak van maar één koolstofatoom optreden. Dit is in overeenstemming met de hypothese van Knoop.
- De koolstofketen wordt in de experimenten 3, 4 en 5, twee of vier koolstofatomen korter, nooit drie. Ook het enkele C-atoom tussen de benzeenring en de carbonzuurgroep in experiment 2 verdwijnt niet door afbraak. Dat er alleen even aantal C-atomen verdwijnen is in overeenstemming met de hypothese van Knoop.

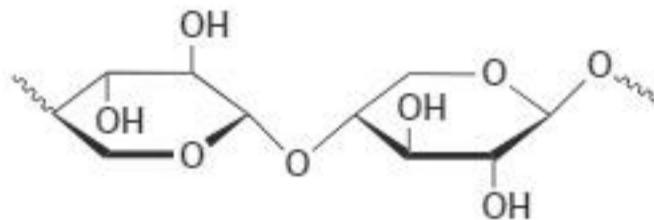


- 7 Bij de additie van water kan de OH-groep op twee verschillende C-atomen (aan weerszijden van de dubbele binding) bevestigd worden. Bij beide mogelijkheden ontstaat er een molecuul met een asymmetrisch C-atoom. Er zijn in beide gevallen dus twee spiegelbeeldisomeren. In totaal dus vier mogelijke reactieproducten.  
*Een asymmetrisch C-atoom is met vier verschillende atomen of atoomgroepen omringd.*
- 8 De reactie wordt door een enzym gekatalyseerd. Omdat enzymen een stereospecifieke werking hebben, ontstaat slechts één reactieproduct.
- 9 Bij de omzetting van L-hydroxylacyl-CoA tot ketoacyl-CoA ontstaan twee  $\text{H}^+$ -ionen. Er moeten dus ook twee elektronen vrijkomen, anders is de ladingsbalans niet kloppend. Het vrijkomen van elektronen toont aan dat L-hydroxylacyl-CoA een reductor (elektronendonator) is.  
*De reactievergelijking is de volgende:*



### Bio-ethanol uit stro

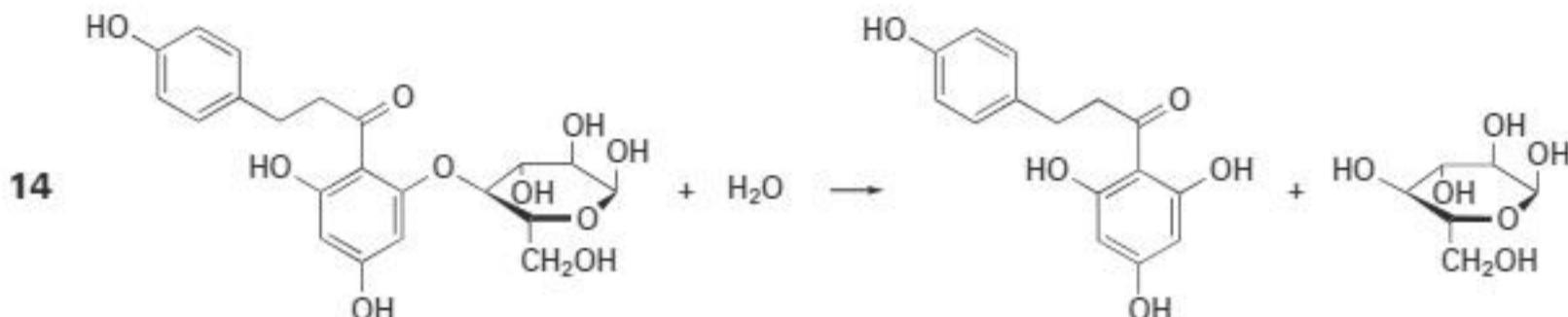
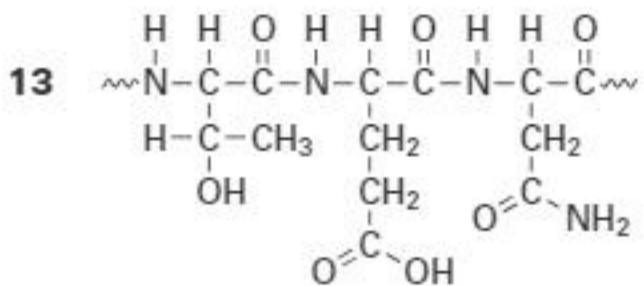
- 10 Het fragment kan bijvoorbeeld als volgt worden weergegeven:



- 11 Mogelijke beginstoffen zijn fenylalanine en tyrosine.  
*Deze twee aminozuren bevatten hetzelfde aantal C-atomen in de keten als de monolignolen en hebben daarmee de fenylgroep gemeen.*

- 12 Mogelijke antwoorden:

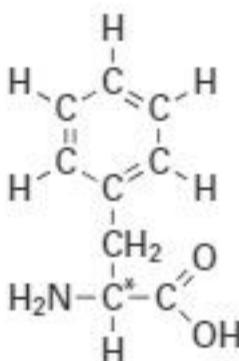
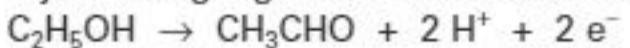
- Enzymen zijn stereospecifiek. De structuur van lignine is heel anders dan die van cellulose en hemicellulose, dus kan hetzelfde enzym lignine niet afbreken.
- Vanwege de netwerkstructuur kan het enzym de juiste plekken in lignine niet bereiken om de hydrolysereactie te katalyseren.
- Vanwege de netwerkstructuur kan het enzym niet aan lignine binden en dus de reactie niet katalyseren.

**Lactase****15 Mogelijke antwoorden:**

- In een molecuul lactose en in een molecuul phlorizine komt een groep met dezelfde ruimtelijke structuur voor (de glucose-eenheid). Dat gedeelte van beide moleculen past kennelijk in het actieve centrum van het enzym.
- Het enzym bevat twee verschillende actieve centra (en kan daardoor twee verschillende reacties katalyseren).
- Beide reacties zijn hydrolysereacties waarbij eenzelfde reactieproduct ontstaat (glucose).

**Ontdekking van PKU****16 tyrosine**

Fenylalanine met een hydroxygroep aan de ring kun je vinden in Binas 67H1.

**17** Rondom C-2 komen vier verschillende groepen voor.  
Van fenylalanine bestaan dus twee spiegelbeeldisomeren (zie structuurformule hiernaast).**18** Enzymen hebben vaak een specifieke ruimtelijke werking (sleutel-slotprincipe).  
De natuurlijke vorm van fenylalanine wordt bij gezonde mensen wel gehydroxyleerd, maar het spiegelbeeldisomeer (dat alleen in synthetische fenylalanine voorkomt) niet. Dit isomeer wordt omgezet in stof X, zodat de urine groen verkleurt bij toevoeging van ijzer(III)chloride-oplossing.**Alcoholtolerantie****19** Bij de overgang van ethanol naar ethanal komen elektronen vrij:

Ethanol is hier een reducteur.  $\text{NAD}^+$  is dus een oxidator.



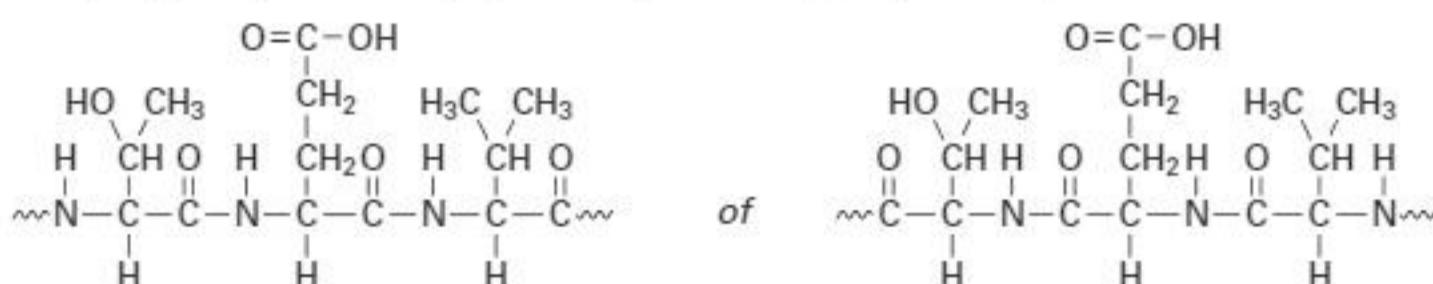
- 20** Ook dit is een oxidatie van een koolstofverbinding:



halfreactie van reducteur:  $\text{CH}_3\text{CHO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + 3\text{H}^+ + 2\text{e}^-$

halfreactie van reducteur:  $\text{GSH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{GSSG}$

- 21** Er zijn in principe twee mogelijkheden (met aminogroep links beginnen heeft de voorkeur):



- 22

	zonder alcoholintolerantie	met alcoholintolerantie
base op coderende streng:	G	A
base op matrijsstreng:	C	T

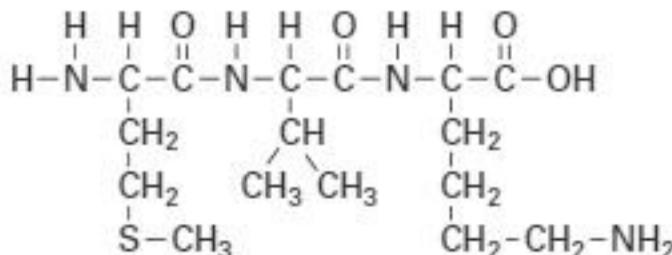
De codons voor glutaminezuur zijn GAA en GAG, die voor lysine (Lys) zijn AAA en AAG. Glu (zonder) en Lys (met) verschillen dus bij de eerste base van het betreffende codon. De basen C respectievelijk T op de matrijsstreng vormen vaste basenparen met G respectievelijk A op de coderende streng (zie Binas 71 B, C of E).

- ### **23 Mogelijke antwoorden:**

- Plaats 487 van een aminozuur in aceetaldehydedehydrogenase komt overeen met plaats 504 in het polypeptide dat daaraan voorafgaat. De voorafgaande 503 aminozuren zijn gecodeerd door  $3 \cdot 503 = 1509$  basen. De puntmutatie treedt op bij de eerste base van het codon van aminozuur 504. De puntmutatie betreft dus base  $1509 + 1 = 1510$ .
  - De puntmutatie treedt op bij de eerste base van het codon van aminozuur 487 in aceetaldehydedehydrogenase. De voorafgaande 486 aminozuren zijn gecodeerd door  $3 \cdot 486 = 1458$  basen. De puntmutatie betreft dus base 1459 van het gen dat codeert voor aceetaldehydedehydrogenase. Het gen dat codeert voor de reeks van 517 aminozuren bevat  $3 \cdot 17 = 51$  extra basen (voor het signaalpeptide), dus daarin ligt de puntmutatie bij basenummer  $1459 + 51 = 1510$ .

## **Creutzfeldt-Jacob / BSE**

- 24** Geknipt zal worden rechts van Lys (3 aminozuren, zie hieronder), rechts van Trp (6 aminozuren) en rechts van Phe (5 aminozuren).



25 Hier geldt het sleutel-slotprincipe: het eiwit kan alleen worden omgezet door het bijbehorende enzym als het precies in de holte van het actieve centrum past. Een eiwit dat (op een essentiële plek) veranderd is, voldoet niet aan deze eis en zal dan niet omgezet kunnen worden.

26 Volgens Binas 71G verschillen de codons in het mRNA voor valine en isoleucine bij de eerste base (G respectievelijk A). De basen op de twee DNA-strengen moeten complementair zijn:

	base op de coderende streng	base op de matrijsstreng	base op het mRNA
normaal	G	C	G
afwijkend	A	T	A

27 Er zijn drie basen nodig voor het coderen van een aminozuur, dus voor de eerste 209 aminozuren van het prioneiwit zijn  $3 \cdot 209 = 627$  basen nodig. Aan het begin van het codon voor aminozuur 210 zit de puntmutatie, dus op plaats 628 van het PRNP-gen.



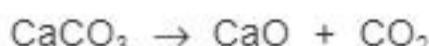
Vind je dit onderwerp lastig? Bekijk een uitlegfilmpje op [mijnexamenbundel.nl](http://mijnexamenbundel.nl) of oefen met extra examenopgaven.



## 7 Chemische industrie en milieu

### Duurzaam cement

Voor het gebruik in beton en metselspecie wordt wereldwijd jaarlijks meer dan  $3 \cdot 10^9$  ton cement geproduceerd. Portlandcement is de meest gebruikte soort cement. De productie van Portlandcement start met de calcinatie van kalksteen in een zogenoemde cementoven. Bij een temperatuur van 1100 K ontleedt kalksteen (calciumcarbonaat) volgens onderstaande reactievergelijking.



De productie van 1,0 ton cementklinker zorgt voor een uitstoot van 0,80 ton CO<sub>2</sub>. Een groot deel daarvan komt vrij als het reactieproduct van de calcinatie. Een ander deel van de CO<sub>2</sub>-uitstoot komt niet vrij als reactieproduct in de calcinatie, maar wordt veroorzaakt doordat in de cementovens de temperatuur zeer hoog is, tot maximaal 1500 K. Bij deze hoge temperatuur verloopt de vorming van de cementklinker. De calcinatie en de vorming van cementklinker zijn beide endotherm.

Om de CO<sub>2</sub>-uitstoot bij de productie van cement te beperken zoekt men naar alternatieven voor Portlandcement. Het bedrijf Novacem heeft een nieuw proces ontwikkeld, waarbij met andere grondstoffen wordt gewerkt.

In de bijlage bij vraag 3 is een vereenvoudigd en onvolledig blokschema voor de productie van het zogeheten Novacemcement na de opstartfase weergegeven. In het productieproces wordt de verpoederde grondstof serpentine ( $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) in reactor R1 gemengd met water. Onder hoge druk en bij  $T = 440$  K wordt serpentine met CO<sub>2</sub> vrijwel volledig omgezet tot magnesiumcarbonaat ( $\text{MgCO}_3$ ), siliciumdioxide ( $\text{SiO}_2$ ) en nog een andere stof. Deze reactie is exotherm en omkeerbaar.

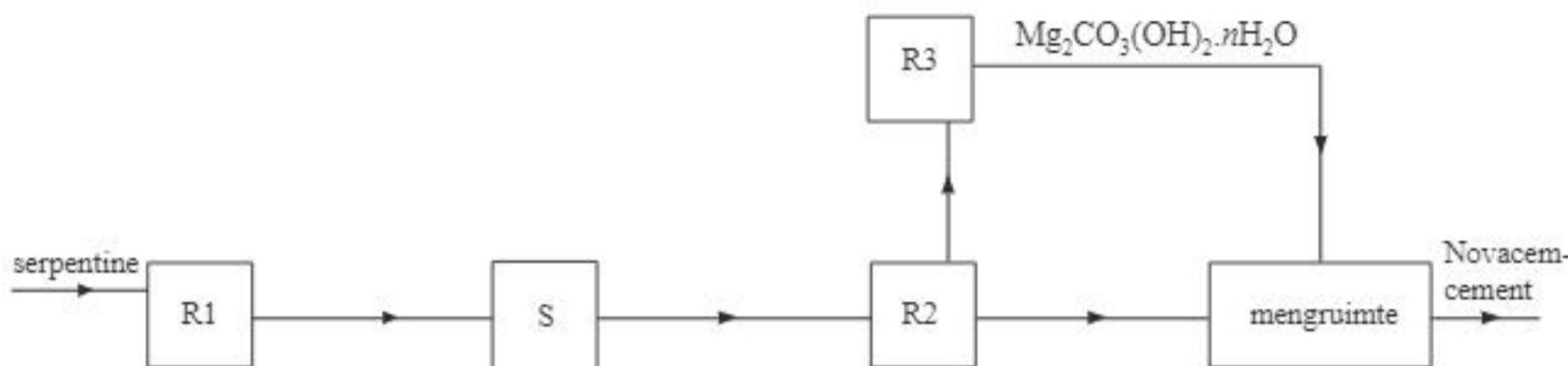
- 1 Geef de vergelijking van de reactie van CO<sub>2</sub> met serpentine.  
Neem aan dat geen van de betrokken vaste stoffen oplost in het water.  
  
De verblijftijd in R1 is zo gekozen dat zich een evenwicht kan instellen.  
In het mengsel dat R1 verlaat, bevindt zich dan nog een klein percentage serpentine.
- 2 Leg uit of zich in het mengsel dat R1 verlaat een groter of kleiner percentage serpentine bevindt als de temperatuur in R1 hoger is dan 440 K.

De uit R1 afkomstige vaste stoffen worden in ruimte S gescheiden van het water. De vaste stoffen worden naar reactor R2 geleid, waar het magnesiumcarbonaat volledig reageert tot magnesiumoxide en koolstofdioxide ( $T = 970$  K,  $p = p_0$ ). Deze reactie is endotherm.

Van de uit R2 afkomstige vaste stoffen wordt de helft direct naar een mengruimte gevoerd. De andere helft wordt naar reactor R3 geleid, waar het magnesiumoxide in een exotherme reactie bij kamertemperatuur volledig reageert met water en CO<sub>2</sub> tot zogenoemd gehydrateerd magnesiumcarbonaat ( $\text{Mg}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ). In een mengruimte worden vervolgens bij kamertemperatuur de vaste stoffen afkomstig uit R2 en R3 gemengd. Dit mengsel heet Novacemcement. Voor het gehele proces hoeft geen water van buitenaf te worden aangevoerd.

- 3 Teken in het blokschema (zie bijlage) de ontbrekende stofstromen.
  - Zet bij alle stofstromen de stof(fen) die daarbij hoort (horen).
  - Stofstromen voor serpentine hoeven niet te worden weergegeven.
  - Houd rekening met het feit dat men, waar mogelijk, stoffen recirculeert.

## bijlage bij vraag 3

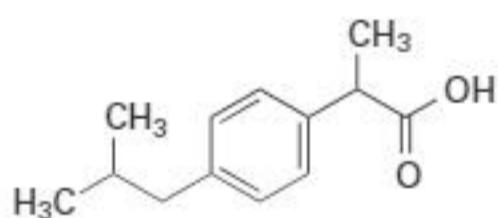


Zowel de  $CO_2$ -uitstoot als het energieverbruik zijn bij de productie van Novacem-cement lager dan bij de productie van Portlandcement.

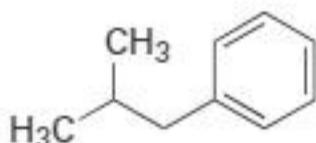
- 4 Leg uit dat zowel de  $CO_2$ -uitstoot als het energieverbruik bij de productie van Novacemcement lager is dan bij de productie van Portlandcement.
- Noem daarbij twee aspecten waarin het energieverbruik van beide processen verschilt.
  - Noem daarbij één aspect waarin de  $CO_2$ -uitstoot van beide processen verschilt.

## Twee syntheses van ibuprofen

Ibuprofen is een pijnstiller, die in grote hoeveelheden wordt gemaakt. Hieronder is de schematische structuurformule van ibuprofen weergegeven.



Er bestaan verschillende methodes om ibuprofen te synthetiseren. In de zestiger jaren van de vorige eeuw is de zogenoemde 'Brown-synthese' ontwikkeld. Deze synthese bestaat uit zes reactiestappen en heeft als belangrijkste beginstof iso-butylbenzeen, waarvan de schematische structuurformule als volgt is:



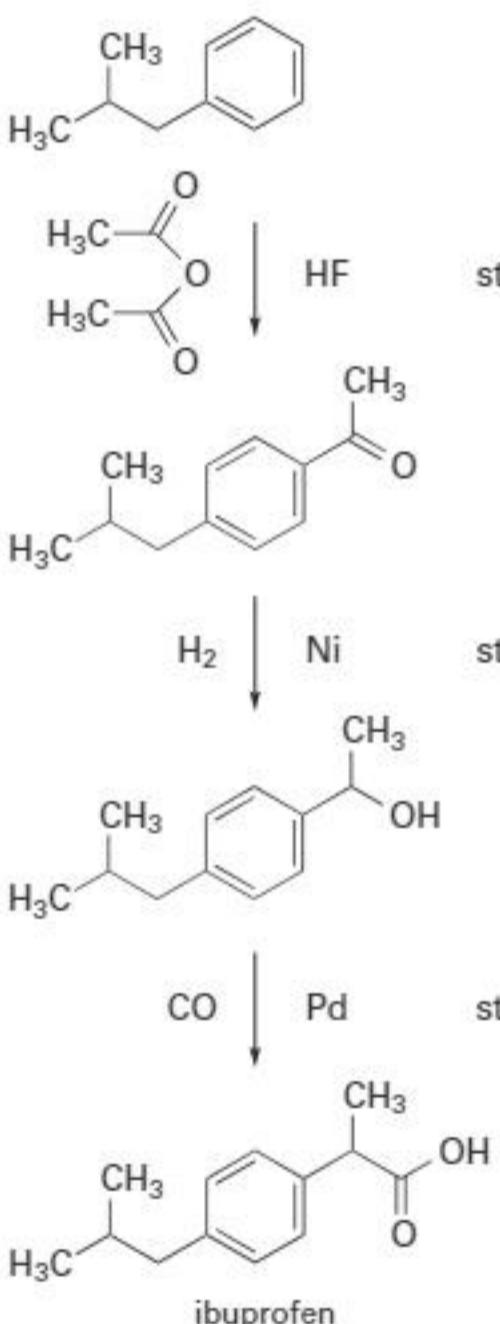
Een belangrijk aspect van een synthese is het rendement van het proces. Wanneer een proces uit meerdere reactiestappen bestaat, heeft dat vaak een verlaging van het rendement tot gevolg. Zo is het totale rendement van de Brown-synthese 53%.

- 5 Bereken hoeveel gram ibuprofen kan worden bereid uit 50,0 g iso-butylbenzeen, als het rendement van het gehele proces 53% is. Neem aan dat alle andere beginstoffen in overmaat aanwezig zijn en dat de molverhouding iso-butylbenzeen : ibuprofen gelijk is aan 1 : 1.

Een ander belangrijk kenmerk van een synthese is de zogenoemde atoomeconomie, ook wel atoomefficiëntie genoemd. De atoomeconomie van de Brown-synthese is vrij laag.

Een synthese met een duidelijk hogere atoomeconomie is de zogenoemde BHC-synthese. Ook in deze synthese is iso-butylbenzeen de beginstof. De BHC-synthese is korter dan de Brown-synthese: hij bestaat uit drie reactiestappen die hierna schematisch zijn weergegeven.

### BHC-synthese



In deze weergave van de BHC-synthese zijn schematische structuurformules gebruikt. Links naast de reactiepijlen staan de reactanten weergegeven en rechts de katalysatoren (HF, Ni en Pd). Alle reactanten reageren in de molverhouding 1 : 1. In het schema is één stof, die tijdens één van de reactiestappen ontstaat, niet aangegeven.

- 6 Geef aan in welke stap van de BHC-synthese die stof ontstaat en geef de structuurformule van die stof. Noteer je antwoord als volgt:  
In stap ... ontstaat ook nog ...

De BHC-synthese van ibuprofen heeft een veel hogere atoomeconomie dan de Brown-synthese. Dat is één van de redenen waarom de BHC-synthese als een 'groene' synthese wordt aangeduid.

- 7 Bereken de atoomeconomie van de BHC-synthese van ibuprofen.

Twee leerlingen, Julia en Thomas, doen in het kader van een werkstuk over 'Groene chemie' een literatuuronderzoek naar beide syntheses (de Brown-synthese en de BHC-synthese) van ibuprofen. In dat werkstuk vergelijken ze onder andere de rendementen en atoomeconomieën van beide processen. Ze stellen zich daarbij de volgende vragen:

'Als een proces een hoge atoomeconomie heeft, heeft het dan ook een hoog rendement?' en omgekeerd: 'Als een proces een hoog rendement heeft, is de atoomeconomie dan ook hoog?'

- 8 Geef een beschouwing waarin je een onderbouwd antwoord geeft op bovenstaande vragen.

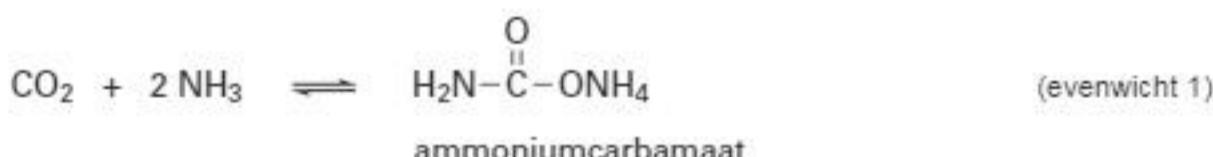
## Bereiding van ureum

Ureum,  $\text{H}_2\text{N}-\overset{\text{O}}{\underset{\parallel}{\text{C}}}-\text{NH}_2$ , en ammoniumnitraat zijn beide stikstofmeststoffen. Ureum is minder gevaarlijk dan het explosieve ammoniumnitraat.

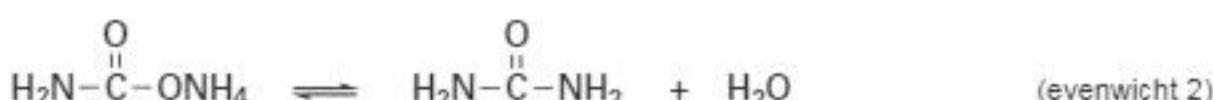
- 9 Is het massapercentage N in ureum hoger dan, of gelijk aan, of lager dan het massapercentage N in ammoniumnitraat? Geef een verklaring voor je antwoord.

In de industrie wordt ureum gemaakt uit de grondstoffen koolstofdioxide en ammoniak. De synthese verloopt in twee reactiestappen.

In de eerste stap ontstaat, in een evenwichtsreactie, de stof ammoniumcarbamaat:



In de tweede stap wordt het ammoniumcarbamaat omgezet tot ureum en water. Ook dit is een evenwichtsreactie:



Beide stappen verlopen in één reactievat. De omstandigheden in het reactievat zijn zodanig dat ammoniumcarbamaat en ureum vloeibaar zijn.

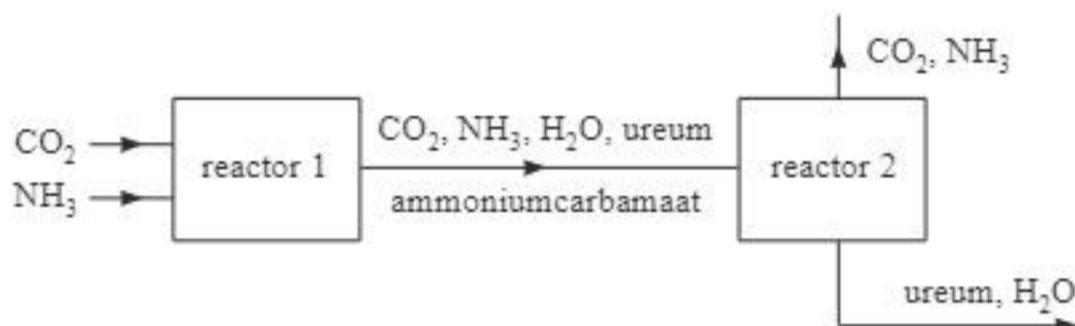
De reactie naar rechts van evenwicht 1 is exotherm.

De reactie naar rechts van evenwicht 2 is endotherm.

In een bepaald type ureumfabriek worden koolstofdioxide en ammoniak in de mol verhouding  $\text{CO}_2 : \text{NH}_3 = 1,00 : 2,95$  in de reactor geleid. Onder de omstandigheden die in de reactor heersen, wordt 60% van het koolstofdioxide omgezet.

- 10** Bereken de molverhouding  $\text{CO}_2 : \text{NH}_3$  waarin deze stoffen de reactor verlaten.

Hieronder is een deel van het blokschema weergegeven van deze ureumsynthese.



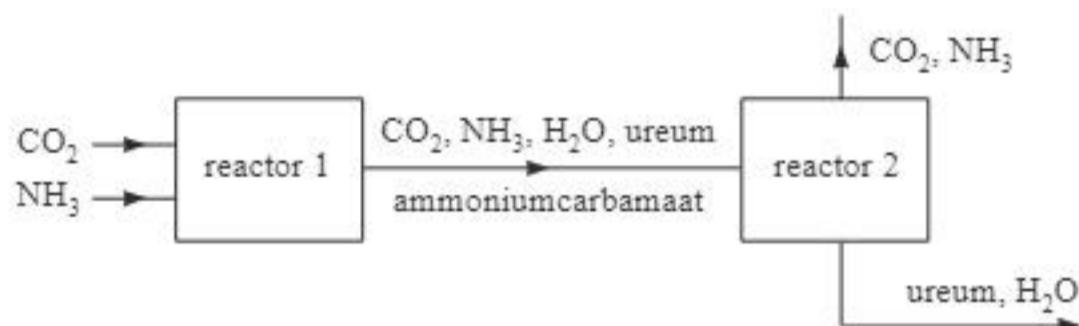
In reactor 1 vinden de beide hiervoor vermelde evenwichtsreacties plaats (evenwicht 1 en evenwicht 2). Vanwege de optredende evenwichten komt uit reactor 1 een mengsel van koolstofdioxide, ammoniak, water, ureum en ammoniumcarbamaat. De omstandigheden in reactor 2 zijn zodanig dat het ammoniumcarbamaat hierin wordt omgezet tot ammoniak en koolstofdioxide: evenwicht 1 loopt af naar links. Doordat de omstandigheden in reactor 2 verschillen van de omstandigheden in reactor 1, wordt ook de ligging van evenwicht 2 beïnvloed. De reacties van evenwicht 2 verlopen echter veel langzamer dan de reacties van evenwicht 1, daarom mag worden aangenomen dat de omzetting van ammoniumcarbamaat tot koolstofdioxide en ammoniak de enige reactie is die in reactor 2 plaatsvindt.

- 11** Hoe moeten de omstandigheden in reactor 2 zijn om te bewerkstelligen dat hierin het ammoniumcarbamaat wordt omgezet tot koolstofdioxide en ammoniak? Bespreek twee factoren. Geef een verklaring voor je antwoord.

Uit het mengsel dat in reactor 2 ontstaat, zijn het koolstofdioxide en de ammoniak gemakkelijk te scheiden van het ureum en het water. Het koolstofdioxide en de ammoniak wil men terugvoeren naar reactor 1. Om technische redenen is het echter noodzakelijk om deze gassen eerst te scheiden en ze vervolgens afzonderlijk terug te voeren naar reactor 1. Om het koolstofdioxide en de ammoniak van elkaar te scheiden, leidt men deze gassen in een reactor, reactor 3. In deze reactor wordt tevens een oplossing van zwavelzuur geleid. De ammoniak reageert in deze oplossing, het koolstofdioxide niet.

De oplossing die in reactor 3 ontstaat, wordt naar een volgende reactor, reactor 4, geleid. In reactor 4 wordt tevens een oplossing van NaOH geleid. Bij de reactie die in reactor 4 optreedt, komt de ammoniak weer vrij.

- 12** Maak het blokschema af in de bijlage op de volgende bladzijde.
- Gebruik daarvoor:
    - een blok voor reactor 3;
    - een blok voor reactor 4;
    - lijnen met pijlen voor stofstromen die reactor 3 en reactor 4 ingaan en verlaten.
  - Zet bij de zelfgetekende stofstromen de formules van de stoffen of soorten deeltjes die bij die stofstromen horen.

**bijlage bij vraag 12**

Door het recyclen van het koolstofdioxide en de ammoniak, is het rendement van de productie van ureum uit beide stoffen 100%. De atoomeconomie van het proces is echter lager dan 100%.

- 13 Leg uit waarom de atoomeconomie lager is dan 100%. Noem daarbij ten minste twee stoffen.

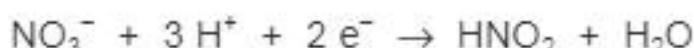
## Grondstoffen van stanyl®

Stanyl® is een hittebestendig polymeer dat bij ongeveer 300 °C vloeibaar wordt. Het is een condensatiepolymeer van de monomeren hexaandizuur en butaan-1,4-diamine. Het butaan-1,4-diamine wordt in een aantal stappen bereid. In de laatste stap wordt butaan-1,4-diamine bereid uit waterstof en butaan-1,4-dinitril ( $\text{N}\equiv\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}\equiv\text{N}$ ).

- 14 Bereken hoeveel  $\text{m}^3$  waterstof ( $T = 298 \text{ K}$ ,  $p = p_0$ ) minimaal nodig is om 1,0 ton butaan-1,4-diamine te produceren uit butaan-1,4-dinitril.  
Een ton is  $10^3 \text{ kg}$ .

Hexaandizuur kan op meerdere manieren worden bereid. De bereiding van hexaandizuur door cyclohexanol ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}$ ) te laten reageren met geconcentreerd salpeterzuur noemen we in deze opgave proces 1.

De halfreactie van het salpeterzuur is hieronder gegeven.



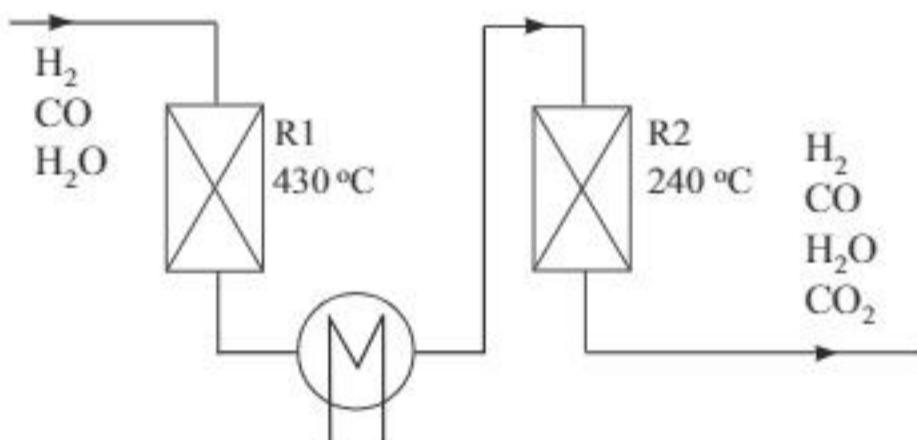
- 15** Geef de vergelijking van de halfreactie van de omzetting van cyclohexanol tot hexaandizuur. Gebruik molecuulformules. In de vergelijking van de halfreactie komen ook  $\text{H}_2\text{O}$  en  $\text{H}^+$  voor.
- 16** Leid met behulp van beide halfreacties de vergelijking van de totaalreactie voor proces 1 af.

In proces 1 wordt  $\text{HNO}_2$  gevormd. Deze stof ontleedt bij de procesomstandigheden tot onder andere  $\text{NO}$ . De atoomeconomie van proces 1 bedraagt 41,49%. Een andere methode om hexaandizuur te maken (proces 2) is de reactie van cyclohexeen met waterstofperoxide ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Cyclohexeen reageert hierbij in een molverhouding van 1 : 4 met waterstofperoxide. Behalve hexaandizuur ontstaat hierbij alleen water.

- 17** Bereken de atoomeconomie (atoomefficiëntie) van proces 2.
- 18** Geef twee argumenten die gebruikt kunnen worden als een keuze tussen proces 1 en proces 2 moet worden gemaakt.  
Geef argumenten gebaseerd op informatie uit deze opgave en/of Binas-tabel 97A.

## Duurzame ammoniak

Ammoniak wordt in Europa vooral geproduceerd uit stikstof en methaan. Methaan treedt in het proces op als energiebron maar ook als bron van waterstof-atomen. Om waterstof te produceren uit methaan wordt bij hoge temperatuur en druk methaan in reactie gebracht met water en zuurstof. Hierbij wordt een gasmengsel van  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  en  $\text{H}_2$  verkregen. Om een groot deel van het aanwezige  $\text{CO}$  te verwijderen, wordt vervolgens in twee reactoren de zogeheten gas-shiftreactie uitgevoerd. In onderstaande figuur is weergegeven hoe dit deel van het proces wordt uitgevoerd. Zowel in R1 als in R2 is een katalysator aanwezig en heerst een hoge druk.



In beide reactoren treedt onderstaand evenwicht op.



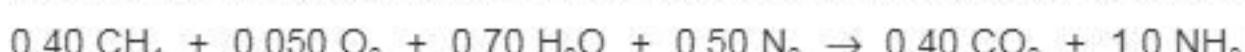
In de gasstroom na R1 bedraagt het volumepercentage  $\text{CO}$  nog 2-4% en na R2 is er nog 1%  $\text{CO}$ .

- 19** Leg uit of de reactie naar rechts van dit evenwicht exotherm of endotherm is.
- 20** Geef aan welk doel de hogere temperatuur in R1 heeft.

De waterstof afkomstig uit R2 wordt in een aantal stappen afgescheiden van de rest van het gasmengsel. Allereerst wordt water afgescheiden. Daarna wordt CO<sub>2</sub> gescheiden van de overige gassen.

- 21** Leg uit op welke wijze CO<sub>2</sub> kan worden afgescheiden uit het gasmengsel dat is ontstaan na het verwijderen van water uit het gasmengsel afkomstig van R2.

De gezuiverde waterstof wordt in een volgende reactor in reactie gebracht met stikstof. Het totaalproces van de productie van ammoniak uit onder andere methaan kan worden weergegeven met onderstaande reactievergelijking (reactie 1):



Als in een proces deze molverhoudingen worden toegepast, is het proces ongeveer energieneutraal. Dat betekent dat vrijwel geen extra energie nodig is of overtollige warmte ontstaat.

- 22** Bereken het energie-effect van het totaalproces volgens reactie 1 per mol gevormde ammoniak.  
Neem aan dat H<sub>2</sub>O in gasvorm aanwezig is. Rond bij deze berekening niet tussentijds af en geef je antwoord in twee significante cijfers.

In de praktijk blijkt dat de meest efficiënte ammoniakfabrieken 25% meer energie nodig hebben dan wat op basis van reactie 1 kan worden berekend. In het proces wordt dan ook 25% meer methaan per mol ammoniak gebruikt. De extra hoeveelheid methaan levert dan de benodigde energie.

- 23** Geef de vergelijking van reactie 1 voor de praktijksituatie.
- 24** Bereken de E-factor voor de bovengenoemde praktijksituatie (zie vorige vraag). Ga er daarbij vanuit dat er geen andere producten ontstaan en dat de reactie aflopend is.

De waterstof die nodig is voor de productie van ammoniak kan ook worden verkregen uit andere processen. In onderstaande tabel is het relatieve energieverbruik weergegeven voor de productie van waterstof uit een aantal grondstoffen. In de reacties zijn de grondstoffen zware stookolie en nafta weergegeven met de gemiddelde verhouding tussen het aantal C-atomen en het aantal H-atomen in deze grondstoffen.

grondstof (proces)	reactie	relatief energie- verbruik
kolen	C + 2 H <sub>2</sub> O → 2 H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub>	170%
zware stookolie	CH + 2 H <sub>2</sub> O → 2½ H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub>	135%
nafta	CH <sub>2</sub> + 2 H <sub>2</sub> O → 3 H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub>	104%
aardgas	CH <sub>4</sub> + 2 H <sub>2</sub> O → 4 H <sub>2</sub> + CO <sub>2</sub>	100%

Zware stookolie en nafta zijn producten afkomstig van de destillatie van aardolie. Als onvoldoende aardgas beschikbaar is, kan aan de hand van de tabel een afweging worden gemaakt tussen de grondstoffen zware stookolie en nafta.

- 25** Leg uit welke van de twee grondstoffen, zware stookolie of nafta, de voorkeur verdient voor de productie van waterstof.  
Geef twee argumenten op basis van de tabel.

Onderzocht is of het mogelijk is om gedroogd houtafval als duurzaam alternatief voor methaan te gebruiken voor de productie van ammoniak. In het onderzoek leverde 2,7 kg houtafval voldoende waterstof voor de productie van 1,0 kg ammoniak. De omzetting van alle koolstof uit het houtafval leidt uiteindelijk tot een CO<sub>2</sub>-uitstoot van 3,3 kg CO<sub>2</sub> per kg ammoniak.

- 26** Laat door berekening zien dat de omzetting van alle koolstof uit het houtafval leidt tot een CO<sub>2</sub>-uitstoot van 3,3 kg CO<sub>2</sub> per kg ammoniak.  
Gebruik onder andere de volgende gegevens:
- Het vochtgehalte van het houtafval bedroeg 35 massa%.
  - Gedroogd houtafval bevat 51 massa% koolstof.

In het onderzoek is met behulp van modellen berekend dat de CO<sub>2</sub>-uitstoot bij de productie van ammoniak uit aardgas 1,9 kg CO<sub>2</sub> per kg ammoniak bedraagt. De productie van ammoniak uit houtafval levert een CO<sub>2</sub>-uitstoot van 4,1 kg CO<sub>2</sub> per kg ammoniak.

In de modellen is ook de CO<sub>2</sub>-uitstoot die optreedt buiten de ammoniakfabriek opgenomen. Op basis van de gemodelleerde CO<sub>2</sub>-uitstoot van beide processen kan worden berekend dat houtafval een lagere bijdrage levert aan het versterkte broeikaseffect dan aardgas.

- 27** Voer de volgende opdrachten uit:
- Bereken hoeveel kg CO<sub>2</sub> per kg ammoniak netto wordt bespaard door gebruik te maken van houtafval.
  - Licht je berekening toe.
- 28** Op grond van welke (twee) uitgangspunten van de groene chemie zou je het proces uitgaande van houtafval duurzamer kunnen noemen dan het proces uitgaande van methaan? Geef een toelichting.
- 29** Op grond van welk uitgangspunt van de groene chemie zou je ook het omgekeerde kunnen beweren? Geef een toelichting.

## Hints bij hoofdstuk 7

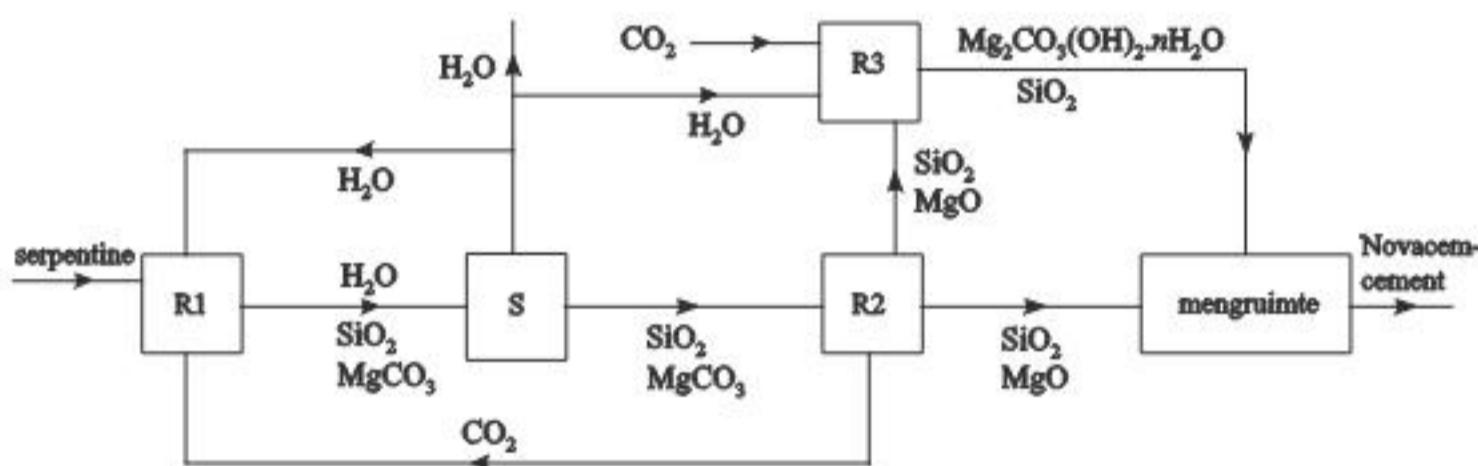
- 1 Maak Mg, Si en C kloppend en bepaal dan de formule van de andere stof die ontstaat.
- 2 Als de temperatuur toeneemt, verschuift een evenwicht naar de endotherme kant.
- 3 Er worden twee moleculaire stoffen gerecirkuleerd.
- 4 Vergelijk de energie-effecten van de verschillende reacties in de beide processen.
- 5 De molecuulformule van benzeen is  $C_6H_6$ .
- 6 De stoffen rechts van de reactiepijlen nemen niet deel aan de reactie.
- 7 Gebruik je antwoord op vraag 6.
- 8 Rendement is afhankelijk van nevenreacties en stofverlies.
- 9 Gebruik bij je berekening de twee molecuulformules.
- 10 Ga bijvoorbeeld uit van 100 mol  $CO_2$ .
- 11 Welke factoren kunnen evenwicht 1 naar links laten verschuiven?
- 12 Gebruik de tekst boven deze vraag.
- 13 Welke stoffen in het proces dragen niet direct bij aan de hoeveelheid ureum?
- 14 Hoeveel mol  $H_2$  is nodig bij het maken van 1 mol butaan-1,4-diamine?  
Hoeveel mol  $H_2$  is dan nodig voor 1,0 ton butaan-1,4-diamine?
- 15 Bepaal uit de structuurformule van hexaandizuur de benodigde molecuulformule.
- 16 Bij het samenvoegen van halfreacties tot een totale reactievergelijking streep je de elektronen en overeenkomende deeltjes voor en na de pijl weg.
- 17 Voor het begrip atoomeconomie raadpleeg je Binas 37H en 97A. Begin met het opstellen van de reactievergelijking.
- 18 Wat zijn gunstige eigenschappen van een proces en welke zijn ongunstig?
- 19 Vergelijk de evenwichtsligging na beide reactoren.
- 20 In welke stofeigenschappen verschilt  $CO_2$  van CO en  $H_2$ ?
- 21 De reactiewarmte bereken je met behulp van vormingswarmten.
- 22 25% meer  $CH_4$  dan in de reactievergelijking staat, betekent uitgaan van 0,50 mol  $CH_4$ .
- 23 In de reactievergelijking van 23 is het rendement al verwerkt.
- 24 Noem alleen (twee) verschillen die in de tabel zichtbaar zijn.
- 25 Ga uit van 2,7 kg (vochtig) houtafval.
- 26 Hier speelt het verschil tussen fossiele en hernieuwbare brandstoffen.
- 27 Gebruik Binas 97A.

## Uitwerkingen bij hoofdstuk 7

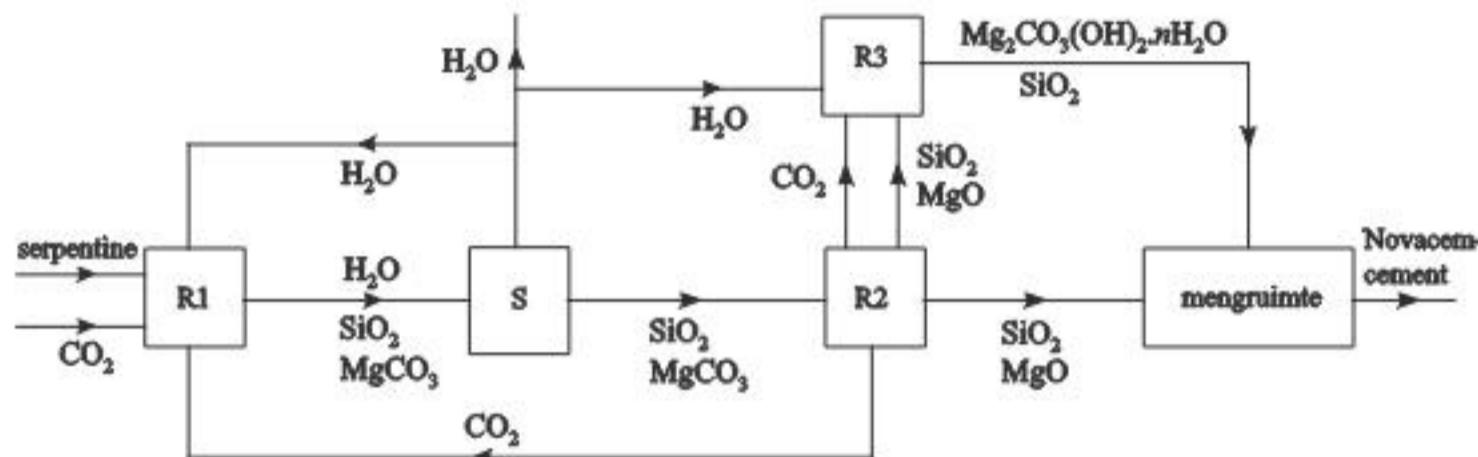
### Duurzaam cement

- 1  $Mg_3Si_2O_5(OH)_4 + 3 CO_2 \rightarrow 3 MgCO_3 + 2 SiO_2 + 2 H_2O$
- 2 De omzetting van serpentine (de reactie naar rechts) is exotherm (gegeven). Bij hogere temperatuur verschuift een evenwicht naar de endotherme kant. Dat is bij deze reactie naar links. Er wordt minder serpentine omgezet / meer serpentine teruggevormd en het percentage serpentine zal dan dus groter zijn.

3



of



Als je geen uitstroom van water hebt getekend, is het ook goed.

- 4 Energiegebruik (twee aspecten)
- Bij de productie van Novacemcement is de temperatuur maximaal 970 K, terwijl bij de productie van Portlandcement de temperatuur maximaal 1500 K is.
  - Bij de productie van Novacemcement komt energie vrij in twee reacties. Hierdoor is terugvoer van warmte mogelijk van een exotherm proces naar een endotherm proces.

De reacties die verlopen bij de productie van Portlandcement zijn allemaal endotherm.

$CO_2$  uitstoot (één aspect)

Bij de productie van Novacemcement wordt netto  $CO_2$  opgenomen terwijl bij de productie van Portlandcement uitsluitend  $CO_2$ -uitstoot optreedt.

### Twee syntheses van ibuprofen

- 5 1 mol iso-butylbenzeen ( $C_{10}H_{14}$ ) heeft een massa van  $10 \cdot 12,01 + 14 \cdot 1,008 = 134,2$  g (Binas 99). 50,0 g iso-butylbenzeen komt dus overeen met  $\frac{50,0\text{ g}}{134,2\text{ g mol}^{-1}} = 0,373$  mol. Hieruit kan maximaal 0,373 mol ibuprofen ontstaan (molverhouding is 1 : 1). 1 mol ibuprofen ( $C_{13}H_{18}O_2$ ) heeft een massa van  $13 \cdot 12,01 + 18 \cdot 1,008 + 2 \cdot 16,00 = 206,3$  g (Binas 99). 0,373 mol ibuprofen heeft een massa van  $0,373 \cdot 206,3 = 76,9$  g. Het rendement is 53%. Er ontstaat dus  $0,53 \cdot 76,9 = 41$  g ibuprofen (2 significante cijfers).

- 6 In stap 1 ontstaat ook nog  $CH_3-\overset{\overset{\text{O}}{|}}{\underset{\underset{\text{||}}{|}}{\text{C}}}-OH$ .

- 7 De formule voor de atoomeconomie, ook wel atoomefficiëntie genoemd, is:

$$\text{atoomeconomie} = \frac{\text{massa van gewenst product}}{\text{massa van alle beginstoffen}} \cdot 100\% \text{ (Binas 37H).}$$

Dit komt overeen met  $\frac{\text{massa van gewenst product}}{\text{massa van alle producten}} \cdot 100\%$ .

De molaire massa van ibuprofen is  $206,3\text{ g mol}^{-1}$  (zie uitwerking 5).

Er ontstaat bij de synthese van 1 mol ibuprofen 1 mol azijnzuur (zie uitwerking 6).

De molaire massa van azijnzuur is  $60,053\text{ g mol}^{-1}$  (Binas 98).

De atoomeconomie is  $\frac{206,3}{206,3 + 60,053} \cdot 100\% = 77,45\%$  (4 significante cijfers).

- 8 Bij een reactie met een hoge atoomeconomie staan in de reactievergelijking geen of weinig bijproducten. Indien de reactie in werkelijkheid ook zo verloopt, betekent dat ook een hoog rendement. Maar door het optreden van nevenreacties en door scheidingsmethoden die dan nodig zijn, kan het rendement toch lager uitvallen. Wanneer een proces een hoog rendement heeft, zijn er geen of weinig nevenreacties en verlopen scheidingen ook voorspoedig. Maar als het proces ook bijproducten levert, gaat dat ten koste van de atoomeconomie (zie definitie). Dus alleen als er weinig of geen bijproducten ontstaan, heeft een proces met een hoog rendement ook een hoge atoomeconomie.

*Voorbeeld: Elke additiereactie heeft volgens de reactievergelijking een atoomeconomie van 100%, omdat er slechts één product ontstaat.*

*Het rendement van deze reacties hoeft echter niet 100% te zijn. De beginstoffen kunnen mogelijk een nevenreactie geven. Of één van de beginstoffen moet in overmaat aanwezig zijn en dan zullen er scheidingen nodig zijn die tot verlies van product kunnen leiden.*

### Bereiding van ureum

- 9 De massa van 1 molecuul ureum ( $CON_2H_4$ ) is  $12\text{ u} + 16\text{ u} + 28\text{ u} + 4\text{ u} = 60\text{ u}$ . De 'molecuul'massa van ammoniumnitraat ( $NH_4NO_3$ ) is  $28\text{ u} + 4\text{ u} + 48\text{ u} = 80\text{ u}$ . *methode 1*

Het massapercentage N in ureum bedraagt:  $\frac{28\text{ u}}{60\text{ u}} \cdot 100\% = 47\%$

Het massapercentage N in ammoniumnitraat bedraagt:  $\frac{28\text{ u}}{80\text{ u}} \cdot 100\% = 35\%$

Het massapercentage stikstof in ureum is dus hoger dan in ammoniumnitraat.

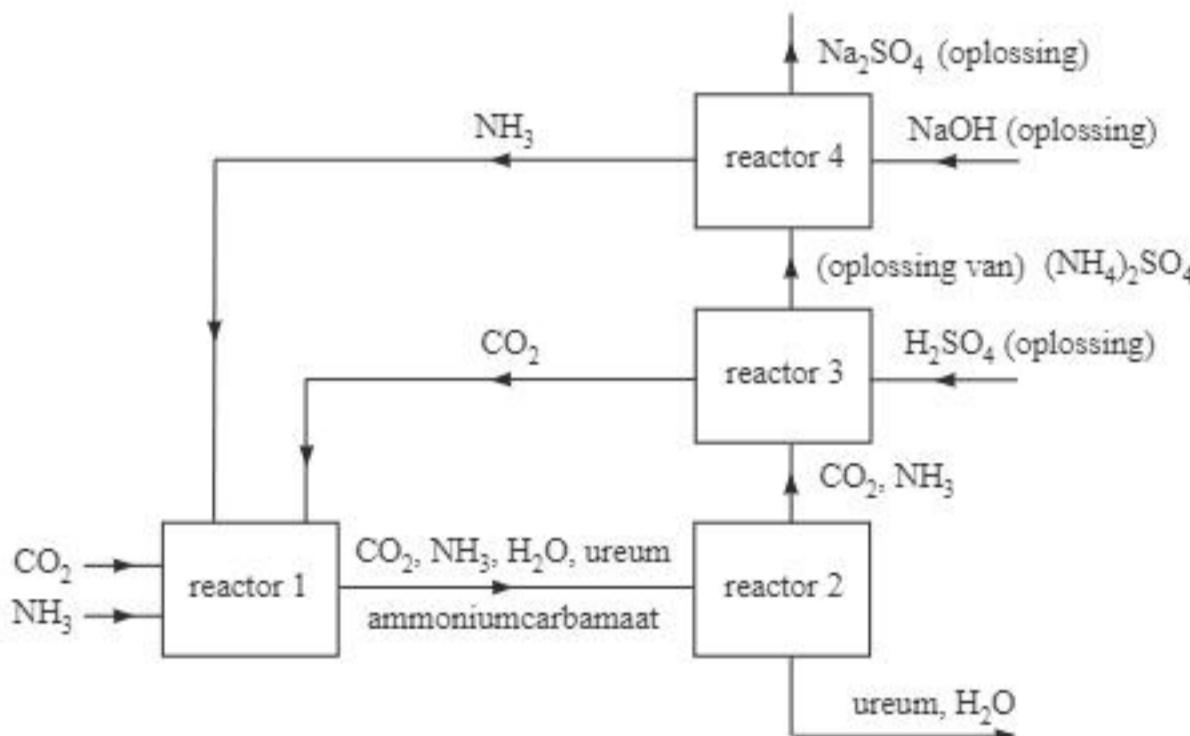
*methode 2*

De molecuulmassa van ammoniumnitraat is groter dan die van ureum (zie boven). Beide 'moleculen' bevatten twee N-atomen. Het massapercentage stikstof in ureum zal dus hoger liggen.

- 10** Stel dat 100 mol CO<sub>2</sub> in de reactor wordt geleid. Dan zal tegelijkertijd 295 mol NH<sub>3</sub> worden toegevoegd (zie molverhouding in de opgave). Als 60% van CO<sub>2</sub> wordt omgezet, dan heeft 60 mol CO<sub>2</sub> gereageerd met 120 mol NH<sub>3</sub> (zie molverhouding in evenwicht 1 in de opgave). Van CO<sub>2</sub> is dus 100 – 60 = 40 mol over, van NH<sub>3</sub> 295 – 120 = 175 mol. De stoffen verlaten de reactor dus in een molverhouding van 40 : 175 = 1,0 : 4,4. *Antwoorden in de vorm van een breuk zijn toegestaan, ook de 'uitkomst' 0,23.*

- 11** Evenwicht 1 (zie opgave) moet naar links verschuiven. De reactie naar links (vorming van CO<sub>2</sub> en NH<sub>3</sub>) is endotherm. Temperatuurverhoging heeft een groter effect op de endotherme reactie dan op de (omgekeerde) exotherme reactie. De temperatuur zal dus in reactor 2 hoger moeten zijn dan in reactor 1. Door de druk te verlagen vermindert de ontmoetingskans van moleculen CO<sub>2</sub> en NH<sub>3</sub>. De reactiesnelheid naar rechts zal daardoor minder worden, terwijl de snelheid van de reactie tussen de vloeistoffen (water en ureum) niet van de druk afhankelijk is. De druk zal dus in reactor 2 lager moeten zijn dan in reactor 1.

- 12** Voorbeeld van een juist aangevuld blokschema:



- 13** In reactor 2 ontstaat als bijproduct water en voor het recirculeren worden zwavelzuur en natriumhydroxide gebruikt. Van deze drie stoffen komen geen atomen in ureum terecht. Daardoor is de atoomeconomie lager dan 100%. *Je mag ook noemen dat bij het recirculeren een natriumsulfaatoplossing vrijkomt.*

### Grondstoffen voor stanyl

- 14** Voor het maken van 1 mol butaan-1,4-diamine (NH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-NH<sub>2</sub>) uit 1 mol butaan-1,4-dinitril (NC-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>-CN) is 4 mol H<sub>2</sub> nodig. De massa van 1 mol butaan-1,4-diamine (C<sub>4</sub>H<sub>12</sub>N<sub>2</sub>) is  $4 \cdot 12,01 + 12 \cdot 1,008 + 2 \cdot 14,01 = 88,16 \text{ g} \Rightarrow 1,0 \text{ ton of } 1,0 \cdot 10^6 \text{ g komt overeen met } \frac{1,0 \cdot 10^6 \text{ g}}{88,16 \text{ g mol}^{-1}} = 1,13 \cdot 10^4 \text{ mol.}$

Om deze hoeveelheid butaan-1,4-diamine te vormen was  $4 \cdot 1,13 \cdot 10^4 \text{ mol} = 4,52 \cdot 10^4 \text{ mol H}_2$  nodig. 1 mol gas heeft onder de genoemde omstandigheden een volume van  $2,45 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$  (Binas 7), dus  $4,52 \cdot 10^4 \text{ mol H}_2$  heeft een volume van  $4,52 \cdot 10^4 \cdot 2,45 \cdot 10^{-2} = 1,1 \cdot 10^3 \text{ m}^3$  (2 significante cijfers).



- 22** Reactiewarmte  $\Delta E$  = vormingswarmte van 0,40 mol  $\text{CO}_2$  + vormingswarmte van 1,0 mol  $\text{NH}_3$  – vormingswarmte van 0,40 mol  $\text{CH}_4$  – vormingswarmte van 0,70 mol  $\text{H}_2\text{O}$  =  
 $= 0,40 \cdot -3,935 \cdot 10^5 \text{ J} + 1,0 \cdot -0,459 \cdot 10^5 \text{ J} - 0,40 \cdot -0,75 \cdot 10^5 \text{ J} - 0,70 \cdot -2,42 \cdot 10^5 \text{ J} =$   
 $= -0,039 \cdot 10^5 \text{ J per mol } \text{NH}_3$  (Binas 57A en 57B, 2 significante cijfers).
- Niet-ontleedbare stoffen, zoals  $\text{O}_2$  en  $\text{N}_2$ , hebben per definitie een vormingswarmte van 0.*
- 23** 25% meer methaan betekent (in de reactievergelijking) 0,50 mol  $\text{CH}_4$  i.p.v. 0,40 mol.  
 Reactievergelijking:  $0,50 \text{ CH}_4 + 0,25 \text{ O}_2 + 0,50 \text{ H}_2\text{O} + 0,50 \text{ N}_2 \rightarrow 0,50 \text{ CO}_2 + 1,0 \text{ NH}_3$   
*Maak eerst C kloppend, dan H en ten slotte N en O.*
- 24**  $E\text{-factor} = \frac{\text{massa van de beginstoffen} - \text{massa van verkregen (gewenst) product}}{\text{massa van verkregen (gewenst) product}} =$   
 $= \frac{\text{massa van alle producten} - \text{massa van verkregen (gewenst) product}}{\text{massa van verkregen (gewenst) product}} =$   
 $= \frac{0,50 \text{ mol} \cdot 44,010 \text{ g mol}^{-1}}{1,0 \text{ mol} \cdot 17,031 \text{ g mol}^{-1}} = \frac{22 \text{ g}}{17 \text{ g}} = 1,3$  (Binas 98; 2 significante cijfers)
- In de teller blijft alleen de massa van 0,50 mol  $\text{CO}_2$  staan. Dat is namelijk de massa van de beide reactieproducten ( $\text{CO}_2$  en  $\text{NH}_3$ ) min de massa van het gewenste product ( $\text{NH}_3$ ).*
- 25** De keuze zou vallen op nafta als grondstof omdat
  - dit proces minder energie gebruikt;
  - dit proces meer waterstof oplevert ten opzichte van de hoeveelheid (van het ongewenste broeikasgas)  $\text{CO}_2$  die ontstaat.
- 26** Ga uit van 2,7 kg houtafval dat 35 massa% water bevat. Het gedroogde houtafval (100 – 35 = 65%) heeft dus een massa van  $0,65 \cdot 2,7 = 1,76 \text{ kg}$ . Dit bevat 51 massa% C (gegeven), dat is  $0,51 \cdot 1,76 = 0,898 \text{ kg}$  koolstof.  
*methode 1 (met massaverhouding)*  
 1 mol C met een massa van 12,01 g (Binas 99) wordt omgezet in 1 mol  $\text{CO}_2$  met een massa van 44,010 g (Binas 98).  
 $0,898 \text{ kg C wordt dus omgezet in } \frac{44,010 \text{ g}}{12,01 \text{ g}} \cdot 0,898 \text{ kg} = 3,664 \cdot 0,898 \text{ kg} = 3,3 \text{ kg } \text{CO}_2$   
 (2 significante cijfers) bij de productie van 1,0 kg ammoniak.  
*methode 2 (met molberekening)*  
 1 mol C heeft een massa van 12,01 g, dus  $0,92 \text{ kg}$  ( $0,92 \cdot 10^3 \text{ g}$ ) komt overeen met  
 $\frac{0,92 \cdot 10^3 \text{ g}}{12,01 \text{ g mol}^{-1}} = 76,6 \text{ mol C}$ . Dit wordt omgezet in 76,6 mol  $\text{CO}_2$ .  
 1 mol  $\text{CO}_2$  heeft een massa van 44,010 g  $\Rightarrow$  76,6 mol  $\text{CO}_2$  heeft een massa van  $76,6 \cdot 44,010 \text{ g} = 3,37 \cdot 10^3 \text{ g} = 3,4 \text{ kg}$  (2 significante cijfers).
- 27** Voorbeeld van een juist antwoord:  
 Van de 4,1 kg  $\text{CO}_2$  die door het houtafval (per kg ammoniak) wordt uitgestoten, is 3,4 kg afkomstig uit het houtafval zelf. Dit deel van de uitstoot leidt niet tot een (extra) broeikaseffect, omdat de koolstofdioxide niet zo lang geleden bij de groei van de bomen uit de atmosfeer is gehaald (fotosynthese).  
 De extra  $\text{CO}_2$  die in de atmosfeer komt, is dus maar  $4,1 \text{ kg} - 3,4 \text{ kg} = 0,7 \text{ kg}$  per kg ammoniak. Voor aardgas is die waarde 1,9 kg (gegeven) en omdat het om een fossiele brandstof gaat, gaat het hier wel om extra  $\text{CO}_2$ -uitstoot.  
 De besparing aan  $\text{CO}_2$ -uitstoot door houtafval te gebruiken, is dus  $1,9 - 0,7 = 1,2 \text{ kg}$  per kg ammoniak.  
*Indien je 3,3 kg hebt gevonden in onderdeel 26, dan is hier 1,1 kg het juiste antwoord.*

**28 Mogelijke antwoorden (noem er twee):**

- Gebruik van hernieuwbare grondstoffen.  
 $\text{CH}_4$  is een fossiele grondstof, houtafval is hernieuwbaar.
- Minder risicovolle chemie.  
Het giftige CO dat bij gebruik van methaan ontstaat, vormt een risico.
- Minder schadelijke productiemethoden.  
Door het gebruik van houtafval ontstaat per kg ammoniak minder van het broeikasgas  $\text{CO}_2$  dan als methaan wordt gebruikt.

**29 Mogelijke antwoorden:**

- Atoomeconomie.  
Er is (onder andere) 2,7 kg houtafval nodig voor 1,0 kg ammoniak (gegeven). Uit de (overall)reactievergelijking in de opgave en die in uitwerking 23 blijkt, dat er nog niet eens 1 kg methaan nodig is voor het verkrijgen van 1,0 kg ammoniak.
- Preventie.  
Houtafval geeft bij verbranden (schadelijke) bijproducten; methaan is een veel schonere brandstof.



Vind je dit onderwerp lastig? Bekijk een uitlegfilmpje op [mijnexamenbundel.nl](https://mijnexamenbundel.nl) of oefen met extra examenopgaven.



## 8 Analysemethoden en vaardigheden

### Trans-vetzuren

Uit onderzoek is gebleken dat veresterde vetzuren met dubbele bindingen in de *trans*-configuratie een nadelige invloed hebben op de gezondheid. Daarom wordt er veel onderzoek gedaan naar de samenstelling van margarine en frituurvet. Bij dit onderzoek aan vetten en oliën wordt onder andere gebruik gemaakt van dunnelaagchromatografie.

Bij deze analysemethode hebben de volgende factoren invloed op de loopsnelheid en dus op de afstand die de glyceryltri-esters vanaf de start afleggen:

- het aantal dubbele bindingen in het molecuul van de glyceryltri-ester: hoe minder dubbele bindingen, hoe groter de loopsnelheid;
- de plaats van het veresterde onverzadigde vetzuur in het molecuul van de glyceryltri-ester: wanneer het onverzadigde vetzuur aan het middelste koolstofatoom van het glycerolmolecuul is veresterd, is de loopsnelheid van de glyceryltri-ester groter dan wanneer het onverzadigde vetzuur aan een van de twee buitenste koolstofatomen van het glycerolmolecuul is veresterd;
- de configuratie van de dubbele binding: glyceryltri-esters met dubbele bindingen in de *trans*-configuratie hebben een grotere loopsnelheid dan de overeenkomstige glyceryltri-esters met dubbele bindingen in de *cis*-configuratie.

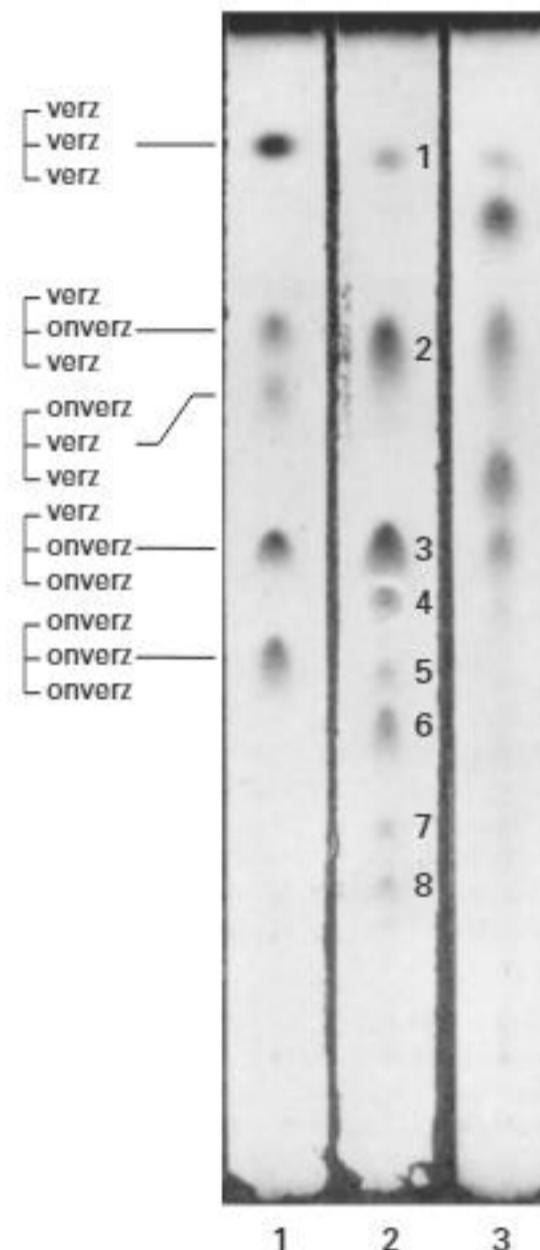
De grootte van de koolwaterstofgroep blijkt niet van invloed te zijn op de loopsnelheid. Zo zijn de loopsnelheden van glyceryltripalmitaat en glycerylristearaat, beide glyceryltri-esters van verzadigde vetzuren, aan elkaar gelijk. Ook blijkt dat de loopsnelheden van spiegelbeeld-isomeren aan elkaar gelijk zijn.

In de figuur hiernaast zijn chromatogrammen afgebeeld van mengsels die bij de margarinebereiding van belang zijn.

De afgebeelde chromatogrammen zijn van:

- 1 een synthetisch mengsel van vijf glyceryltri-esters; de dubbele bindingen in de veresterde onverzadigde vetzuren hierin hebben alle de *cis*-configuratie;
- 2 natuurlijke palmolie;
- 3 gedeeltelijk geharde palmolie, bevat minder dubbele bindingen dan palmolie.

Bij het maken van deze chromatogrammen is telkens dezelfde loopvloeistof (mobiele fase) en hetzelfde dragermateriaal (stationaire fase) gebruikt.



In natuurlijke palmolie komen uitsluitend glyceryltri-esters voor. De dubbele bindingen in de veresterde onverzadigde vetzuren in deze glyceryltri-esters hebben alle de *cis*-configuratie.

Behalve de vijf glyceryltri-esters die in het mengsel zaten dat voor chromatogram 1 is

gebruikt, bestaat er nog een glyceryltri-ester, namelijk  $\begin{bmatrix} \text{onverz} \\ \text{verz} \\ \text{onverz} \end{bmatrix}$ . Zulke glyceryltri-esters komen wel in natuurlijke palmolie voor.

- Geef het nummer van de vlek in chromatogram 2 waarin de glyceryltri-esters van het type  $\begin{bmatrix} \text{onverz} \\ \text{verz} \\ \text{onverz} \end{bmatrix}$  terecht zijn gekomen.

Geef een verklaring voor je antwoord met behulp van gegevens uit deze opgave.

- Leg uit of uit deze chromatogrammen de conclusie getrokken mag worden dat bij de vetharding van deze palmolie dubbele bindingen in de *cis*-configuratie zijn overgegaan in dubbele bindingen in de *trans*-configuratie.

## Olijfolie

Olijfolie bestaat voornamelijk uit glyceryltri-esters. Dit zijn esters van glycerol en vet-zuren. Tegenwoordig wordt olijfolie vaak industrieel gemaakt.

De olijven worden geperst, in aanwezigheid van onder andere stoom om zoveel mogelijk olie uit de olijven te halen. Bij dit proces dat 'warme persing' wordt genoemd is de temperatuur veel hoger dan bij de koude persing.

De olie die na de warme persing overblijft, heeft een mindere kwaliteit dan die uit de koude persing, onder andere omdat het gehalte aan vrije vetzuren veel hoger is.

Een te hoog gehalte aan vrije vetzuren beïnvloedt de smaak nadelig.

Eerste kwaliteit olijfolie wordt aangeduid met de kwalificatie 'extra vergine'. Eén van de eisen die aan olie worden gesteld om aan deze kwalificatie te voldoen, is dat het gehalte aan vrije vetzuren, berekend als oliezuur, maximaal 1,00 gram per 100 gram olie bedraagt.

Van een bepaalde soort olijfolie wordt door middel van een titratie het gehalte aan vrije vetzuren bepaald. Daartoe wordt 5,542 g olijfolie gemengd met 25 mL propanon en 2 mL chloroform. Het ontstane mengsel wordt getitreerd met een 0,102 M oplossing van KOH in propaan-2-ol.

Omdat bij deze titratie olijfolie niet de enige vloeistof is waar stoffen in zitten die met OH<sup>-</sup> reageren, moet eerst een zogenoemde blanco-bepaling worden uitgevoerd.

- Beschrijf hoe deze blanco-bepaling moet worden uitgevoerd.

Bij de uiteindelijke bepaling bleek dat 2,572 mL 0,102 M KOH-oplossing nodig was om te reageren met de vrije vetzuren in de olijfolie.

- Ga na of het gehalte aan vrije vetzuren in de onderzochte olijfolie voldoet aan de genoemde kwaliteitseis voor 'extra vergine'. De massa van een mol oliezuur is 282,5 gram.

## Versnelde verwering

Het gebruik van fossiele brandstoffen heeft de laatste decennia gezorgd voor een aanzienlijke toename van het koolstofdioxide gehalte van de atmosfeer. Men neemt aan dat deze toename invloed heeft op het klimaat op aarde: het versterkte broeikaseffect. In het artikel 'Versnelde verwering', dat in mei 2002 in het tijdschrift Natuur en Techniek heeft gestaan, wordt een methode besproken om koolstofdioxide uit de atmosfeer vast te leggen via een natuurlijk proces: de verwering van het mineraal olivijn (zie de tekst hieronder).

### Chemische verwering houdt CO<sub>2</sub> binnen de perken

De mensheid onttrekt enorme massa's materiaal aan de aarde (ertsen en mineralen, fossiele brandstoffen, grondwater) of voegt ze eraan toe (kunstmest, bevloeiing, opslag van afval, CO<sub>2</sub>), vrijwel zonder zich zorgen te maken om de consequenties. Tegelijkertijd bestaat er grote huiver tegen grootschalig gebruik van bestaande natuurlijke processen om de schadelijke

5 gevvolgen van menselijke ingrepen om te buigen. Te denken valt aan voorstellen om voedselarme delen van de oceaan bij te mesten met mestoverschotten.

De verhoogde algengroei zou CO<sub>2</sub> aan de atmosfeer onttrekken. Het voorstel om de natuurlijke verwering van het mineraal olivijn (zie reacties onderaan deze blz.) een handje te helpen, om de door de mens veroorzaakte toename van het CO<sub>2</sub>-gehalte van de atmosfeer terug  
10 te dringen, roept onmiddellijk dezelfde weerstand op. Vreemd, omdat bekalking van landbouwgronden een algemeen aanvaarde maatregel is, hoewel kalk (in tegenstelling tot olivijn) geen gunstig effect heeft op de CO<sub>2</sub>-vastlegging.

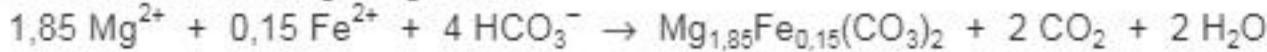
Onlangs is het voorstel gelanceerd om CO<sub>2</sub> bij puntbronnen zoals olieraffinaderijen en kolencentrales af te vangen en daarmee bij verhoogde temperatuur silicaten om te zetten in  
15 carbonaten. Met het silicium olivijn blijkt de reactie snel te verlopen – binnen hooguit enkele uren – en de producten zijn gehydrateerde amorfe silica (H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>) en magnesiumcarbonaat. Een nadeel is dat deze twee vaste stoffen gemengd vrijkomen; het proces zou met een simpele scheidingsstap moeten worden uitgebreid om deze twee vaste fasen in min of meer zuivere vorm te verkrijgen. Naar verwachting kan het gevormde silica in bouwmateriaal  
20 worden toegepast. Kostenbesparend bij deze technologie kan wellicht zijn dat aparte ontzwavelingsinstallaties niet meer nodig zijn. In de rookgassen aanwezig zwaveldioxide en zwavelzuur worden namelijk ook door olivijn geneutraliseerd en vastgelegd als MgSO<sub>4</sub>.

Behalve als technologie om puntbronnen van CO<sub>2</sub> te behandelen, kan dezelfde reactie ook op een extensieve, goedkopere en meer natuurlijke manier worden ingezet. Ter bestrijding  
25 van de effecten van zure regen wordt veel akkerland regelmatig bekalkt. Om de paar jaar moet deze behandeling worden herhaald. In Nederland willen we de komende jaren een vrij groot landbouwareaal aan de landbouw onttrekken en transformeren tot bossen. Een olivijnbehandeling van het land, voordat zo'n bos wordt geplant, is dan aan te bevelen. Daarmee wordt ook het effect van zure regen tegengegaan.

30 Chemische verwering van olivijn verloopt als volgt:



Deze reactie wordt gevuld door:



Laten we als gedachte-experiment eens uitreken hoeveel olivijn we theoretisch nodig  
35 zouden hebben om 20% van alle CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer om te zetten (naar het niveau van het jaar 1800). De massa van alle CO<sub>2</sub> in de atmosfeer is ongeveer  $2,5 \cdot 10^{18}$  gram. Als we voor de dichtheid van olivijn 2,5 g cm<sup>-3</sup> nemen, dan is er om 20% van het CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer te halen ongeveer 320 km<sup>3</sup> olivijn nodig. Zo zou een stoflaagje olivijn op het land een serieuze bijdrage kunnen leveren aan de bestrijding van het broeikasgevaar.

- 5 Geef de naam van het proces dat plaatsvindt wanneer algen  $\text{CO}_2$  aan de atmosfeer onttrekken. Geef ook de namen van de twee eindproducten die bij dit proces ontstaan.

Bij bekalking van landbouwgronden wordt kalk toegevoegd. De aanduiding 'kalk' is niet eenduidig: men kan er de stof 'ongebluste kalk', 'gebluste kalk' of 'kalksteen' mee bedoelen. Mede met behulp van een gegeven uit de tekst is op te maken welke stof hier wordt bedoeld.

- 6 Welke reden wordt in de tekst genoemd om bekalking van landbouwgrond toe te passen?
- 7 Leg aan de hand van de formules van de drie verschillende soorten kalk en een gegeven uit het artikel uit met welke stof(fen) men landbouwgrond bekalkt.

In regel 18 wordt voorgesteld om een 'simpele scheidingsstap' toe te passen waarbij twee stoffen 'in min of meer zuivere vorm' worden verkregen. Welke scheidingsmethode de schrijver van het artikel wil gebruiken, wordt niet duidelijk, maar het is aannemelijk dat hij extractie met water bedoelt. Een leerling krijgt als practicumopdracht een mengsel van magnesiumcarbonaat en gehydrateerde amorfe silica te scheiden. Hij mag ervan uitgaan dat de gehydrateerde amorfe silica onoplosbaar is. Het magnesiumcarbonaat zorgt daarbij voor een probleem.

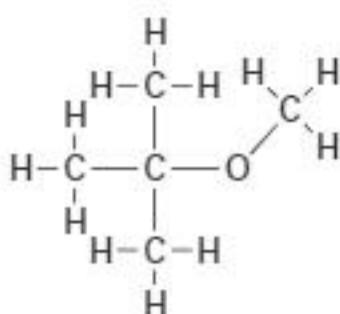
- 8 Waarom zorgt magnesiumcarbonaat voor een probleem bij deze scheidingsmethode?
- 9 Beschrijf een werkplan om het mengsel van magnesiumcarbonaat en gehydrateerde amorfe silica zo te scheiden, dat beide stoffen zo zuiver mogelijk en in vaste toestand worden verkregen.

Het vastleggen van zwaveldioxide in de vorm van  $\text{MgSO}_4$  is het resultaat van enkele elkaar opvolgende reacties.

- 10 Geef van die reacties de reactievergelijkingen. Ga ervan uit dat in olivijn als positief ion uitsluitend  $\text{Mg}^{2+}$ , en geen  $\text{Fe}^{2+}$ , voorkomt en dat de reacties niet in oplossing plaatsvinden. Behalve  $\text{MgSO}_4$  ontstaat ook  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ .
- 11 Ga door middel van een berekening na of de uitkomst ( $320 \text{ km}^3$  olivijn nodig) van het 'gedachte-experiment' juist is. Gebruik de reactievergelijkingen uit de tekst.

## MTBE in grond- en oppervlaktewater

In benzine komt een stof voor die wordt aangeduid met de afkorting MTBE. MTBE zorgt voor een goede verbranding van de benzine in automotoren en vermindert de vorming van koolstofmono-oxide. De structuurformule kan als volgt worden weergegeven:



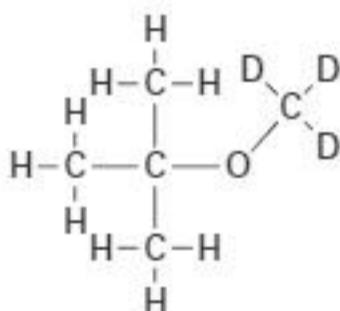
Door verkeersongelukken, lekkende opslagtanks en lekkende leidingen kan benzine in de grond terechtkomen. MTBE is een schadelijke stof. In grond- en oppervlaktewater mag dus niet te veel MTBE voorkomen. Het gehalte aan MTBE wordt daarom regelmatig gemeten.

Eén van de meetmethoden voor de bepaling van het MTBE gehalte maakt gebruik van gaschromatografie, gevolgd door massaspectrometrie.

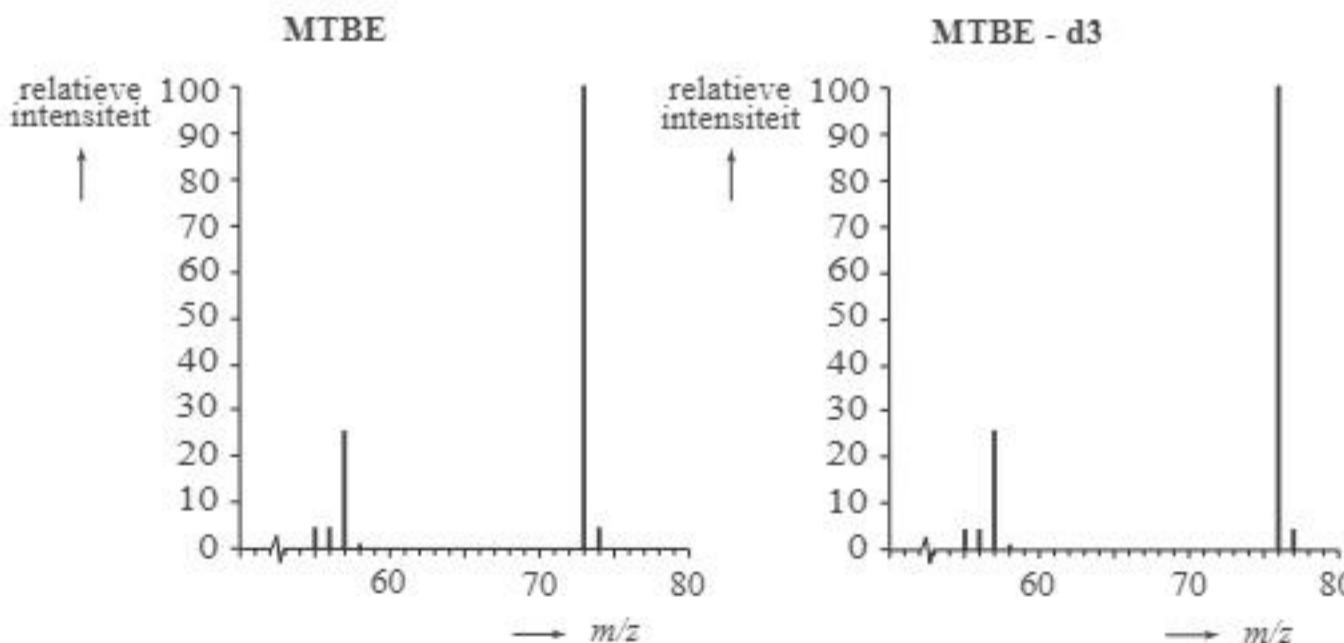
Tijdens zo'n bepaling wordt MTBE-d3 gebruikt. In een molecuul MTBE-d3 zijn drie van de twaalf waterstofatomen atomen H-2, zogenoemde deuteriumatomen.

Deze atoomsoort (isotoop) wordt meestal weergegeven met het symbool D.

De structuurformule van MTBE-d3 kan als volgt worden weergegeven:



Hieronder staan de massaspectra van MTBE en van MTBE-d3 gedeeltelijk afgebeeld.



Bij een MTBE-bepaling zijn de pieken met *m/z*-waarden 73 (in het MTBE-spectrum) en 76 (in het MTBE-d3 spectrum) van belang. Door gegevens uit beide spectra te combineren, kan worden nagegaan welk fragmentie van MTBE de piek met *m/z*-waarde 73 veroorzaakt.

- 12** Leg aan de hand van de massaspectra uit welk fragmentie de piek met *m/z*-waarde 73 in het MTBE-spectrum veroorzaakt.  
Geef ook de structuurformule van dit fragmentie.

Bij een MTBE-bepaling met behulp van MTBE-d3 wordt vooraf een ijkoplossing gemaakt waarin MTBE en MTBE-d3 aanwezig zijn in de molverhouding 1,00 : 1,00. Uit 100,0 mL van deze ijkoplossing worden de opgeloste koolstofverbindingen geïsoleerd en in een gaschromatograaf gescheiden. MTBE en MTBE-d3 hebben dezelfde retentietijd en komen als één fractie uit de gaschromatograaf. In het massaspectrum van deze fractie komt dus een piek voor met *m/z*-waarde 73, van MTBE, en een piek met *m/z*-waarde 76, van MTBE-d3. De piekhoogtes in het massaspectrum verhouden zich als volgt:

$$\frac{\text{intensiteit van de piek met } m/z = 73}{\text{intensiteit van de piek met } m/z = 76} = \frac{1000}{992}$$

Bij een benzinestation dat vermoedelijk de grond heeft vervuild, wordt een monster van het grondwater genomen om het gehalte aan MTBE te bepalen.

Aan 100,0 mL van dit monster wordt 10  $\mu\text{L}$  toegevoegd van een oplossing van MTBE-d3 die 1,00 mg MTBE-d3 per liter bevat. Van de ontstane oplossing worden de vluchige oplosbare stoffen geïsoleerd en in de gaschromatograaf gescheiden op exact dezelfde manier als met de ijkoplossing is gebeurd. De meting met de massaspectrometer levert een massaspectrum op met pieken die zich als volgt verhouden:

$$\frac{\text{intensiteit van de piek met } m/z = 73}{\text{intensiteit van de piek met } m/z = 76} = \frac{1000}{35,0}$$

- 13** Bereken het gehalte aan MTBE in het grondwater bij het benzinestation in  $\text{gL}^{-1}$ .

Het laboratorium dat de MTBE-bepalingen uitvoert, krijgt telkens opdracht een serie van 50 grondwatermonsters te onderzoeken. Om er zeker van te zijn dat de bepalingen eerlijk en betrouwbaar worden uitgevoerd, heeft de opdrachtgever 5 controlemasters gemaakt en in die serie van 50 monsters opgenomen. Er worden dus 45 echte grondwatermonsters geanalyseerd. Op het laboratorium weten ze niet wat de echte grondwatermonsters zijn en wat de controlemasters zijn.

Een controlemaster kan op verschillende manieren worden aangeboden:

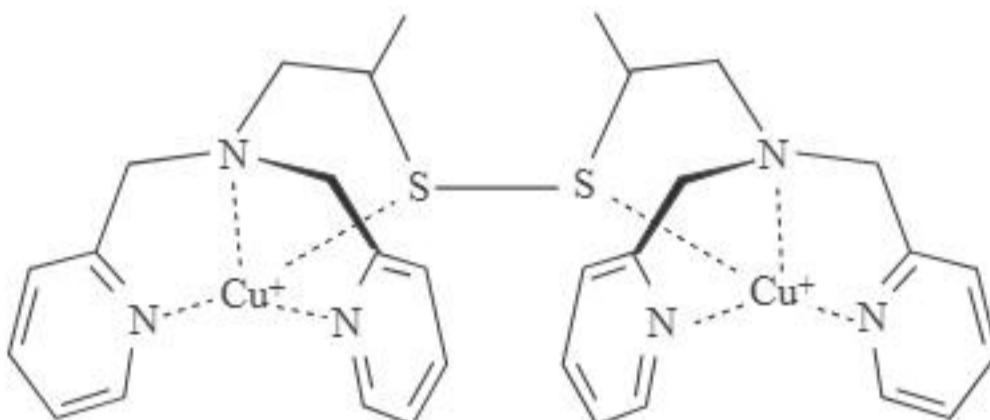
- 1 een grondwatermonster wordt twee keer aangeboden; de uitkomsten voor die twee monsters moeten binnen de nauwkeurigheid van de metingen hetzelfde zijn;
- 2 er wordt een monster drinkwater aangeboden; het gehalte MTBE hierin moet dus zeer laag zijn;
- 3 er wordt een monster met een bekend gehalte aan MTBE aangeboden; de uitkomst van de bepaling voor dit monster moet dus binnen de nauwkeurigheid van de metingen dat gehalte opleveren.

De opdrachtgever kan nog op andere manieren controlemasters maken.

- 14** Beschrijf nog een manier waarop de opdrachtgever een controlemaster kan hebben gemaakt. De door jou genoemde manier mag niet neerkomen op één van de hierboven genoemde methoden. Geef aan wat je verwacht voor de uitkomst van de MTBE-bepaling.

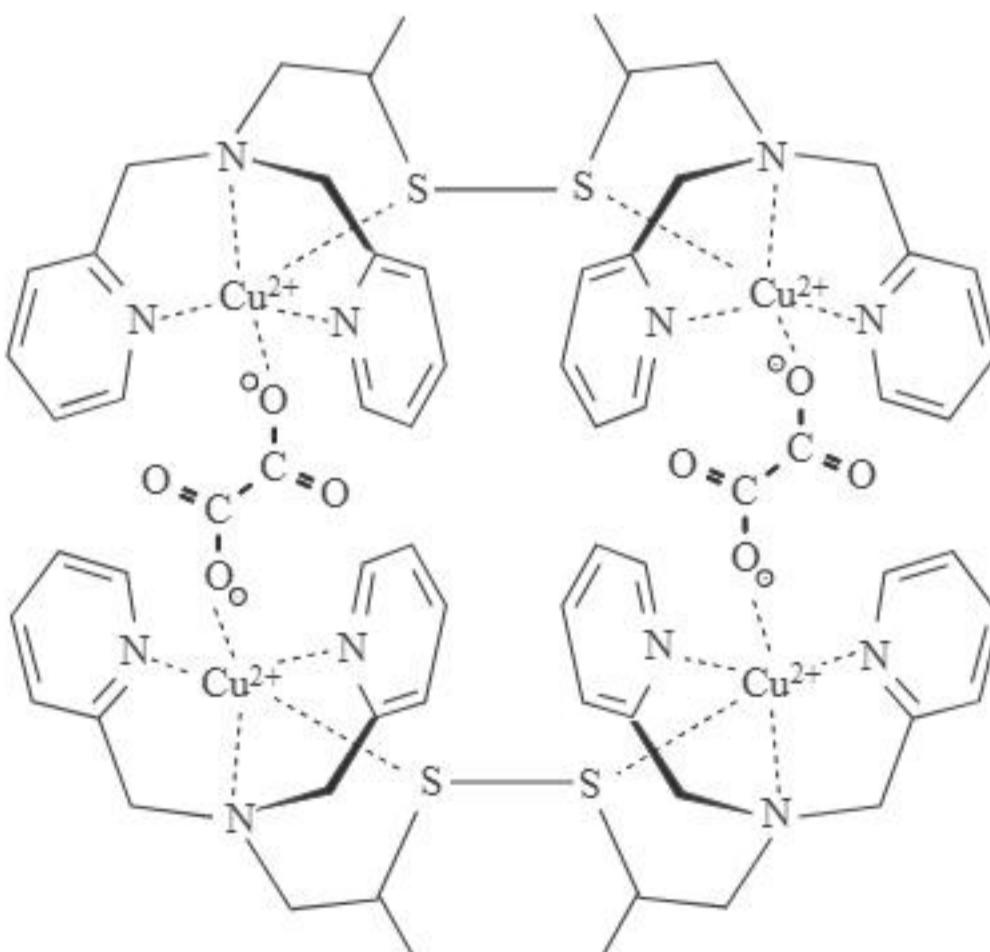
## Selectieve opname koolstofdioxide

Aan de Universiteit van Leiden wordt onderzoek gedaan naar een methode om koolstofdioxide te binden. Bij deze methode wordt gebruikgemaakt van een koper(I)complex dat wordt aangeduid met  $P^{2+}$ . Zie figuur hieronder. Men maakt dit complex door  $Cu^{2+}$ -ionen te laten reageren met moleculen van een organische stof  $R-SH$ .



Dat het koper(I)complex  $P^{2+}$  is gevormd, wordt aangetoond met behulp van massaspectrometrie. In het massaspectrum wordt onder andere een piek aangetroffen bij  $m/z = 335$ . Deze piek wordt toegeschreven aan het deeltje  $P^{2+}$  waarin uitsluitend de isotoop Cu-63 aanwezig is. Dit deeltje  $P^{2+}$  heeft  $m = 670$  u en  $z = 2+$ . Als een oplossing van  $P^{2+}$  aan de lucht wordt blootgesteld, ontstaan langzaam groenblauwe kristallen. Het blijkt dat de  $Cu^+$ -ionen worden omgezet in  $Cu^{2+}$ -ionen. In deze reactie reageert niet zuurstof als oxidator, maar  $CO_2$ . Hierbij ontstaat een nieuw complex  $Q^{4+}$  dat wordt gevormd uit twee deeltjes  $P^{2+}$  en 4 moleculen  $CO_2$ .

In de onderstaande figuur is dit deeltje  $Q^{4+}$  met behulp van een schematische structuurformule weergegeven.



Dat dit deeltje  $Q^{4+}$  is gevormd, heeft men onder andere uit het massaspectrum van het reactieproduct afgeleid: daarin heeft men een piek gevonden bij  $m/z = 379$ . Deze waarde geldt voor  $Q^{4+}$  waarin van Cu en C alleen de isotopen Cu-63 en C-12 voorkomen. Dat  $\text{CO}_2$  heeft gereageerd, heeft men kunnen bevestigen door een aanvullend experiment waarbij men gebruikmaakte van  $\text{CO}_2$  met daarin uitsluitend de isotoop C-13.

- 15 Laat met behulp van een berekening zien dat de piek bij  $m/z = 379$  verwijst naar het deeltje  $Q^{4+}$ .
- 16 Leg uit bij welke  $m/z$ -waarde een piek zal voorkomen bij het aanvullende experiment, waarbij alle  $\text{CO}_2$ -moleculen het C-13 atoom bevatten.

Men kan een experiment uitvoeren, waarmee kan worden aangetoond dat  $\text{CO}_2$  de oxidator is bij gelijktijdige aanwezigheid van koolstofdioxide en zuurstof.

- 17 Geef een beschrijving van zo'n experiment. Geef aan hoe uit de resultaten kan worden geconcludeerd dat bij gelijktijdige aanwezigheid van koolstofdioxide en zuurstof de oxidator koolstofdioxide is.

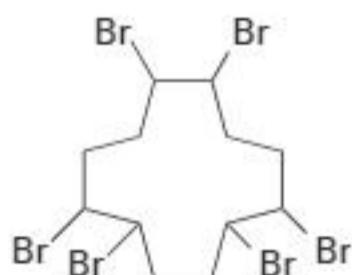
De studenten vragen zich af of de methode geschikt is om op grote schaal het broeikaseffect te bestrijden. Om een afweging te kunnen maken, hebben ze op een aantal vragen nog antwoorden nodig. Ze sturen een e-mail naar de onderzoekers, waarin ze enkele vragen stellen over het proces.

- 18 Schrijf twee vragen op die de studenten in een dergelijke e-mail aan de onderzoekers kunnen stellen:
  - één over een scheikundig en/of technologisch aspect;
  - één over een toxicologisch en/of duurzaamheidsaspect.

## Vlamvertragers in zeezoogdieren

1,2,5,6,9,10-hexabroomcyclododecaan, verder in de opgave HBCD genoemd, is een veelgebruikte vlamvertrager. Als aan producten HBCD is toegevoegd, wordt voorkomen dat producten snel vlam vatten en wordt de verspreiding van vuur vertraagd. Van HBCD bestaan veel verschillende stereo-isomeren. Een mengsel van drie van deze stereo-isomeren, alfa-, bèta- en gamma-HBCD genoemd, wordt toegepast als vlamvertrager.

Hieronder is de structuurformule van HBCD schematisch weergegeven.



Bij de synthese van HBCD vindt een reactie plaats tussen een onverzadigde cyclische koolwaterstofverbinding X en broom in de molverhouding 1 : 3.

Als HBCD in oppervlaktewater terechtkomt, wordt de stof opgenomen door organismen zoals vissen en door visetende zoogdieren. Omdat HBCD sterk hydrofoob is, hoopt de stof zich op in het vetweefsel van deze dieren. Al bij een geringe vervuiling van het water met HBCD ontstaat zo een veel hogere concentratie HBCD in de vetweefsels van zeezoogdieren.

Recent is aangetoond dat het HBCD een schadelijk effect heeft op het immuunsysteem en de voortplanting van zeezoogdieren.

De HBCD-samenstelling, die door de industrie gebruikt wordt, bestaat voor ongeveer 12 massa% uit alfa-HBCD, voor 8 massa% uit bèta-HBCD en voor 78 massa% uit gamma-HBCD. Deze samenstelling vindt men ook terug in het oppervlaktewater. Zeer verrassend blijkt dat de HBCD-samenstelling in het vetweefsel van zeezoogdieren voor ongeveer 90 massa% uit alfa-HBCD bestaat en voor de rest uit bèta-HBCD en gamma-HBCD.

Voor het relatief veel grotere aandeel van alfa-HBCD in zeezoogdieren in vergelijking met het aandeel alfa-HBCD in het oppervlaktewater kunnen verschillende hypotheses worden opgesteld. Hieronder staan twee van deze hypotheses.

- 1 Het gamma-HBCD wordt in de lever van de zeezoogdieren via een isomerisatiereactie omgezet in alfa-HBCD.
- 2 Alfa-HBCD kan niet door de lever van de zeezoogdieren worden afgebroken en gamma-HBCD wel.

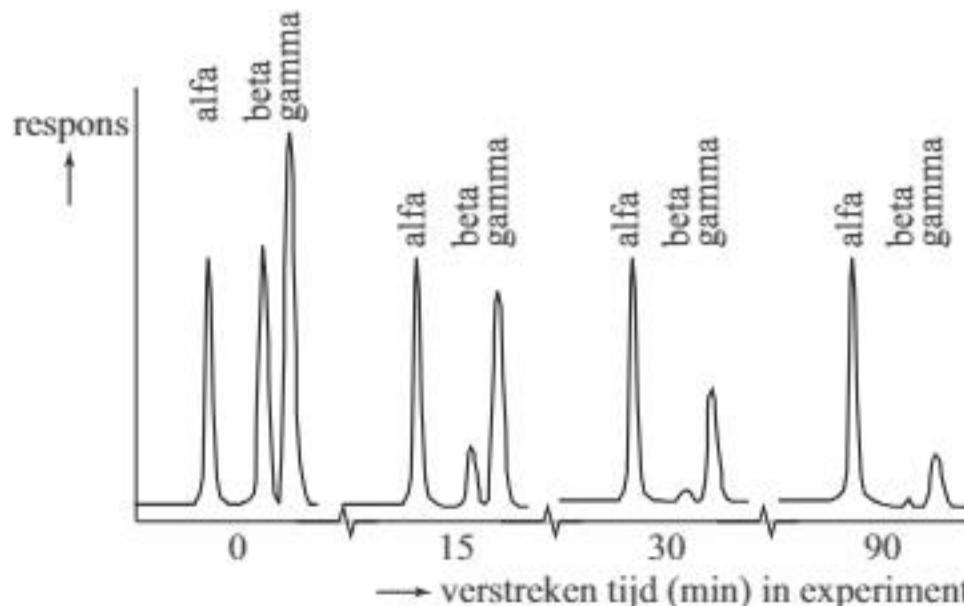
In een experiment werden geïsoleerde levercellen van proefdieren blootgesteld aan een oplossing van alfa-, bèta- en gamma-HBCD.

Vervolgens werd op vier tijdstippen een monster genomen van het mengsel van de cellen en HBCD. Na het openbreken van de cellen werd met chromatografie bepaald wat de samenstelling van het mengsel van HBCD-isomeren is. Omdat de monsters vele stoffen bevatten, is door de onderzoekers voorafgaand aan het experiment een bepaling uitgevoerd met behulp van chromatografie. Uit de resultaten hiervan konden zij afleiden welke piek in de chromatogrammen van de monsters overeenkomt met alfa-, bèta- of gamma-HBCD.

- 19** Leg uit welk experiment met behulp van chromatografie de onderzoekers hebben uitgevoerd. Geef aan welk resultaat / welke resultaten ze hebben gebruikt om vast te stellen welke piek afkomstig is van alfa-, bèta- of gamma-HBCD in de chromatogrammen van de monsters.

In figuur 1 zijn de chromatogrammen van de vier monsters uit het experiment in één figuur weergegeven. Op de y-as staat de respons van de detector. Dit is hier een maat voor de hoeveelheid van de betreffende stof.

**figuur 1**



- 20** Leg voor beide hypotheses uit of de hypothese in overeenstemming is met de resultaten van deze experimenten.

Na afloop van het experiment is uit de levercellen een stof M geïsoleerd.

Stof M is door de levercellen gevormd uit HBCD. Het massaspectrum van de stof M is in figuur 2 weergegeven. Met de gebruikte techniek worden uitsluitend negatieve fragmenten gevormd.

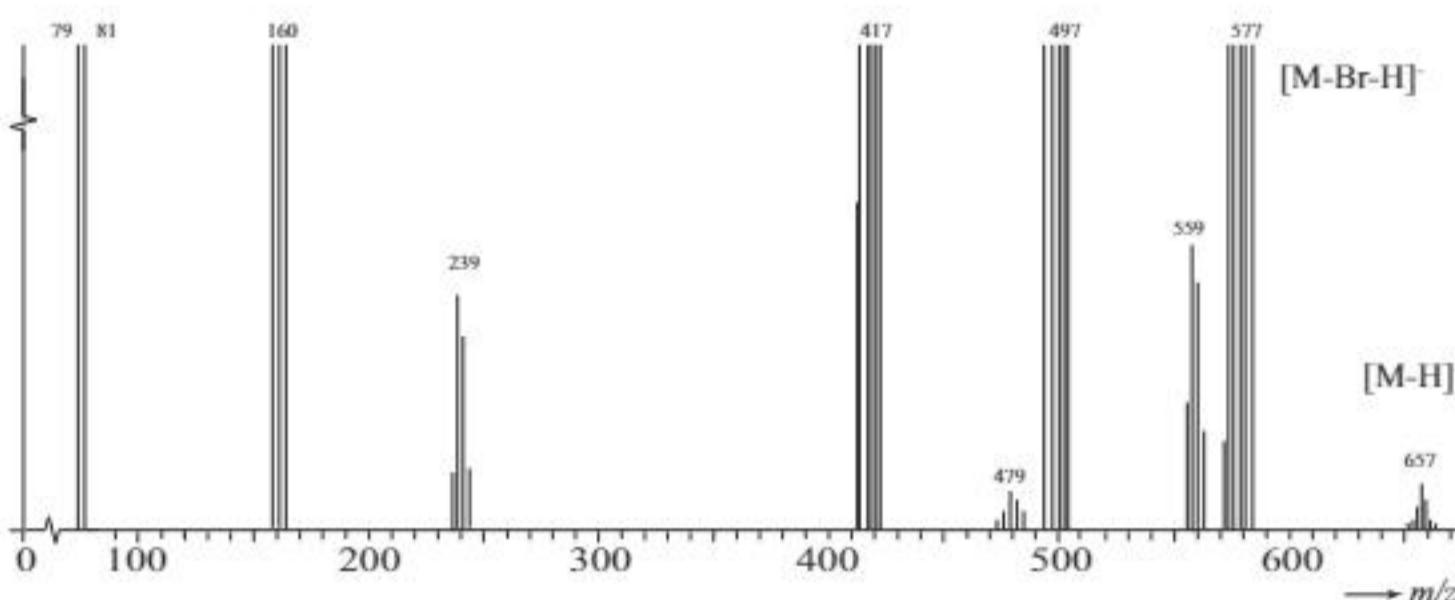
Boven een aantal pieken staat genoteerd aan welk fragmentie de piek wordt toegeschreven. Hierbij staat bijvoorbeeld  $[M-H]^-$  voor het negatief geladen fragmentie waarbij aan het molecuul van de geïsoleerde stof M één H-atoom ontbreekt.

Om kleine pieken zichtbaar te maken, is het spectrum sterk uitvergroot.

Hierdoor ontbreekt de schaalverdeling op de y-as en zijn er geen verschillen in hoogte te zien bij de hogere pieken.

Waar bundels van pieken voorkomen is de *m/z*-waarde van de middelste piek aangegeven.

**figuur 2**



Rond *m/z* = 160 worden drie pieken waargenomen. Deze pieken verschillen in hoogte. De pieken zijn afkomstig van ionen  $Br_2^-$ .

- 21** Leg uit dat rond *m/z* = 160 drie pieken aanwezig zijn, afkomstig van ionen  $Br_2^-$  en leg uit welke van de drie pieken de hoogste is.  
Gebruik Binas-tabel 25.

Op basis van het bovenstaande massaspectrum en de massa van een molecuul HBCD ( $C_{12}H_{18}Br_6$ ) is na te gaan wat de molecuulformule is van de stof M. Van dit reactieproduct is ook bepaald dat de ringstructuur van HBCD behouden is en dat deze stof iets beter oplost in water dan HBCD.

- 22** Leg uit mede met behulp van figuur 2 wat de molecuulformule is van de stof waarin HBCD is omgezet.
- 23** Geef aan welke karakteristieke groep mogelijk gevormd is in stof M.  
Licht je antwoord toe.

## Verkleuring van oude verf

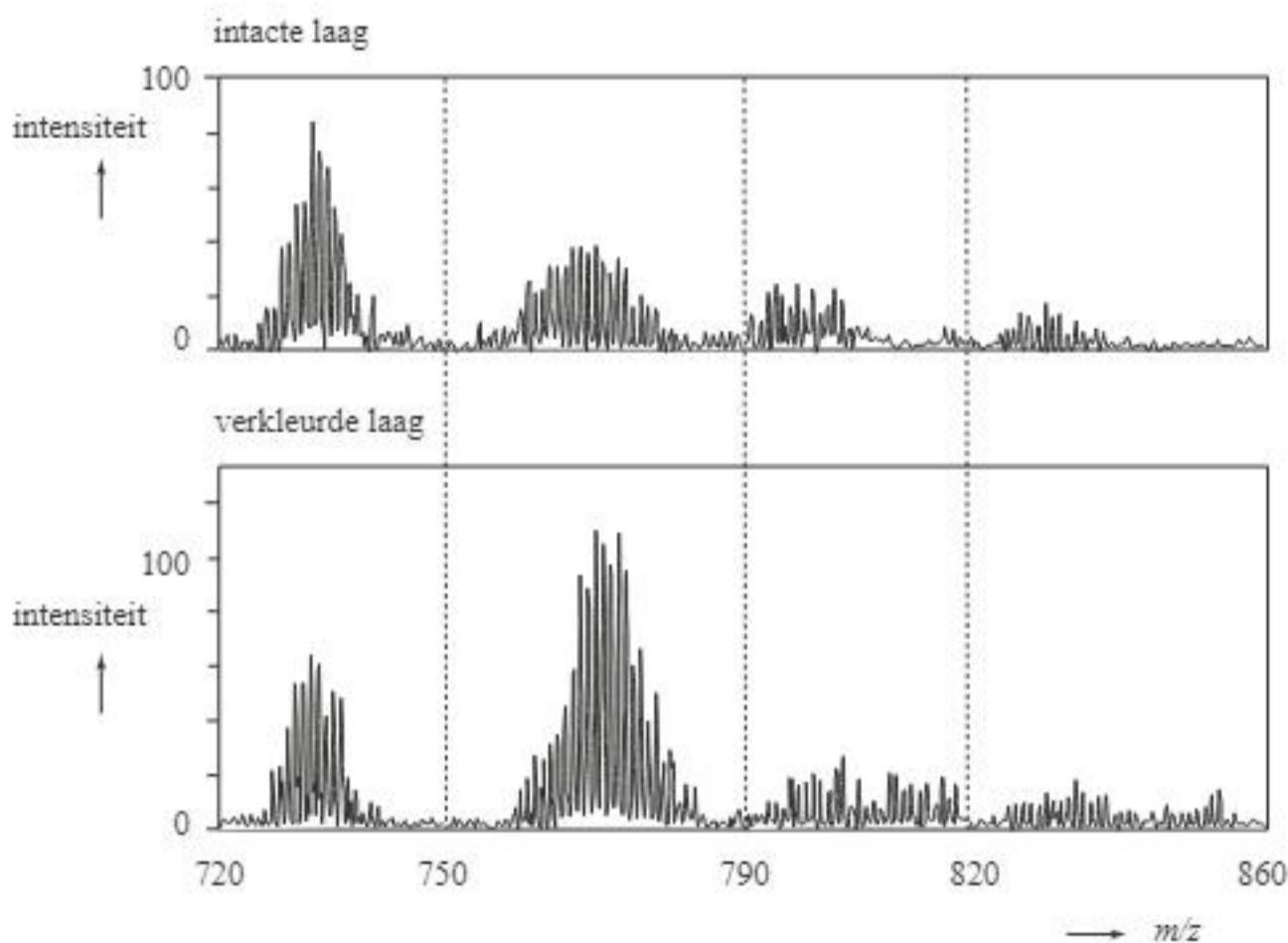
Verf in oude schilderijen kan onder invloed van licht langzaam verkleuren. Scheikundige Katrien Keune deed onderzoek aan verkleuring van vermiljoenrood, dat hoofdzakelijk uit  $HgS$  bestaat. Een belangrijke stap in het ontstaan van zwarte en witte vlekken in de rode partijen in oude schilderijen is de vorming van corderoit met formule  $Hg_3S_2Cl_2$ .

Het ontstaan van corderoit heeft Keune afgeleid uit massaspectra.

In de figuur hieronder zijn twee massaspectra afgebeeld die bij dit onderzoek zijn verkregen. Het ene spectrum is verkregen uit een monster van een verflaag waarin het vermiljoen niet was aangetast (de intacte laag).

Het andere spectrum was van een monster van een verflaag waarin het vermiljoen was aangetast (de verkleurde laag).

In de gebruikte massaspectrometer worden uitsluitend negatieve ionen gedetecteerd. De meeste van die negatieve ionen zijn ontstaan door binding van één chloride-ion aan een neutraal deeltje.



De pieken horen bij negatieve ionen die elk bestaan uit kwik-, zwavel- en chloor-deeltjes. Opvallend aan de spectra zijn de groepen ('bundels') van pieken rondom bepaalde  $m/z$ -waarden. Elke afzonderlijke piekenbundel moet worden toegeschreven aan een ion met één bepaalde formule. Zo moeten alle pieken bij de  $m/z$ -waarden tussen 720 en 750 worden toegeschreven aan samengestelde ionen met formule  $Hg_3S_2Cl^-$ .

- 24** Geef de isotopensamenstelling van  $Hg_3S_2Cl^-$  die een piek oplevert bij  $m/z = 720$ . Ga ervan uit dat de volgende isotopen van chloor, zwavel en kwik in de natuur voorkomen:  
 chloor:  $^{35}Cl$ ,  $^{37}Cl$ ;  
 zwavel:  $^{32}S$ ,  $^{33}S$ ,  $^{34}S$ ;  
 kwik:  $^{196}Hg$ ,  $^{198}Hg$ ,  $^{199}Hg$ ,  $^{200}Hg$ ,  $^{201}Hg$ ,  $^{202}Hg$ ,  $^{204}Hg$ .

Uit vergelijking van het spectrum van de verkleurde laag met het spectrum van de intacte laag heeft Keune afgeleid dat in de verkleurde laag meer corderoit ( $Hg_3S_2Cl_2$ ) voorkomt dan in de intacte laag.

- 25 Leg uit dat met behulp van de figuur en een ander gegeven uit de voorgaande tekst deze conclusie kan worden getrokken.

Uit het onderzoek blijkt dat chloride een belangrijke rol speelt bij het verkleuringsproces. Uit eerder onderzoek was gebleken, dat een chloridegehalte van 0,05 massaprocent voldoende is om het verkleuringsproces op gang te brengen. Een dergelijk laag massapercentage kan de relatief grote hoeveelheden kwikchloride die in de verkleurde delen van het schilderij worden aangetroffen, niet verklaren.

Keune vermoedt dat chloride uit de grondverf van het schilderij betrokken is bij het verkleuringsproces.

Een niet aangetast verfmonster van 100,0 µg verf bevat 0,050 massaprocent  $Cl^-$ . Het chloride is aanwezig in de vorm van terlinguaïet ( $Hg_2OCl$ ).

- 26 Bereken hoeveel µg  $Cl^-$  en hoeveel µg HgS dit verfmonster bevat. Neem aan dat het verfmonster uitsluitend bestaat uit HgS en  $Hg_2OCl$ .
- 27 Bereken hoeveel procent van het HgS in het verfmonster maximaal kan worden omgezet tot  $HgCl_2$  met behulp van de hoeveelheid  $Cl^-$  die in het verfmonster aanwezig is.

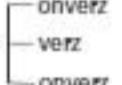
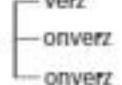
## Hints bij hoofdstuk 8

- 1 Er zijn hier twee factoren die voor de loopsnelheid van belang zijn (zie opgave).
- 2 Vooral de verandering van de vlekken 2 en 3 is van belang.
- 3 Een blanco-bepaling verschilt maar in één opzicht van de andere bepaling(en).
- 4 Bereken eerst hoeveel mmol oliezuur in 5,542 g olijfolie voorkomt.
- 5 Algen bezitten bladgroen.
- 6 Zie regels 20 - 25.
- 7 Zie regels 11 en 12.
- 8 Zie Binas 45A.
- 9 De stoffen moeten wel intact blijven.
- 10 Je eindigt met  $MgSO_4$  i.p.v.  $MgSO_3$ .
- 11 Gebruik de molverhouding in de totaalreactie tussen olivijn en  $CO_2$ .
- 12 Welk deel van het molecuul splitst zich af? Gebruik afgeronde molecuulmassa's.
- 13 De toevoeging aan MTBE-d3 is bekend in (milli)gram. Reken om naar mol met nauwkeurige atoommassa's.
- 14 Er zijn variaties op de manieren 1 en 3 mogelijk.
- 15 Uit welke deeltjes is de stof die in figuur 1 is weergegeven, opgebouwd en hoeveel?
- 16 Hoeveel zwaarder wordt het deeltje  $Q^{4+}$ ?
- 17 Zoek naar pieken in het massaspectrum die zouden kunnen wijzen op gebonden  $O_2$ -moleculen.
- 18 Hoe herken je uit een groot aantal pieken, de pieken afkomstig van HBCD-isomeren?
- 19 De toename of afname van de pieken moet overeenstemmen met de hypothese.
- 20 Hoeveel natuurlijke isotopen heeft broom en hoe kunnen die combineren?
- 21 Vergelijk de  $m/z$ -waarde van het molecuulion (zie massaspectrum) met die van HBCD.
- 22 Maak gebruik van het antwoord op vraag 22 en een gegeven uit de tekst.
- 23 De totale massa van alle zeven isotopen samen moet 720 u zijn.
- 24 Welk deeltje ontstaat als corderoit geïoniseerd wordt in de massaspectrometer?
- 25 Bereken uit het aantal  $\mu g Cl^-$  hoeveel  $\mu g Hg_2OCl$  100  $\mu g$  verfmonster bevat.
- 26 Als alle  $Cl^-$  wordt omgezet in  $HgCl_2$ , hoeveel  $HgS$  is daarvoor dan nodig?

## Uitwerkingen bij hoofdstuk 8

### Transvetzuren

- 1** De bedoelde esters bevatten twee onverzadigde vetzuurresten en zullen dus sneller zijn dan esters met drie onverzadigde vetzuurresten (eerstgenoemde factor).  
De te verwachten vlek ligt dus hoger dan vlek 5.  
Volgens de tweede genoemde factor is de positie van het onverzadigde vetzuur van belang. Als dat in het midden is gekoppeld, loopt de ester sneller dan wanneer de verestering heeft plaatsgevonden aan een eindstandig C-atoom.

Esters van het type  zullen dus langzamer zijn dan die van het type 

De bedoelde glyceryltri-esters zullen daarom onder vlek 3 terechtkomen.

Conclusie: De vlek ligt tussen de vlekken 3 en 5; het is dus vlek 4.

- 2 Mogelijke antwoorden:**

- Verzadiging van de fracties in de vlekken 2 en 3 zou tenminste moeten leiden tot toename van vlek 1 (bij vlek 2 kan zowel toename als afname optreden).  
Dat wordt niet gevonden. De twee nieuwe 'snelle' fracties in chromatogram 3 zullen dus afkomstig zijn van stoffen met trans-configuraties, afkomstig van 'langzamere' stoffen met cis-configuraties in de vlekken 2 en 3.
- Er zijn in chromatogram 3 twee vlekken te vinden die niet in de twee andere voorkomen. Deze zijn niet afkomstig van vetharding van de esters die de vlekken 6, 7 en 8 veroorzaakt hebben. Immers, vlek 5 komt niet voor in chromatogram 3. Hetgeen er op wijst dat de gedeeltelijke vetharding ten minste één verzadigde vetzuurrest per estermolecuul heeft opgeleverd. De vlekken hiervan zijn alle in het chromatogram aanwezig.

De twee nieuwe vlekken zijn dus alleen te verklaren, als de stoffen met cis-configuraties (in de vlekken 2 en 3) zijn overgegaan in stoffen met trans-configuraties.

### Olijfolie

- 3** De blanco-bepaling is gelijk aan de beschreven titratie, maar dan zonder olijfolie. Je mengt dus 25 mL propanon met 2 mL chloroform en titreert dat mengsel met dezelfde 0,102 molair oplossing van KOH in propaan-2-ol.
- 4** Gebruikt aan  $\text{OH}^-$ :  $2,572 \text{ mL} \cdot 0,102 \text{ mmol mL}^{-1} = 0,2623 \text{ mmol}$   
Hiermee zijn 0,2623 mmol vrije vetzuren getitreerd. Berekend alsof dit alleen oliezuur is, geldt:  $0,2623 \text{ mmol} \cdot 282,5 \text{ mg mmol}^{-1} = 74,10 \text{ mg oliezuur}$  (in 5,542 g olijfolie)  
In 100 g olijfolie zit dan:  $\frac{100 \text{ g}}{5,542 \text{ g}} \cdot 74,10 \text{ mg} = 1337 \text{ mg} = 1,34 \text{ g}$  (3 significante cijfers)  
Dit is meer dan 1,00 g (per 100 g olijfolie), dus de olijfolie voldoet niet aan de genoemde kwaliteitseis voor 'extra vergine'.

### Versnelde vertering

- 5** naam van het proces: fotosynthese of koolzuurassimilatie  
namen van de eindproducten: glucose en zuurstof  
*De reactievergelijking van de fotosynthese:  $6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$*

**6** De bekalking van landbouwgronden vindt plaats om verzuring (t.g.v. zure depositie) tegen te gaan.

**7** Voor 'kalk' komen in aanmerking: ongebluste kalk ( $\text{CaO}$ ), gebluste kalk ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) en kalksteen ( $\text{CaCO}_3$ ), zie Binas 66A.

In de regels 11 en 12 wordt aangegeven, dat de kalk *geen*  $\text{CO}_2$  vastlegt. Dat geldt alleen voor  $\text{CaCO}_3$ , want  $\text{CaO}$  en  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  kunnen wel  $\text{CO}_2$  binden.

**8**  $\text{MgCO}_3$  is niet goed, maar matig oplosbaar (Binas 45A).

**9** Voorbeelden van een te gebruiken werkplan:

- Voeg *veel* gedestilleerd water toe.
- Filtreer de silica af. *of* Centrigugeer en schenk af.
- Damp het filtraat (of de overblijvende oplossing) in.
- Droog het magnesiumcarbonaat en de silica.

**10** Bedenk dat je eindigt met  $\text{MgSO}_4$  in plaats van  $\text{MgSO}_3$ .

Je antwoord moet twee of drie reactievergelijkingen bevatten met de juiste stoffen, bv.:

- $2 \text{SO}_2 + \text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2\text{SO}_4$  (eventueel in 2 stappen via  $\text{SO}_3$ )  
 $\text{Mg}_2\text{SiO}_4 + 2 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2 \text{MgSO}_4 + \text{H}_4\text{SiO}_4$
- $\text{Mg}_2\text{SiO}_4 + 4 \text{SO}_2 + 4 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{Mg}(\text{HSO}_3)_2 + \text{H}_4\text{SiO}_4$  (zie binding  $\text{CO}_2$  in tekst)  
 $2 \text{Mg}(\text{HSO}_3)_2 \rightarrow 2 \text{MgSO}_3 + 2 \text{SO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$  (of coëfficiënten gedeeld door 2)  
 $2 \text{MgSO}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{MgSO}_4$

**11**  $320 \text{ km}^3$  olivijn moet  $0,20 \cdot 2,5 \cdot 10^{18} \text{ g} = 0,500 \cdot 10^{18} \text{ g}$   $\text{CO}_2$  binden.

Dit komt overeen met  $\frac{0,500 \cdot 10^{13}}{44,010 \text{ g mol}^{-1}} = 1,14 \cdot 10^{16} \text{ mol CO}_2$  (Binas 98).

Volgens de totaalreactie tussen olivijn en  $\text{CO}_2$  is de molverhouding  $1 : 2 \Rightarrow$  er is  $\frac{1}{2} \cdot 1,14 \cdot 10^{16} = 0,570 \cdot 10^{16} \text{ mol}$  olivijn nodig.

1 mol  $\text{Mg}_{1,85}\text{Fe}_{0,15}\text{SiO}_4$  heeft een massa van

$1,85 \cdot 24,31 + 0,15 \cdot 55,85 + 28,09 + 4 \cdot 16,00 = 145,44 \text{ g}$  (Binas 99).

Dus  $0,570 \cdot 10^{16} \text{ mol}$  olivijn heeft een massa van  $0,570 \cdot 10^{16} \cdot 145,44 \text{ g} = 8,29 \cdot 10^{17} \text{ g}$

en een volume van  $\frac{8,29 \cdot 10^{17} \text{ g}}{2,5 \text{ g cm}^{-3}} = 3,3 \cdot 10^{17} \text{ cm}^3 = 3,3 \cdot 10^{11} \text{ m}^3 = 3,3 \cdot 10^2 \text{ km}^3$ .

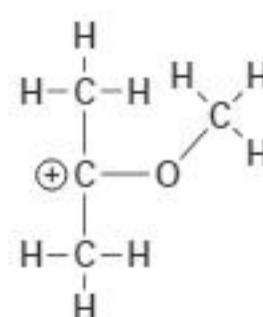
Dit is inderdaad ongeveer de  $320 \text{ km}^3$  die in de opgave (zie tekst) is genoemd.

### MTBE in grond- en oppervlaktewater

**12** De massa van een MTBE-molecuul ( $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$ ) is 88 u (afgerond). Bij het fragmentie met  $m/z$ -waarde 73 is dus een methylgroep ( $m = 15 \text{ u}$ ) afgesplitst.

Dit is een methylgroep uit de tertiaire butylgroep, want anders zou dezelfde piek (91 u – 18 u) ook voorkomen in het spectrum van MTBE-d3.

structuurformule van ( $m/z = 73$ ):



De grote piek in het massaspectrum van MTBE-d3 wordt eveneens door afsplitsing van een methylgroep zonder deuterium veroorzaakt:  $91 \text{ u} - 15 \text{ u} = 76 \text{ u}$ .

- 13** 1 mmol MTBE ( $C_5H_{12}O$ ) heeft een massa van  $5 \cdot 12,01 + 12 \cdot 1,008 + 16,00 = 88,15$  mg (Binas 99). 1 mmol MTBE-d3 ( $C_5H_9D_3O$ ) heeft een massa van  $5 \cdot 12,01 + 9 \cdot 1,008 + 3 \cdot 2,014 + 16,00 = 91,16$  mg (Binas 99 en 25).  
 $10 \mu\text{L}$  ( $1,0 \cdot 10^{-5} \text{ L}$ ) van de oplossing met MTBE-d3 bevat  $1,0 \cdot 10^{-5} \text{ L} \cdot 1,00 \text{ mg L}^{-1} = 1,00 \cdot 10^{-5} \text{ mg}$ . Dit komt overeen met  $\frac{1,00 \cdot 10^{-5} \text{ mg}}{91,16 \text{ mg mmol}^{-1}} = 1,10 \cdot 10^{-7} \text{ mmol MTBE-d3}$ .

De piekverhouding met MTBE is  $\frac{1000}{35,0}$ . Voor de molverhouding moet gecorrigeerd worden met de verhouding uit de ijkoplossing, want MTBE blijkt daarin een iets grotere piekhoogte te geven dan MTBE-d3.

De molverhouding MTBE : MTBE-d3 bedraagt dus  $\frac{992}{35,0}$ .

100,0 mL monster bevat dus  $\frac{992}{35,0} \cdot 1,10 \cdot 10^{-7} \text{ mmol} = 3,12 \cdot 10^{-6} \text{ mmol MBTE}$ , overeenkomend met  $3,12 \cdot 10^{-6} \text{ mmol} \cdot 88,15 \text{ mg mmol}^{-1} = 2,75 \cdot 10^{-4} \text{ mg} = 2,75 \cdot 10^{-7} \text{ g}$ . Per liter bevat het grondwater 10x zoveel, dus  $2,8 \cdot 10^{-6} \text{ g MTBE}$  (2 significante cijfers).

- 14** *Mogelijke antwoorden:*

- De opdrachtgever kan één van de monsters verdunnen tot het dubbele volume. De MTBE-bepaling moet dan de helft geven van die van het onverdunde monster.
- De opdrachtgever kan twee dezelfde monsters nemen en aan een daarvan een bekende hoeveelheid MTBE toevoegen. De MTBE-bepaling van het tweede monster moet dan zo veel hoger uitkomen als de extra hoeveelheid toegevoegde MTBE.
- De opdrachtgever kan twee monsters in gelijke hoeveelheden mengen. De MTBE-bepaling moet dan uitkomen op het gemiddelde van de twee monsters.

### Selectieve opname koolstofdioxide

- 15** De  $Q^{4+}$ -deeltjes zijn ontstaan uit 2 deeltjes  $P^{2+}$  en 4  $CO_2$ -moleculen (zie figuur 1 in de opgave). Gegeven is dat de massa van een  $P^{2+}$ -deeltje 670 u is. De massa van een molecuul  $CO_2$  is 44,010 u (Binas 98).  
 $Q^{4+}$  heeft dus een massa van  $2 \cdot 670 + 4 \cdot 44,010 = 1516$  u.  
Doordat Q de lading 4+ heeft, zal in de massaspectrometer een piek worden gevonden van  $m/z = \frac{1516}{4} = 379$ .

- 16** Als elk  $CO_2$ -molecuul C-13 bevat in plaats van C-12 zal  $Q^{4+}$  een massa krijgen van 1520 u. De  $m/z$ -waarde van  $Q^{4+}$  zal dan  $\frac{1520}{4} = 380$  bedragen.

- 17** *Experiment met massaspectrometer:*

- Laat een oplossing van  $P^{2+}$  staan in contact met een gasmengsel van (bijvoorbeeld) 50%  $O_2$  en 50%  $CO_2$ .
- Onderzoek de ontstane kristallen in een massaspectrometer. Kijk niet alleen naar de piek bij 379, maar ook naar mogelijke producten waarin twee of vier  $O_2$ -moleculen zijn opgenomen (met  $m/z = 351$  of  $m/z = 367$ ).
- Als de laatstgenoemde pieken (die wijzen op gebonden zuurstof) in het massaspectrum ontbreken, mag je concluderen dat bij voorkeur  $CO_2$  als oxidator optreedt.

*Experiment met concentratiemeting:*

- Laat een oplossing van  $P^{2+}$  staan in contact met een gasmengsel van (bijvoorbeeld) 50%  $O_2$  en 50%  $CO_2$ .
- Onderzoek na enige tijd of de concentraties van  $O_2$  en  $CO_2$  zijn veranderd.
- Is  $[CO_2]$  verminderd en  $[O_2]$  niet, dan heeft  $CO_2$  gereageerd (en  $O_2$  niet).

*Het feit dat zelfs in lucht (dat 18% zuurstof en nauwelijks  $CO_2$  bevat)  $CO_2$  als oxidator optreedt, is verbazingwekkend. Zuurstof is namelijk een veel sterkere oxidator dan koolstofdioxide. Kennelijk is een ruimtelijke structuur zoals in figuur 1 niet mogelijk met  $O_2$ .*

**18 Mogelijke vragen over scheikundige of technologische aspecten:**

- Kan de reactie tussen  $P^{2+}$  en  $CO_2$  eenvoudig worden versneld bv. door bij hogere druk of hogere temperatuur te werken?
- Is er al onderzoek gedaan naar het opschalen van dit proces?
- Kunnen i.p.v. lithiumionen ook calciumionen worden gebruikt bij de elektrolyse?

*Mogelijke vragen over toxicologische of duurzaamheidsaspecten:*

- Hoeveel energie kost de elektrolyse om de koperverbinding te regenereren?
- Zijn oxalaationen nuttig toepasbaar?

*Vragen over de kopercomplexen (bv. over giftigheid) zijn geen nuttige vragen, omdat het om relatief kleine hoeveelheden gaat. Het beginproduct wordt immers weer teruggevormd.*

**Vlamvertragers in zeezoogdieren****19 Voorbeeld van een juist antwoord is:**

De onderzoekers maken twee chromatogrammen: Eerst wordt het industriële mengsel van alfa-, bèta- en gamma-HBCD ingespoten waarvan de samenstelling bekend is (zie opgave); daarna wordt het monster afkomstig van de levercellen ingespoten.

De retentietijd (verblijftijd) van een component uit een mengsel is onder gelijke omstandigheden een constante. Door gebruik te maken van de vooraf bepaalde retentietijden van de HBCD-isomeren zijn hiervan ook de pieken in het monster uit de levercellen bekend.

*Er kunnen ook drie chromatogrammen van de drie zuivere HBCD-isomeren worden opgenomen. Deze isomeren moeten dan wel (apart) beschikbaar zijn.*

**20 Hypothese 1 wordt niet ondersteund door de resultaten, want dan zou de alfa-piek moeten toenemen als de gamma-piek afneemt.**

Hypothese 2 is wel in overeenstemming met de resultaten, want terwijl de gamma- en bèta-pieken afnemen, blijft de alfa-piek even groot.

*Blijkbaar bestaat er geen enzym waarmee alfa-HBCD kan worden afgebroken of omgezet, terwijl dat met de nauw verwante isomeren wel mogelijk is. Dit bewijst weer dat het slot-sleutelprincipe – de stof moet precies passen in de actieve holte van het enzym eiwit – heel selectief kan zijn.*

**21 Van broom zijn twee stabiele isotopen bekend, die beide voor ongeveer 50% in de natuur voorkomen,  $^{79}Br$  en  $^{81}Br$  (Binas 25). Een  $Br_2$ -molecuul kan dus bestaan uit twee lichte isotopen, twee zware of uit een licht en een zwaar isotoop.**

De kans dat uit een 50%-50%-mengsel de twee verschillende isotopen elkaar treffen, is 2 maal zo groot als een ontmoeting tussen twee gelijke isotopen.

De piek met  $m/z = 160$  (van  $79 u + 81 u$ ) zal dus de grootste zijn.

- 22** De massa van een molecuul  $C_{12}H_{18}Br_6$  is  $12 \cdot 12,01 + 18 \cdot 1,008 + 6 \cdot 79,90 = 641,66$  u.  
 De piek bij  $m/z = 657$  is afkomstig van een molecuul van het reactieproduct minus een afgesplitst H-atoom.  
 De molecuulmassa van het reactieproduct is dus (afgerond) 658 u.  
 De molecuulmassa van M ligt dus  $658 - 641,66 = 16$  u hoger dan die van HBCD.  
 Dit is gelijk aan de atoommassa van O  $\Rightarrow$  de molecuulformule van M is  $C_{12}H_{18}Br_6O$ .
- 23** Een O-atoom kan in HBCD zijn ingebouwd in een C-H binding waardoor een C-OH groep ontstaat. Dat zou ook verklaren waarom de stof M beter in water oplost (door waterstofbruggen) dan HBCD dat doet.

### Verkleuring van oude verf

- 24**  $Hg_3S_3Cl^-$  bevat drie atomen  $^{196}Hg$ , twee atomen  $^{32}S$ , één atoom  $^{33}S$  en één atoom  $^{35}Cl$ .  
 $m/z = 720$  is één van de laagste waarden binnen het gebied 720-750. Het ligt dus voor de hand om eerst te rekenen met de lichtste isotopen.
- 25** In de opgave staat dat de gedetecteerde negatieve ionen ontstaan zijn door de opname van een chloride-ion. Als corderoit ( $Hg_3S_2Cl_2$ ) een chloride-ion opneemt dan ontstaat het  $Hg_3S_2Cl_3^-$ -ion. De ionmassa hiervan is 757 u. In het spectrum van de verkleurde laag komen veel meer pieken rond de 757 u voor dan in het spectrum van intacte laag. Corderoit komt dus meer voor in de verkleurde laag.
- 26**  $100,0 \mu\text{g}$  verf met  $0,050$  massaprocent  $Cl^-$  bevat  $100,0 \cdot \frac{0,050}{100} = 0,050 \mu\text{g} Cl^-$ .  
 De massa van  $1 \mu\text{mol}$  chloorionen is  $35,45 \mu\text{g}$  (Binas 99).  
 $0,050 \mu\text{g} Cl^-$  komt dus overeen met  $\frac{0,050 \mu\text{g}}{35,45 \mu\text{g} \mu\text{mol}^{-1}} = 1,41 \cdot 10^{-3} \mu\text{mol}$ .  
 Dit komt overeen met  $1,41 \cdot 10^{-3} \mu\text{mol} Hg_2OCl$ .  
 $1 \mu\text{mol} Hg_2OCl$  heeft een massa van  $2 \cdot 200,6 + 16,00 + 35,45 = 452,7 \mu\text{g}$  (Binas 99).  
 $1,41 \cdot 10^{-3} \mu\text{mol} Hg_2OCl$  heeft een massa van  $1,41 \cdot 10^{-3} \cdot 452,7 = 0,639 \mu\text{g}$ .  
 De  $100,0 \mu\text{g}$  verf bestaat alleen uit  $HgS$  en  $Hg_2OCl$ . Er is dus  $100,0 - 0,639 = 99,4 \mu\text{g}$   $HgS$  aanwezig in het verfmonster (antwoord in 1 decimaal).
- 27** Er is  $1,41 \cdot 10^{-3} \mu\text{mol} Cl^-$  aanwezig in het verfmonster (uitwerking 26).  
 Om één mol  $HgCl_2$  te vormen zijn twee chloride-ionen nodig.  
 Met  $1,41 \cdot 10^{-3} \mu\text{mol} Cl^-$  kan dus  $\frac{1,41 \cdot 10^{-3} \mu\text{mol}}{2} = 7,05 \cdot 10^{-4} \mu\text{mol} HgCl_2$  gevormd worden.  
 Hiervoor is ook  $7,05 \cdot 10^{-4} \mu\text{mol} HgS$  nodig.  
 $1 \mu\text{mol} HgS$  heeft een massa van  $232,66 \mu\text{g}$  (Binas 98).  
 $7,05 \cdot 10^{-4} \mu\text{mol} HgS$  heeft een massa van  $7,05 \cdot 10^{-4} \cdot 232,66 = 0,164 \mu\text{g}$ .  
 Er is  $99,4 \mu\text{g} HgS$  aanwezig (uitwerking 26). Er kan dus  $\frac{0,164}{99,4} \cdot 100\% = 0,17\%$  van het  $HgS$  omgezet worden (2 significante cijfers).

Vind je dit onderwerp lastig? Bekijk een uitlegfilmpje op [mijnexamenbundel.nl](http://mijnexamenbundel.nl) of oefen met extra examenopgaven.





## Deel 2a

# Examens met uitwerkingen

Oefenen met hele examens, met hints om je op weg te helpen en uitleg bij de goede antwoorden.





## Examen 2021-I

Tenzij anders vermeld, is er sprake van standaardomstandigheden:  
 $T = 298\text{ K}$  en  $p = p_0$ .

### 'Groene' verf?

Om textiel te verven, worden pigmenten gebruikt die slecht in water oplossen. Deze pigmenten zijn apolaire vaste stoffen die zich tijdens het verven hechten aan het oppervlak van de textielvezels. Met een vezel wordt in deze opgave een bundel polymeerketens bedoeld.

Omdat het verven plaatsvindt in water, worden emulgatoren gebruikt om de pigmenten te mengen met het water. Na afloop van het verven komen deze milieubelastende emulgatoren in het afvalwater terecht.

Het Nederlandse bedrijf DyeCoo heeft een verftechniek ontwikkeld waarbij geen afvalwater vrijkomt. In het proces wordt superkritisch  $\text{CO}_2$  gebruikt als oplosmiddel. Superkritisch  $\text{CO}_2$  is  $\text{CO}_2$  dat bij  $T = 120\text{ }^\circ\text{C}$  is samengeperst tot  $p = 300\text{ bar}$ . In deze opgave mag je aannemen dat het  $\text{CO}_2$  zich dan als een vloeistof gedraagt.

Het superkritisch  $\text{CO}_2$  is ook apolair, zodat de pigmenten in superkritisch  $\text{CO}_2$  oplossen zonder gebruik van emulgatoren.

- 2p 1 Geef de structuurformule van  $\text{CO}_2$  en leg daarmee uit dat  $\text{CO}_2$  een apolaire stof is.

De verftechniek van DyeCoo is vooral geschikt voor het verven van polyester kledingmateriaal. Als het  $\text{CO}_2$  in contact komt met polyester, zwollen de vezels op. Dit komt doordat de  $\text{CO}_2$ -moleculen tussen de apolaire polymeerketens dringen. Een gevolg van het opzwollen is dat een sterkere kleuring van polyester kan worden verkregen dan met de op water gebaseerde verfmethode.

- 1p 2 Geef aan waarom het opzwollen van de polyestervezels tot gevolg heeft dat een sterkere kleuring van het polyester kan worden verkregen.

Wanneer het polyester enige tijd is behandeld met de pigment-oplossing, wordt het polyester gescheiden van de pigment-oplossing.

Het mengsel van superkritisch  $\text{CO}_2$  en het overgebleven pigment wordt gescheiden, zodat het pigment kan worden hergebruikt.

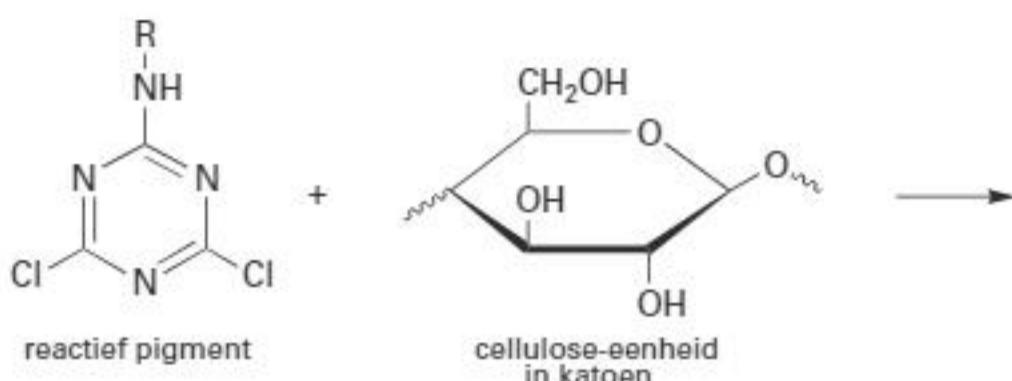
- 2p 3 Leg uit hoe men het superkritisch  $\text{CO}_2$  van het overgebleven pigment kan scheiden.

Het proces van DyeCoo is met een aantal aanpassingen ook te gebruiken voor katoen. Het katoen wordt dan voorbehandeld met een oplossing van methanol in superkritisch  $\text{CO}_2$ . Hierdoor zwelt het katoen op. Daarna wordt een stroom superkritisch  $\text{CO}_2$  met een zogeheten reactief pigment doorgeleid.

Een reactief pigment wordt gevormd door een geschikt pigment te laten reageren met dichloortriazine. Het gevormde reactieve pigment reageert vervolgens met het katoen. Deze reactie is in de bijlage bij vraag 4 schematisch en onvolledig weergegeven. De reactie van het reactieve pigment met katoen is een substitutiereactie. Het O-atoom van een OH-groep van katoen valt als nucleofiel aan op één van de twee C-atomen waaraan een Cl-atoom is gebonden.

- 2p 4 Maak de reactievergelijking in de bijlage compleet.  
Gebruik schematische structuurformules zoals in de bijlage.

### bijlage bij vraag 4

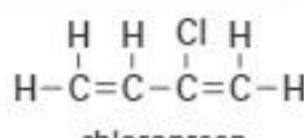


Het reactieve pigment wordt in ondermaat toegevoegd ten opzichte van de OH-groepen in het katoen. Wanneer methanol ook tijdens het verven wordt bijgemengd, blijkt dat het percentage pigmentmoleculen dat aan het katoen is gebonden, terugloopt.

- 2p 5 Leg uit dat het percentage gebonden pigmentmoleculen lager is wanneer methanol ook tijdens het verven aanwezig is in het mengsel.

## Chloropreenfabriek

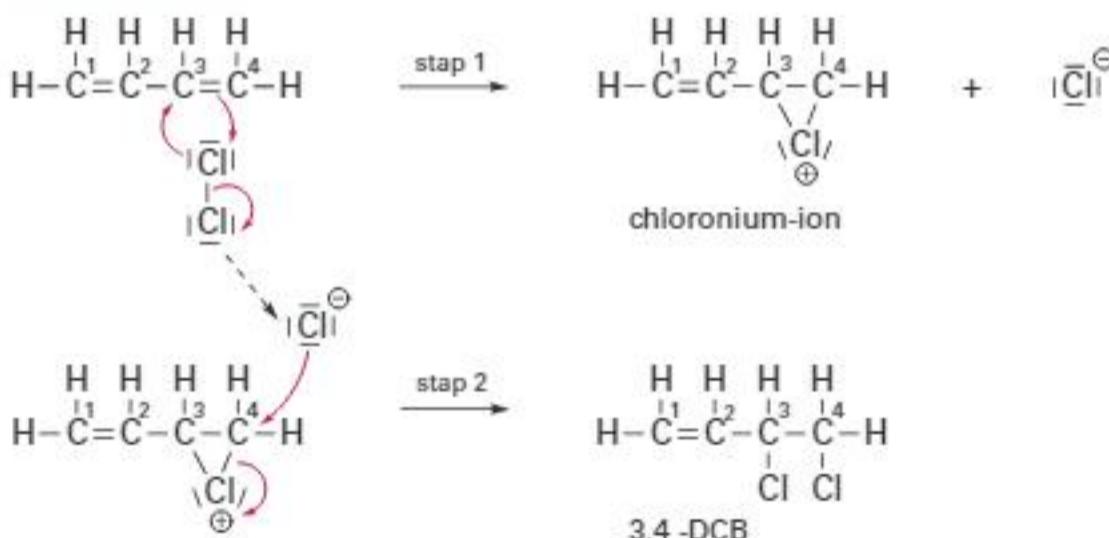
Chloropreen is de beginstof voor de productie van neopreen. Neopreen is een synthetisch rubber. De structuurformule van chloropreen is hiermaast weergegeven.



Chloropreen wordt in een aantal stappen gemaakt.

De eerste stap is de additie-reactie van buta-1,3-dieen met chloor. Daarbij ontstaat onder andere 3,4-dichloorbut-1-een (3,4-DCB). Het mechanisme voor de vorming van 3,4-DCB is weergegeven in mechanisme 1.

### **mechanisme 1**



In stap 1 van mechanisme 1 wordt een cyclisch chlorinium-ion gevormd. Van dit ion kunnen ook twee niet-cyclische structuurisomeren worden gevormd. In de bijlage bij vraag 6 is de lewisstructuur van een niet-cyclische structuurisomeer weergegeven; dit is structuurisomeer 1.

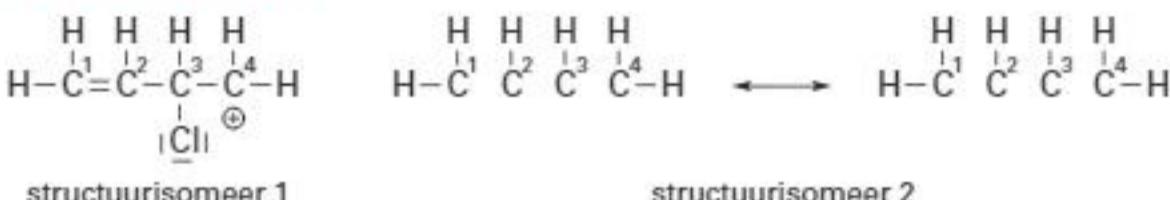
De andere niet-cyclische structuurisomeer is structuurisomeer 2. Van dit deeltje kunnen twee grensstructuren worden gegeven. Deze grensstructuren zijn in de bijlage

bij vraag 6 onvolledig weergegeven. In beide grensstructuren heeft telkens één C-atoom geen volledig octet.

Met behulp van de grensstructuren van structuurisomeer 2 kan worden verklaard dat in stap 2 behalve 3,4-DCB ook 1,4-DCB (1,4-dichloorbut-2-een) wordt gevormd.

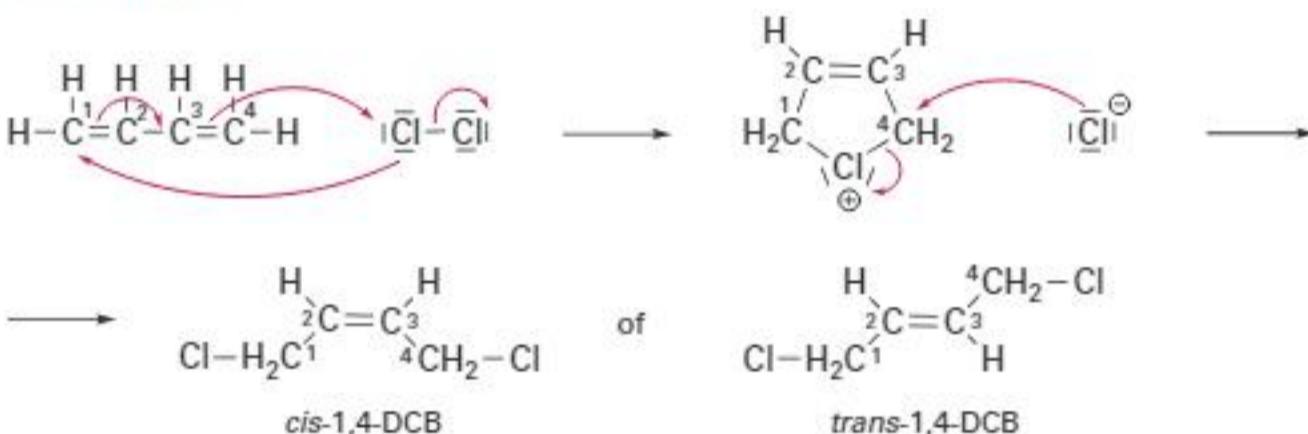
- 2p 6 Maak in de bijlage beide grensstructuren van structuurisomeer 2 compleet.
- Geef het Cl-atoom en de ontbrekende elektronenparen weer.
  - Geef de formele lading(en) weer.

### bijlage bij vraag 6



Van het gevormde 1,4-DCB bestaan twee stereo-isomeren, namelijk *cis*-1,4-DCB en *trans*-1,4-DCB. Een leerling doet een voorstel voor het mechanisme voor het ontstaan van 1,4-DCB. Dit voorstel is in mechanisme 2 weergegeven.

### mechanisme 2



Het blijkt dat het gevormde 1,4-DCB voor 19% uit de *cis*-vorm en voor 81% uit de *trans*-vorm bestaat.

- 2p 7 Leg uit dat mechanisme 2 geen verklaring biedt voor de waargenomen verhouding van de stereo-isomeren bij de vorming van 1,4-DCB uit chloor en buta-1,3-dieen.

In de bijlage bij vraag 10 is het onvolledige blokschema van de productie van chloropreen weergegeven. In reactor 1 (R1) reageert buta-1,3-dieen met chloor. Het mengsel van 1,4-DCB en 3,4-DCB wordt na een scheidingsstap (S1) als vloeistofmengsel naar reactor 2 (R2) gevoerd. In R2 treedt evenwicht 1 op.



De temperatuur in R2 ligt tussen 125 °C en 150 °C. De temperatuur is zo gekozen dat eenvoudig een zo hoog mogelijke opbrengst aan 3,4-DCB kan worden bereikt.

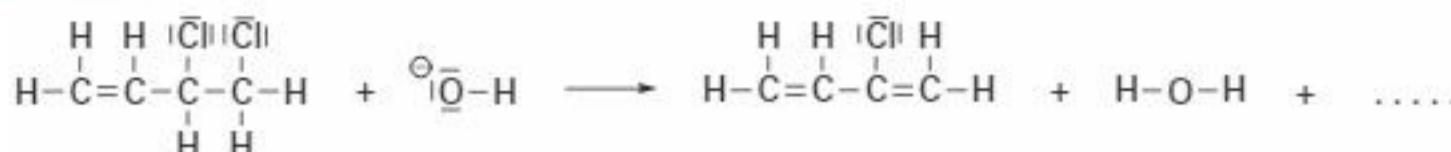
Bij de druk in R2 is het kookpunt van 3,4-DCB 119 °C. De kookpunten van *cis*-1,4-DCB en *trans*-1,4-DCB liggen boven 152 °C.

- 2p 8 Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef de evenwichtsvoorwaarde voor evenwicht 1. Houd hierbij rekening met de omstandigheden die heersen in R2.
  - Leg uit dat onder deze omstandigheden een zo hoog mogelijke opbrengst aan 3,4-DCB kan worden bereikt.

In reactor 3 (R3) reageert ten slotte 3,4-DCB met natronloog tot chloropreen en een oplossing van natriumchloride. In de bijlage bij vraag 9 is het mechanisme van deze reactie onvolledig weergegeven.

- 3p 9 Voer in de bijlage de volgende opdrachten uit:
- Maak de reactievergelijking compleet.
  - Geef de niet-bindende elektronenparen en formele lading(en) weer.
  - Geef met pijlen weer hoe elektronenparen worden verplaatst tijdens de reactie.

#### bijlage bij vraag 9



Het gehele productieproces is hieronder samengevat.

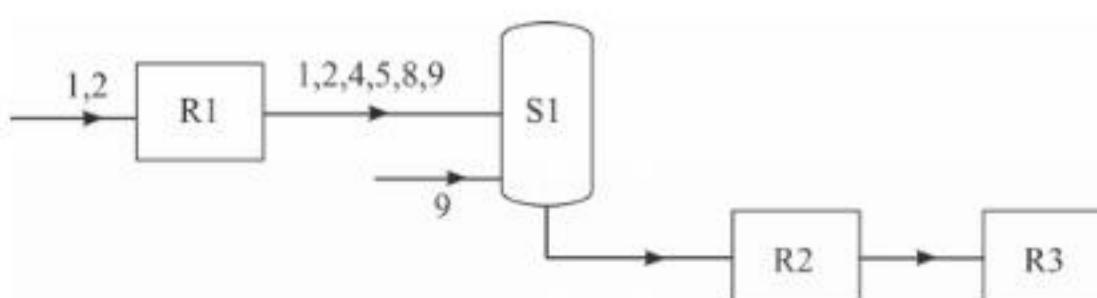
- Chloor en buta-1,3-dieen worden als gas in R1 geleid, waar 3,4-DCB en 1,4-DCB en nevenproducten worden gevormd. De omzetting van chloor en buta-1,3-dieen in R1 is niet volledig.
- Het mengsel afkomstig uit R1 is vloeibaar en wordt naar scheidingsruimte 1 (S1) geleid. In S1 wordt stikstof door het mengsel geblazen, waardoor het ongereageerde chloor en buta-1,3-dieen uit de vloeistofstroom worden verwijderd. Het gasmengsel van stikstof, chloor en buta-1,3-dieen wordt boven uit S1 teruggeleid naar R1. Om ophoping van stikstof in het systeem te voorkomen wordt een deel van deze recycle-stroom afgetapt. De vloeistofstroom uit S1 wordt naar R2 geleid.
- In R2 wordt 1,4-DCB onvolledig omgezet tot 3,4-DCB. Uit R2 komen twee stofstromen. De ene stroom, met uitsluitend 3,4-DCB, wordt doorgevoerd naar R3.
- De andere stroom uit R2 bevat 1,4-DCB en de nevenproducten. Deze stroom wordt doorgevoerd naar een destilleerkolom (S2) waar het 1,4-DCB wordt afgescheiden en teruggeleid naar R2. De nevenproducten worden als vloeistofstroom afgevoerd.
- In R3 reageert ten slotte 3,4-DCB met een overmaat natronloog tot chloropreen en een oplossing van natriumchloride. Het chloropreen verlaat R3 als gasstroom.

- 4p 10 Maak het blokschema in de bijlage hieronder compleet.
- Teken S2.
  - Teken de ontbrekende pijlen en noteer de ontbrekende stoffen bij de pijlen.
  - Geef de stofstromen in het schema weer met de volgende cijfers:

1 buta-1,3-dieen	6 natriumchloride-oplossing
2 chloor	7 natronloog
3 chloropreen	8 nevenproducten
4 3,4-DCB	9 stikstof
5 1,4-DCB	

  - Cijfers voor de verschillende stofstromen kunnen meerdere malen voorkomen.

#### bijlage bij vraag 10



Het rendement van de omzetting van buta-1,3-dieen tot 3,4-DCB in R1 en R2 bedraagt in totaal 70%. Het rendement van de omzetting van 3,4-DCB tot chloropreen in R3 bedraagt 93%.

Het molair volume van een gas onder de heersende omstandigheden is  $2,45 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$ .

- 5p 11 Bereken hoeveel  $\text{m}^3$  chloor minimaal nodig is voor de productie van 1,0 ton chloropreen. Een ton is  $10^3 \text{ kg}$ . Geef de uitkomst in het juiste aantal significante cijfers.

## IJzerstapeling

Hemochromatose of ijzerstapeling is een erfelijke ziekte waarbij te veel ijzerionen uit de darminhoud worden opgenomen, terwijl het lichaam niet in staat is de overmaat aan ijzerionen uit te scheiden. Deze ziekte wordt vaak veroorzaakt door een mutatie in het gen dat codeert voor het eiwit HFE. HFE speelt een rol bij de opname van ijzerionen.

Bij de synthese van HFE wordt in eerste instantie mRNA gevormd dat bestaat uit 2727 basen. De eerste 221 basen spelen echter geen rol bij de synthese van HFE. Het startcodon begint pas bij base nummer 222. Dit is tevens het codon voor het aminozuur met nummer 1.

Hieronder is een deel van de mRNA-volgorde bij mensen zonder en mensen met hemochromatose weergegeven. De mutatie treedt op bij base nummer 1066.

	↓ 1066
mensen zonder hemochromatose	U A C G U G C C A G
mensen met hemochromatose	U A C G U A C C A G

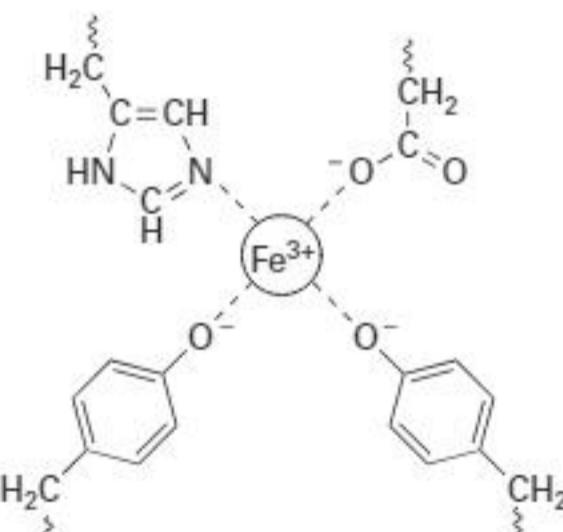
Met behulp van de 1-lettersymbolen van aminozuren kan men dit soort mutaties vereenvoudigd weergeven. Zo kan een mutatie waarbij op plaats 86 van een eiwit een glutaminezuur-eenheid is ingebouwd in plaats van een glutamine-eenheid, worden weergegeven als Q86E.

- 4p 12 Leid met behulp van het gegeven voorbeeld af wat de notatie is van de hierboven beschreven mutatie die hemochromatose veroorzaakt.

De uit de darminhoud opgenomen ijzerionen komen in het bloed terecht. Daar worden deze ionen gebonden door het eiwit transferrine en worden zo getransporteerd naar de lever en naar de plaatsen waar de productie van rode bloedlichaampjes plaatsvindt. Het binden en afstaan van de ijzerionen door transferrine is afhankelijk van de pH. Daarbij zijn de restgroepen van de aminozuren Tyr, Asp en His betrokken. Hiernaast is schematisch weergegeven hoe een  $\text{Fe}^{3+}$ -ion in een molecuul transferrine is gebonden.

Bij de pH van bloed (7,4) zijn  $\text{Fe}^{3+}$ -ionen sterk gebonden aan transferrine. Op de plaatsen in het lichaam waar transferrine de gebonden  $\text{Fe}^{3+}$ -ionen moet afstaan, is de pH aanzienlijk lager. De  $\text{Fe}^{3+}$ -ionen komen dan vrij uit de moleculen transferrine.

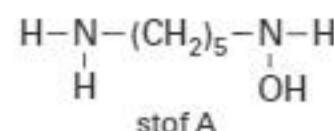
- 2p 13 Leg uit dat bij lage pH  $\text{Fe}^{3+}$ -ionen vrijkomen uit de moleculen transferrine.



Patiënten met hemochromatose kunnen worden behandeld met desferrioxamine, een stof die in opgeloste vorm met behulp van een infuus wordt toegediend.

Desferrioxamine bindt  $\text{Fe}^{3+}$ . Via de nieren wordt de ontstane verbinding uitgescheiden. Een molecuul desferrioxamine ontstaat uit één molecuul ethaanzuur (E), twee moleculen butaandizuur (B) en drie moleculen van een stof A.

De structuurformule van stof A is hiernaast weergegeven.



Deze zes moleculen worden in de volgorde A – B – A – B – A – E gekoppeld. Daarbij worden alleen C–N bindingen gevormd. Per ontstane C–N binding wordt één molecuul water afgesplitst.

- 3p 14 Geef de structuurformule van het fragment ~ B – A – E van een molecuul desferrioxamine.

Om te onderzoeken of iemand hemochromatose heeft, wordt bloedonderzoek gedaan. Voor het onderzoek is een bufferoplossing bereid. Deze oplossing is bereid door per liter achtereenvolgens 0,338 mol  $\text{NaHCO}_3$  en  $3,4 \cdot 10^{-2}$  mol waterstofchloride (HCl) op te lossen.

In de uiteindelijke oplossing zijn onder andere deeltjes  $\text{H}_2\text{CO}_3$  en  $\text{HCO}_3^-$  aanwezig.

- 5p 15 Bereken de pH van de uiteindelijke oplossing. Neem hierbij aan dat geen gasvormig  $\text{CO}_2$  uit de oplossing ontwijkt.  
Geef de uitkomst in het juiste aantal significante cijfers.

Van een patiënt wordt bloed afgenoem, waarna het bloedserum wordt afgescheiden van de rode bloedlichaampjes. Het bloedserum bevat alle transferrine. Bij het vaststellen of iemand hemochromatose heeft, is onder andere de vrije ijzerbindende capaciteit **CF** van belang. Dit is het aantal mol  $\text{Fe}^{3+}$  dat per liter bloedserum nog aan het transferrine kan worden gebonden.

Bij gezonde mensen bevat het bloedserum gemiddeld 3,0 g transferrine per liter en is gemiddeld 30% van de bindingsplaatsen van het transferrine bezet met  $\text{Fe}^{3+}$ -ionen. Per molecuul transferrine kunnen twee  $\text{Fe}^{3+}$ -ionen worden gebonden. De molaire massa van transferrine is  $8,0 \cdot 10^4$  g  $\text{mol}^{-1}$ .

- 3p 16 Bereken met behulp van de bovenstaande gegevens de gemiddelde **CF** in  $\text{mol L}^{-1}$  bij gezonde mensen.

## Suikerbatterij

Een suikerbatterij maakt gebruik van glucose als energiebron.

In de eerste suikerbatterij die is gemaakt, werd glucose met behulp van enzymen geoxideerd tot onder andere ethaanzuur.

De totaalvergelijking van deze omzetting is hieronder weergegeven.



De maximale energie per mol glucose die in een batterij vrij kan komen, is gelijk aan de verbrandingsenergie van glucose, dat is de energie die vrijkomt bij de volledige verbranding.

De vormingswarmte van glucose is  $-12,61 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ .

- 4p 17 Bereken hoeveel procent van de maximale energie vrijkomt wanneer glucose in deze suikerbatterij wordt omgezet.
- Het gevormde water komt vrij als vloeistof.
  - Gebruik Binas-tabel 56 en 57 of ScienceData-tabel 8.7.a en 9.2.

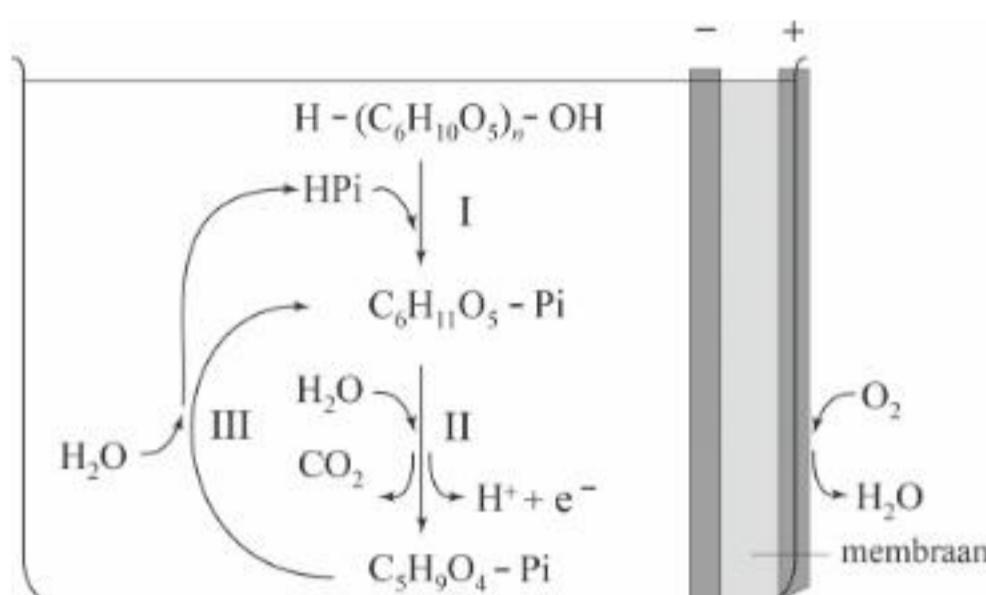
Een groep onderzoekers heeft een batterij ontwikkeld waarbij de polysacharide maltodextrine volledig werd omgezet tot  $\text{CO}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$ .

Maltodextrine is opgebouwd uit glucose-monomeereenheden en kan worden weergegeven als  $\text{H}-(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n-\text{OH}$  met  $3 < n < 20$ .

Voor de volledige omzetting van maltodextrine tot  $\text{CO}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$  hebben de onderzoekers enzymen uit verscheidene micro-organismen gebruikt.

In de onderstaande figuur is de gebruikte opstelling vereenvoudigd weergegeven.

Met reacties I, II en III zijn de verlopende (half)reacties bij stroomlevering schematisch aangegeven.

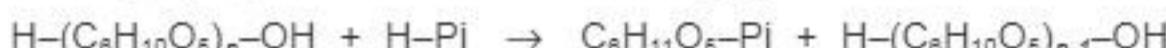


Door de (half)reacties I t/m III wordt de maltodextrine uiteindelijk volledig omgezet. Elektronen komen uitsluitend vrij in reactie II.

Reactie I: maltodextrine reageert met een deeltje dat in de oplossing aanwezig is.

Dit deeltje wordt in deze opgave weergegeven met  $\text{H}-\text{Pi}$ . Hierbij ontstaat onder andere glucose-6-fosfaat ( $\text{C}_6\text{H}_{11}\text{O}_5-\text{Pi}$ ). De keten van maltodextrine wordt in reactie I één glucose-eenheid korter.

De vergelijking van reactie I is hieronder gegeven.



Reactie II: in een halfreactie wordt  $\text{C}_6\text{H}_{11}\text{O}_5-\text{Pi}$  omgezet tot onder andere ribulose-5-fosfaat ( $\text{C}_5\text{H}_9\text{O}_4-\text{Pi}$ ).

- 3p 18 Geef met behulp van de figuur op de vorige bladzijde de vergelijking voor halfreactie II.

Reactie III: het ontstane  $\text{C}_5\text{H}_9\text{O}_4-\text{Pi}$  wordt weer omgezet tot  $\text{C}_6\text{H}_{11}\text{O}_5-\text{Pi}$  en  $\text{H}-\text{Pi}$ .

Het  $\text{C}_5\text{H}_9\text{O}_4-\text{Pi}$  is hierbij de enige bron van koolstofatomen.

- 2p 19 Geef met behulp van dezelfde figuur de vergelijking voor reactie III.

## Marquis-reagens voor alkaloïden

De politie controleert regelmatig op bezit van harddrugs.

Voor een snelle test is onder andere het Marquis-reagens ontwikkeld. Aan een zakje van dit reagens voegt men wat van het te onderzoeken monster toe. Als het monster drugs bevat, ontstaat een kenmerkende kleur.

Het Marquis-reagens wordt bereid door oplossingen van zwavelzuur en methanol te mengen in de volumeverhouding 20 : 1,0.



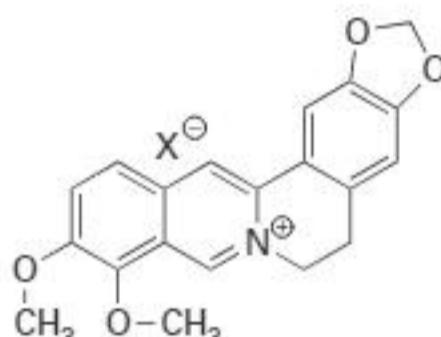
In de tabel staan enkele gegevens van de gebruikte oplossingen.

	gehalte (massa%)	dichtheid (g mL <sup>-1</sup> )
zwavelzuur-oplossing	98	1,84
methanol-oplossing	37	1,09

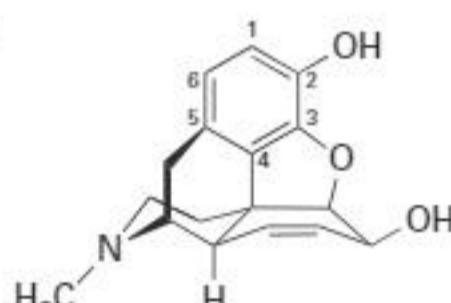
- 4p 20 Bereken de molverhouding tussen methanol en zwavelzuur in Marquis-reagens. Noteer de verhouding als volgt: zwavelzuur : methanol = ..... : 1,0.

Marquis-reagens wordt voornamelijk gebruikt om alkaloïden van elkaar te onderscheiden. Veel alkaloïden zijn afgeleid van een aminozuur.

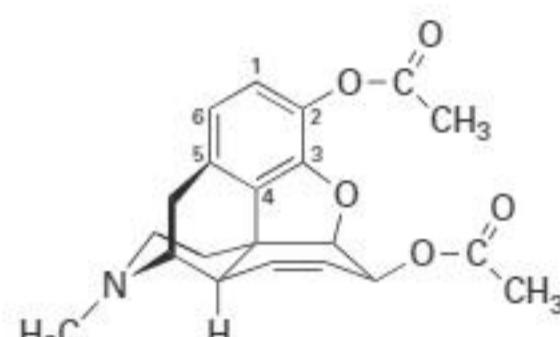
In de onderstaande figuur zijn drie alkaloïden weergegeven die zijn ontstaan uit het aminozuur tyrosine. De oorspronkelijke structuur van tyrosine is nog in de drie structuren te herkennen.



berberine



morphine



heroïne

- 2p 21 Omcirkel hierboven het deel van het molecuul morfine dat van het aminozuur tyrosine afkomstig is.  
Neem aan dat alle C-atomen van tyrosine in morfine zijn opgenomen.

In alle alkaloïden zijn stikstofatomen aanwezig. Als zo'n stikstofatoom een niet-bindend elektronenpaar heeft, kan het atoom een H<sup>+</sup>-ion binden waardoor het alkaloïde als base kan reageren.

- 2p 22 Leg uit welke van de drie alkaloïden uit de figuur niet als base reageert.

Heroïne en morfine geven beide met Marquis-reagens een paars-violette kleur. Om toch onderscheid te kunnen maken tussen deze twee stoffen, voert men nog een ander experiment uit.

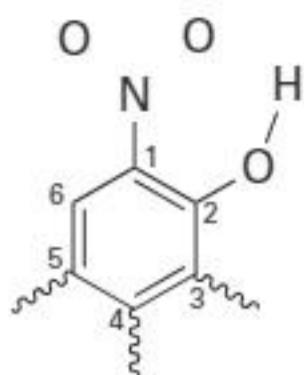
Er treedt nu een reactie op, waarbij in moleculen van beide stoffen het H-atoom op C1 wordt vervangen door een NO<sub>2</sub>-groep. Morfine geeft nu een oranje kleur en heroïne een gele kleur.

De oorzaak van dit kleurverschil wordt toegeschreven aan het optreden van een intramoleculaire interactie die bij morfine wel en bij heroïne niet optreedt. Deze interactie kan worden opgevat als een waterstofbrug waarbij een O-atoom van de NO<sub>2</sub>-groep is betrokken.

In de bijlage bij vraag 23 is een deel van het molecuul van de omgezette morfine weergegeven. Hierbij zijn de bindende elektronenparen in de NO<sub>2</sub>-groep onvolledig weergegeven.

- 2p 23 Voer in de bijlage de volgende opdrachten uit:

- Geef de bindende elektronenparen in de NO<sub>2</sub>-groep weer.
- Geef de formele en partiële lading(en) aan.
- Geef de waterstofbrug weer met een stippe lijn.

**bijlage bij vraag 23**

Je kunt dit examen nakijken met de uitwerkingen hierna óf online op [mijnexamenbundel.nl](https://mijnexamenbundel.nl). Je ziet dan je totaalscore en je score per onderwerp. Deze worden bewaard.



## Hints bij examen 2021-I<sup>1)</sup>

- 1 Bepaal het omringingsgetal van C in CO<sub>2</sub>.
- 3 Hoe is superkritisch CO<sub>2</sub> te maken?
- 4 In deze substitutiereactie wordt Cl vervangen.
- 5 Methanolmoleculen geven een vergelijkbare reactie als bij vraag 4.
- 6 De diering van het chloridium-ion kan aan twee kanten openspringen.
- 7 Kijk naar de ringverbinding die in de eerste stap ontstaat.
- 8 De verschillende aggregatietoestanden / fases van beide stoffen in evenwicht 1 zijn belangrijk voor de evenwichtsconstante.
- 9 Na<sup>+</sup>-ionen zijn hier tribune-ionen, dus OH<sup>-</sup>-ionen verdwijnen en Cl<sup>-</sup>-ionen ontstaan.
- 10 Lees de tekst boven vraag 10 nauwkeurig.
- 11 Bereken eerst de benodigde hoeveelheid chloor voor 100% omzetting.
- 12 Bepaal in welk codon (triplet van basen) de fout voorkomt. Corrigeer voor de basen die niet coderen voor het eiwit HFE.
- 13 Het gaat om de rol van H<sup>+</sup>/H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>-ionen.
- 14 Omdat stof E alleen een zuurgroep bevat, zal deze moeten reageren met een van de aminogroepen van stof A.
- 15 Er vindt eerst een zuur-basereactie plaats.
- 16 Bereken eerst hoeveel mol Fe<sup>3+</sup> maximaal aan alle transferrine kan worden gebonden.
- 17 Reactiewarmte  $\Delta E = \sum E_{\text{producten}} - \sum E_{\text{beginstoffen}}$
- 18 Bij halfreactie II (bij negatieve elektrode) zijn al de daar afgebeeld deeltjes betrokken.
- 19 Hierbij zijn een groot aantal (van dezelfde) moleculen betrokken.
- 20 Reken mL om in gram en gram om in mol.
- 21 Zoek op in Binas 67H1 en gebruik van tyrosine het maximum aan verbonden atomen.
- 22 Denk hierbij aan de vergelijkbare base NH<sub>3</sub>.
- 23 Stel de lewisstructuur van de nitrogroep op.

1) De 1-puntsvragen (hier alleen vraag 2) krijgen geen hint.

# Uitwerkingen bij examen 2021-I

## 'Groene' verf?

2p 1 O=C=O [1p]

Ondanks het feit dat de C=O bindingen in CO<sub>2</sub> polair zijn ( $\delta+$  op C,  $\delta-$  op O) is koolstofdioxide apolair, want door het omringingsgetal 2 van C zijn CO<sub>2</sub>-moleculen lineair. [1p] Het H<sub>2</sub>O-molecuul is gehoekt, doordat O hierin het omringingsgetal 4 heeft. Daardoor is het een dipoolmolecuul. Water is daardoor een polaire vloeistof.

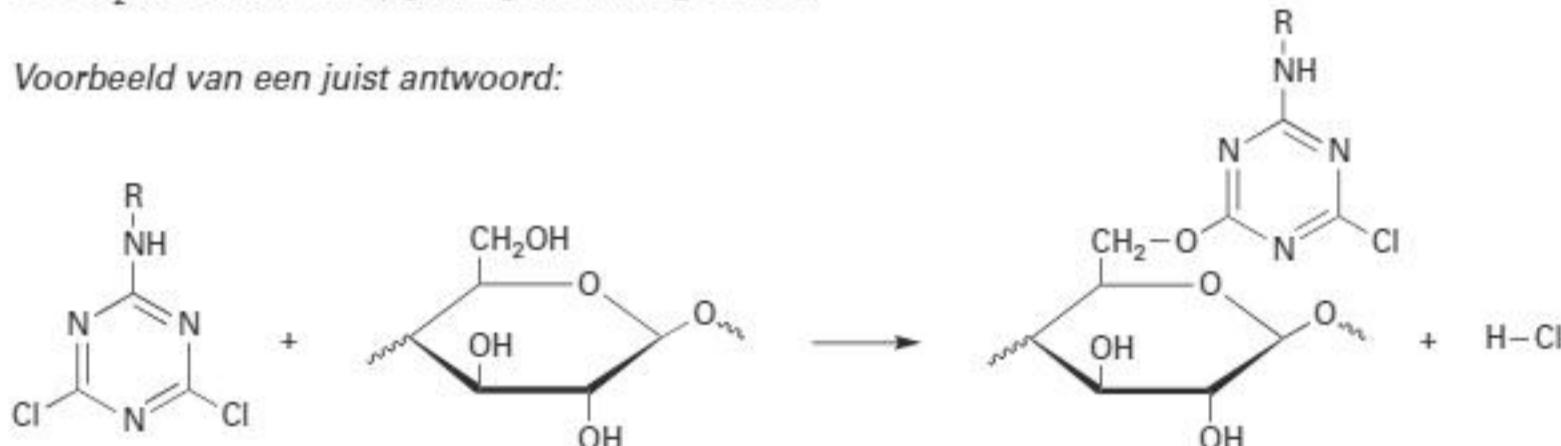
1p 2 Voorbeeld van een juist antwoord:

Door het opzwellen van de vezels wordt het contactoppervlak met de verf vergroot en zullen er meer pigmentmoleculen aan de vezels kunnen binden.

2p 3 Door de druk te verlagen [1p] zal het vloeibare koolstofdioxide (weer) gasvormig worden en zo uit het mengsel met de verf kunnen ontsnappen [1p] (waarbij het vaste pigment achterblijft in het textiel).

De CO<sub>2</sub> moet worden opgevangen en hergebruikt.

2p 4 Voorbeeld van een juist antwoord:

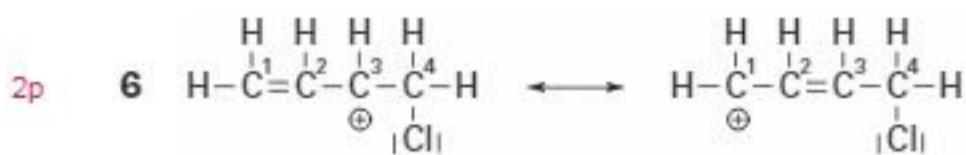


Ook de OH-groepen (direct) aan de zesring kunnen deze reactie geven.

Rechts van de pijl een binding tussen O van een OH-groep met het reactieve pigment [1p], rest van de structuurformule van het 'cellulosepigment' en HCl [1p]

2p 5 Methanolmoleculen bevatten OH-groepen (net als katoenmoleculen). [1p] Die kunnen reageren met reactieve pigmentmoleculen. Daardoor zou er minder pigment overblijven om met het katoen te reageren. [1p]

## Chloropreenfabriek

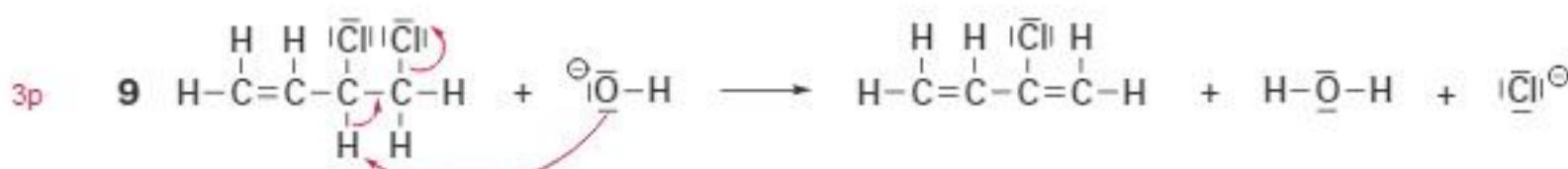


chloratoom gebonden aan C4 (of C1) [1p], elektronenparen en formele ladingen [1p]

2p 7 Als na de eerste reactiestap een cyclische structuur wordt verondersteld, ligt daarmee de cis-configuratie rond de dubbele binding vast. [1p] Het product van de tweede stap van mechanisme 2 kan dan alleen maar cis-1,4-DCB zijn. [1p] (Dat is in strijd met wat men vindt.)

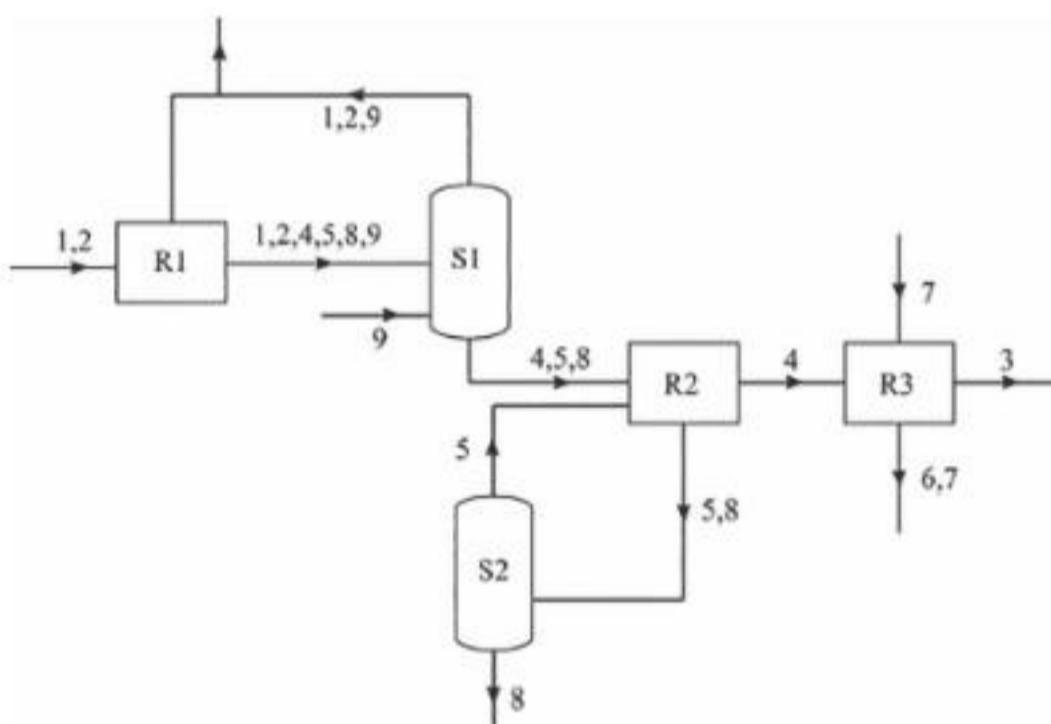
Omdat groepen bij een cis-configuratie elkaar sterker hinderen dan bij een transconfiguratie, ontstaat uit structuuriromeer 2 (zie bijlage bij vraag 6) makkelijker de transvorm van 1,4-DCB dan de cisvorm.

- 2p 8 Omdat het kookpunt van 3,4-DCB onder 125 °C ligt, zal het gasvormig aanwezig zijn, (terwijl 1,4-DCB zelfs bij 150 °C nog vloeibaar blijft).  
 Het evenwicht 1 is te schrijven als: 1,4-DCB(l) ⇌ 3,4-DCB(g)  
 De bijbehorende evenwichtsvoorwaarde is:  $K = [3,4\text{-DCB}]$  [1p]  
 Door 3,4-DCB te laten ontsnappen naar een ruimte met een lagere druk zal in R2 het evenwicht (blijvend) worden verstoord en zal de reactie naar rechts gaan overheersen. Die reactie kan door het afvoeren van 3,4-DCB aflopend worden. [1p]



*Cl<sup>-</sup> rechts van de pijl [1p], niet-bindende elektronenparen (puntjes of streepjes) en formele lading [1p], pijlen [1p]*

- 4p 10 Voorbeeld van een juist blokschema:



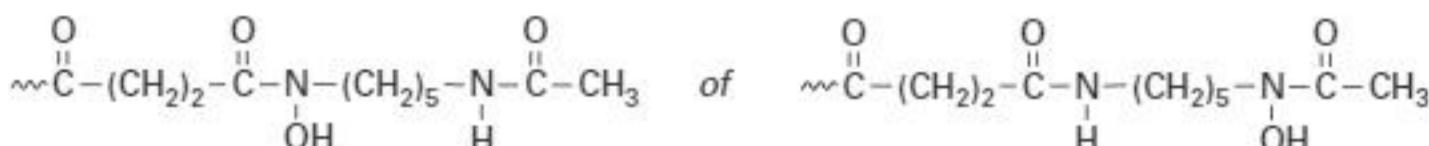
*stofstromen van 1, 2 en 9 met een recycle van S1 naar R1 en spui [1p], stofstromen van 3 en 4 [1p], S2 weergegeven (eventueel als reactor) en de stofstromen van 5 en 8 [1p], stofstromen van 6 en 7 [1p]*

- 5p 11 De massa van 1 mol chloropreen ( $C_4H_5Cl$ ) is  $4 \cdot 12,01 + 5 \cdot 1,008 + 35,45 = 88,53$  g.  
 1,0 ton ( $1,0 \cdot 10^6$  g) komt overeen met  $\frac{1,0 \cdot 10^6 \text{ g}}{88,53 \text{ g mol}^{-1}} = 1,13 \cdot 10^4$  mol chloropreen. [1p]  
 Uit de reacties blijkt dat bij 100% omzetting ook  $1,13 \cdot 10^4$  mol  $Cl_2$  nodig zou zijn. [[1p]]  
 Het totale rendement van het proces is echter  $70\% \cdot 93\% = 65,1\%$ .  
 Er is dus meer  $Cl_2$  nodig, namelijk  $\frac{1,13 \cdot 10^4 \text{ g}}{0,651} = 1,74 \cdot 10^4$  mol. [1p]  
 1 mol  $Cl_2$  heeft een volume van  $2,45 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$  (gegeven) ⇒ voor de levering van 1,0 ton chloropreen is nodig  $1,74 \cdot 10^4 \text{ mol} \cdot 2,45 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1} = 4,3 \cdot 10^2 \text{ m}^3 Cl_2$ . [1p]  
 2 significante cijfers [1p]  
*Er is meer chloor nodig dan bij 100% omzetting tot chloropreen, omdat een deel van het chloor reageert tot bijproducten.*

## IJzerstapeling

- 4p **12** De eerste 221 basen leveren geen bijdrage aan de codering voor het eiwit HFE (gegeven). Dus de base met nummer 1066 komt overeen met base 845 (1066 - 221) van het coderende deel van het mRNA. Omdat een codon uit drie basen bestaat, zit er dus een fout in het codon dat volgt uit  $\frac{845}{3} = 281 + 2/3$ .
- Het gaat dus om de middelste base van het codon met nummer 282. [1p]
- Het verschil tussen het normale eiwit en het afwijkende eiwit is dus het triplet UGC respectievelijk het triplet UAC (zie opgave). [1p] Deze coderen voor de aminozuren cysteïne (C) respectievelijk tyrosine (Y), zie Binas 71G. [1p]
- De mutatie moet dan worden weergegeven als C282Y. [1p]
- Het in de opgave gegeven voorbeeld laat zien, dat de notatie van een mutatie als volgt is opgebouwd: normale aminozuur | volgnummer van codon in eiwit | afwijkend aminozuur*
- 2p **13** Bij een lagere pH zijn er meer  $\text{H}_3\text{O}^+$ -ionen die een  $\text{H}^+$  kunnen afgeven aan de basische  $-\text{O}^-$  groepen in het transferrinemolecuul. [1p] Doordat het O-atoom zijn negatieve lading verliest, zal de binding tussen  $-\text{O}^-$  en  $\text{Fe}^{3+}$  worden verbroken, waardoor  $\text{Fe}^{3+}$ -ionen kunnen vrijkomen. [1p]

- 3p **14** Twee mogelijke structuurformules:



*plaats en structuur van butaandizuurrest [1p], plaats en structuur van ethaanzuurrest [1p], rest van de structuurformule [1p]*

- 5p **15** Als  $33,8 \cdot 10^{-2}$  mol  $\text{HCO}_3^-$  reageert met  $3,4 \cdot 10^{-2}$  mol  $\text{H}^+$  ontstaat  $3,4 \cdot 10^{-2}$  mol  $\text{H}_2\text{CO}_3$  ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ) en blijft  $33,8 \cdot 10^{-2} - 3,4 \cdot 10^{-2} = 30,4 \cdot 10^{-2}$  mol  $\text{HCO}_3^-$  over. [1p]
- Voor het zuur-base-evenwicht  $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$  geldt de volgende evenwichtsvoorwaarde (Binas 49):  $K_z = 4,5 \cdot 10^{-7} = \frac{[\text{HCO}_3^-][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = \frac{30,4 \cdot 10^{-2} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]}{3,4 \cdot 10^{-2}}$  [1p]  $\Rightarrow$
- $$[\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{3,4 \cdot 10^{-2} \cdot 4,5 \cdot 10^{-7}}{30,4 \cdot 10^{-2}} = 5,0 \cdot 10^{-8} \text{ mol L}^{-1}$$
- [1p]
- $\Rightarrow$
- $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] = -\log 5,0 \cdot 10^{-8} = 7,30$  [1p]. 2 decimalen [1p]

- 3p **16** 1 mol transferrine heeft een massa van  $8,0 \cdot 10^4$  g. 3,0 g transferrine komt dus overeen met  $\frac{3,0 \text{ g}}{8,0 \cdot 10^4 \text{ g mol}^{-1}} = 3,75 \cdot 10^{-5}$  mol transferrine (per liter). [1p]
- Hiermee kunnen  $2 \cdot 3,75 \cdot 10^{-5} = 7,50 \cdot 10^{-5}$  mol  $\text{Fe}^{3+}$ -ionen worden gebonden. [1p]
- Indien in werkelijkheid maar 30% van de ionen wordt gebonden, is er nog plaats voor 70% van de  $\text{Fe}^{3+}$ -ionen  $\Rightarrow 0,70 \cdot 7,50 \cdot 10^{-5} = 5,25 \cdot 10^{-5}$  mol  $\Rightarrow$  CF is  $5,3 \cdot 10^{-5}$  mol  $\text{Fe}^{3+}$  per liter. [1p] (2 significante cijfers)

## Suikerbatterij

- 4p **17** Voor de reactiewarmte in de genoemde suikerbatterij geldt:  
 $\Delta E = \text{vormingswarmte van } 2 \text{ mol CO}_2 + \text{vormingswarmte van } 2 \text{ mol H}_2\text{O(l)} +$   
 $\text{vormingswarmte van } 2 \text{ mol CH}_3\text{COOH} - \text{vormingswarmte van } 1 \text{ mol C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 =$  [1p]  
 $2 \cdot -3,935 \cdot 10^5 \text{ J} + 2 \cdot -2,86 \cdot 10^5 \text{ J} + 2 \cdot -4,84 \cdot 10^5 \text{ J} - (-12,61 \cdot 10^5 \text{ J}) =$  [1p]  
 $-7,870 \cdot 10^5 \text{ J} - 5,72 \cdot 10^5 \text{ J} - 9,68 \cdot 10^5 \text{ J} + 12,61 \cdot 10^5 \text{ J} = -10,66 \cdot 10^5 \text{ J}$  per mol glucose  
 (Binas 57A en 57B) [1p]
- De verbrandingswarmte van glucose is  $-28,16 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$  (Binas 56).

Dit is de maximale energie die uit glucose is te halen (gegeven).

De genoemde suikerbatterij levert hiervan slechts  $\frac{10,66 \cdot 10^5}{28,16 \cdot 10^5} \cdot 10^2 = 37,86\%$ . [1p]

*De tweede decimaal kan afwijken bij een andere wijze van afronden.*

*De vormingswarmte van het element zuurstof is per definitie gelijk aan 0.*

- 3p **18**  $C_6H_{11}O_5 - Pi + H_2O \rightarrow C_5H_9O_4 - Pi + CO_2 + 4 H^+ + 4 e^-$   
*formules links en rechts van de pijl en O-balans [1p], 4 H<sup>+</sup> en H-balans [1p], elektronen en ladingsbalans [1p]*

- 2p **19**  $6 C_5H_9O_4 - Pi + H_2O \rightarrow 5 C_6H_{11}O_5 - Pi + H - Pi$   
*formules links en rechts van de pijl [1p], vergelijking kloppend [1p]*

### Marquis-reagens voor alkaloïden

- 4p **20** 20 mL zwavelzuroplossing heeft een massa van  $20 \text{ mL} \cdot 1,84 \text{ g mL}^{-1} = 36,8 \text{ g}$ .  
 98% hiervan is zwavelzuur ( $H_2SO_4$ ), dus  $0,98 \cdot 36,8 \text{ g} = 36,1 \text{ g}$ .  
 1 mol  $H_2SO_4$  heeft een massa van 98,079 g (Binas 98)  $\Rightarrow$   
 $36,1 \text{ g komt overeen met } \frac{36,1 \text{ g}}{98,079 \text{ g mol}^{-1}} = 0,368 \text{ mol}$ . [1p]  
 1,0 mL methanoloplossing heeft een massa van  $1,0 \text{ mL} \cdot 1,09 \text{ g mL}^{-1} = 1,09 \text{ g}$ .  
 37% hiervan is methanol ( $CH_3OH$ ), dus  $0,37 \cdot 1,09 \text{ g} = 0,403 \text{ g}$ .  
 1 mol  $CH_3OH$  heeft een massa van  $12,01 + 2,016 + 16,00 = 30,03 \text{ g}$  (Binas 99) [1p]  $\Rightarrow$   
 $0,403 \text{ g methanol komt overeen met } \frac{0,403 \text{ g}}{30,03 \text{ g mol}^{-1}} = 1,34 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$ . [1p]  
 De molverhouding zwavelzuur : methanol =  $0,368 : 1,34 \cdot 10^{-2} = 27 : 1,0$ . [1p]  
 (2 significante cijfers)

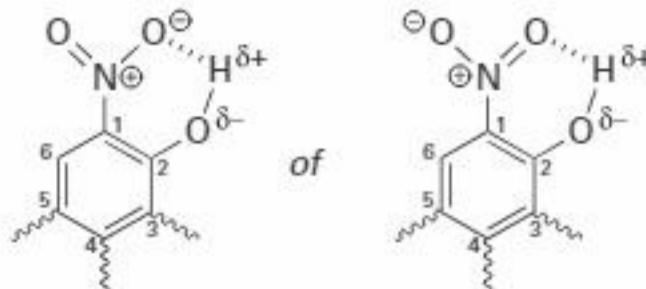
- 2p **21** De atomen die aan de roodgemaakte bindingen zitten, moeten worden omcirkeld:



aangegeven koolstofatomen [1p], aangegeven overige atomen [1p]

- 2p **22** Berberine is geen base. [1p] Een berberinemolecuul heeft een N-atoom met meer dan drie bindingen (en daardoor een pluslading). Zo'n N-atoom heeft geen niet-bindend elektronenpaar. [1p]

- 2p **23** Twee mogelijke antwoorden:



Door mesomerie van de nitrogroep is de negatieve lading over beide O-atomen verdeeld.  
 Er is dus eigenlijk geen verschil tussen bovenstaande grensstructuren.  
 bindende elektronenparen en formele en partiële ladingen [1p], waterstofbrug [1p]

## Examen 2021-II

Tenzij anders vermeld, is er sprake van standaardomstandigheden:  
 $T = 298\text{ K}$  en  $p = p_0$ .

### Waterstofauto's die methaan zuur tanken

Omdat de opslag van waterstof een probleem is, wordt onderzoek gedaan naar manieren om waterstof om te zetten tot stoffen met een hogere dichtheid.

Een voorbeeld van zo'n stof is methaan zuur ( $\text{HCOOH}$ ).

Methaan zuur wordt momenteel industrieel bereid in drie stappen:

- 1 Waterstof reageert met koolstofdioxide tot methanol en water.
- 2 Methanol reageert met koolstofmono-oxide tot methylmethanoaat.
- 3 Methylmethanoaat reageert met water tot methaan zuur en methanol.

- 3p 1 Geef de reactievergelijking van stap 3 in structuurformules.

In totaal komt het proces neer op de omzetting van waterstof met  $\text{CO}_2$  en  $\text{CO}$  tot methaan zuur en methanol. Methaan zuur en methanol ontstaan hierbij in de molverhouding 1 : 1.

- 4p 2 Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef de totaalvergelijking van het hele proces.
- Bereken de atoomeconomie van deze productie van methaan zuur.

Als het technisch mogelijk is om methaan zuur in een auto om te zetten tot waterstof en koolstofdioxide, kan de auto de vrijgekomen waterstof gebruiken als brandstof. De omzetting van methaan zuur tot waterstof in een auto is hieronder weergegeven.



Een Hyundai-waterstofauto kan 594 km rijden op 5,64 kg waterstof. De dichtheid van methaan zuur is  $1,22\text{ kg L}^{-1}$ .

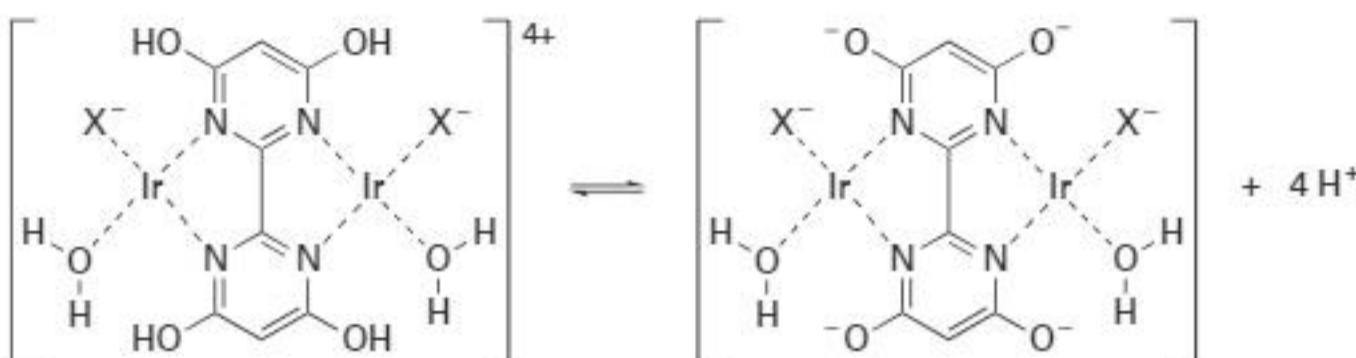
- 4p 3 Bereken het volume in L methaan zuur dat minstens nodig is om 5,64 kg waterstof te kunnen produceren. Geef de uitkomst in het juiste aantal significante cijfers.

Twee onderzoeksgroepen hebben een katalysator ontwikkeld die de directe omzetting van  $\text{H}_2$  en  $\text{CO}_2$  tot methaan zuur katalyseert.

Omdat deze omzetting in basisch milieu optreedt, wordt er geen methaan zuur gevormd, maar onder andere het zuurrest-ion van methaan zuur.

- 2p 4 Geef de reactievergelijking van deze omzetting.

Afhankelijk van de pH komen in oplossingen van de gebruikte katalysator voornamelijk deeltjes  $[H_4\text{kat}]^{4+}$  of deeltjes  $[\text{kat}^0]$  voor. In de onderstaande figuur is het evenwicht tussen deze deeltjes weergegeven met structuurformules.



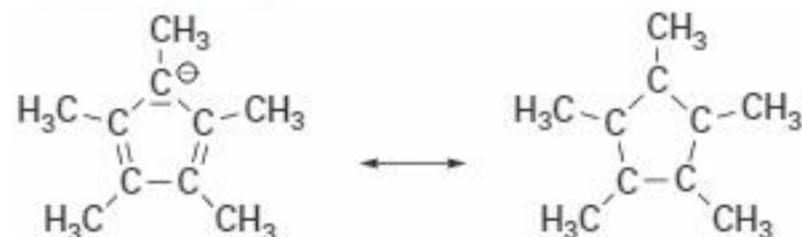
In elk katalysatordeeltje zijn twee iridium-ionen door elektrostatische interacties gebonden aan enkele omringende deeltjes. Deze interacties zijn in de figuur weergegeven met stippellijnen. In de figuur zijn alle formele ladingen aangegeven, behalve de lading van de iridium-ionen. Alle iridium-ionen in de figuur hebben dezelfde lading.

- 2p 5 Leg uit welke lading een iridium-ion in de figuur heeft.

In de onderstaande bijlage is een lewisstructuur van het deeltje  $X^-$  weergegeven. Een andere grensstructuur is onvolledig weergegeven.

- 2p 6 Maak in de bijlage de rechter grensstructuur van het deeltje  $X^-$  compleet.  
 – Geef de formele lading(en) aan.  
 – De C-atomen in deze grensstructuur moeten voldoen aan de octetregel.

#### bijlage bij vraag 6



De gebruikte katalysator is ook werkzaam bij de omzetting van methaanzuur tot  $H_2$  en  $CO_2$  in een auto. Deze omzetting treedt alleen op bij lage pH.

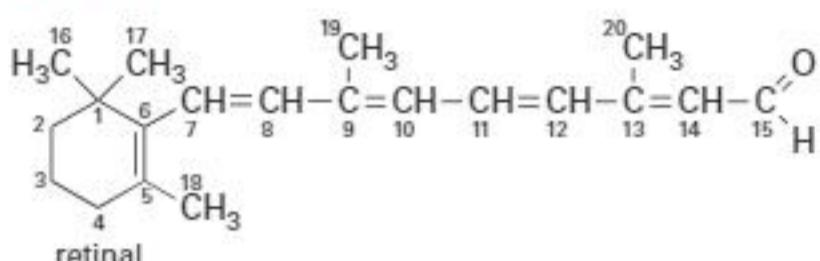
- 2p 7 Leg uit welk van beide katalysatordeeltjes uit de figuur boven vraag 5 overwegend aanwezig is bij lage pH.

## Retinal in het oog

In de cellen van het netvlies bevindt zich het eiwit opsine. In een holte van het opsine-molecuul is een molecuul retinal covalent gebonden aan de restgroep van de aminozuureenheid lysine. Bij absorptie van lichtenergie treedt in retinal op één plaats in het molecuul *cis-trans*-isomerisatie op.

Als gevolg van deze verandering ontstaat uiteindelijk een signaal in de oogzenuw. In figuur 1 is de structuurformule van retinal weergegeven. Hierbij is informatie over stereo-isomerie in retinal weggelaten.

**figuur 1**



In een retinalmolecuul is *cis-trans*-isomerisatie op een aantal plaatsen mogelijk. De biochémicus George Wald (Nobelprijs 1967) heeft ontdekt dat uitsluitend de dubbele binding tussen C11 en C12 onder invloed van licht isomeriseert van het in opsine aanwezige *cis* naar *trans*; dit is de eerste stap van de waarneming van licht.

- 1p 8 Geef aan bij welke C=C-bindingen in retinal ook *cis-trans*-isomerisatie zou kunnen optreden.

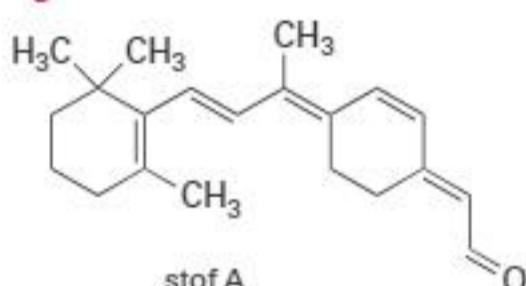
In het onderzoek van Wald is gebruikgemaakt van retinal-analoga. Dit zijn stoffen waarbij in het retinal molecuul op verschillende plaatsen de *cis-trans*-isomerisatie is geblokkeerd. Hiernaast is de structuurformule van zo'n stof (stof A) weergegeven.

In moleculen van stof A is *cis-trans*-isomerisatie van de dubbele binding tussen C11 en C12 onmogelijk. Dit molecuul kan worden opgevat als een molecuul retinal waarin onder andere een extra koolstofatoom in de structuur is opgenomen.

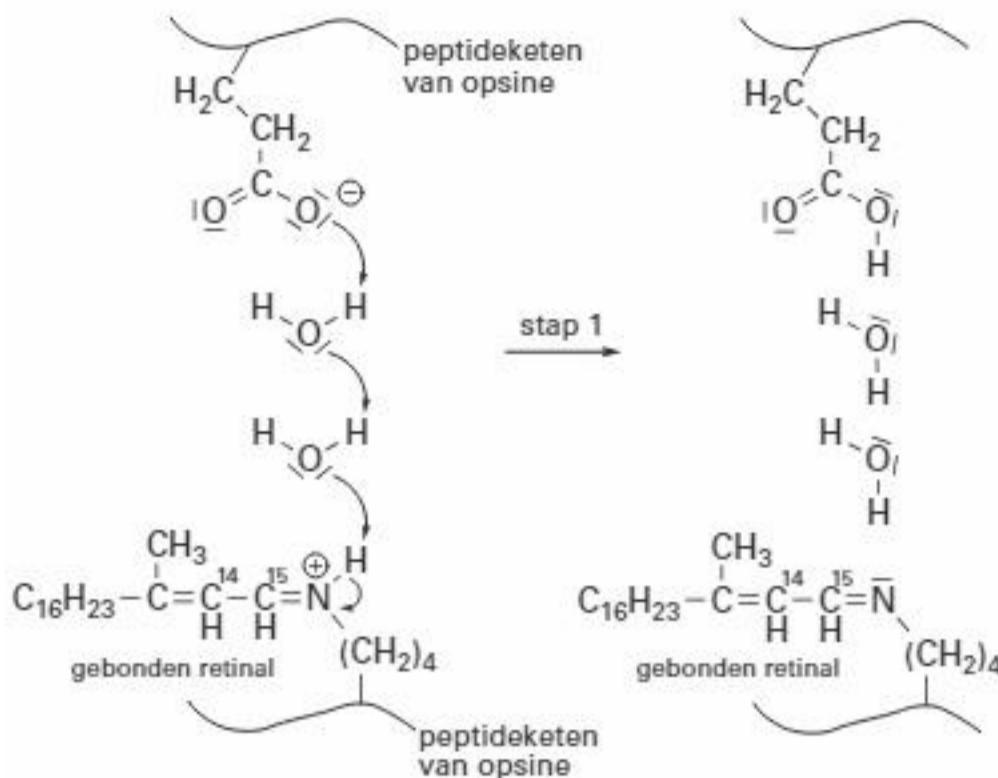
- 3p 9 Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef de nummers van de koolstofatomen van retinal waartussen dit extra koolstofatoom is opgenomen.
  - Leg uit of stof A is afgeleid van 11-*cis*-retinal of van 11-*trans*-retinal.

In figuur 3 is weergegeven hoe retinal is gebonden aan een restgroep van de peptideketen van opsine. Na de isomerisatie wordt retinal losgekoppeld van opsine. In figuur 3 is de eerste stap van het loskoppelen weergegeven. In deze eerste stap spelen twee watermoleculen een belangrijke rol.

**figuur 2**



figuur 3



In de holte van opsine is tegenover het gebonden retinal een restgroep van Glu aanwezig. Door de afstanden en aanwezige ladingen in de holte zijn de watermoleculen links van de pijl op een specifieke wijze georiënteerd ten opzichte van de restgroepen in opsine.

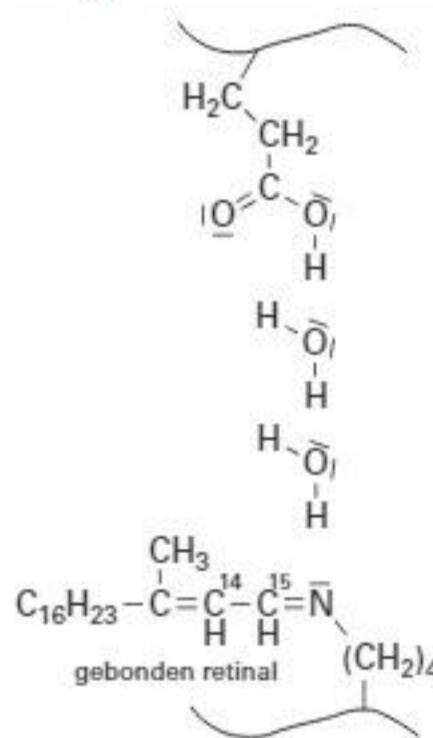
Hierbij spelen waterstofbruggen en nog een andere soort binding een rol.

- 2p 10 Leg uit welke andere soort binding links van de pijl nog meer zorgt voor de oriëntatie van de watermoleculen ten opzichte van de restgroepen in opsine.

De na stap 1 weergegeven watermoleculen blijven aanwezig in de holte van opsine. Ze zijn hierbij onder andere met waterstofbruggen gebonden aan restgroepen van de peptideketen.

- 1p 11 Teken in de figuur 4 een waterstofbrug tussen een molecuul water en een van de weergegeven restgroepen van de peptideketen.

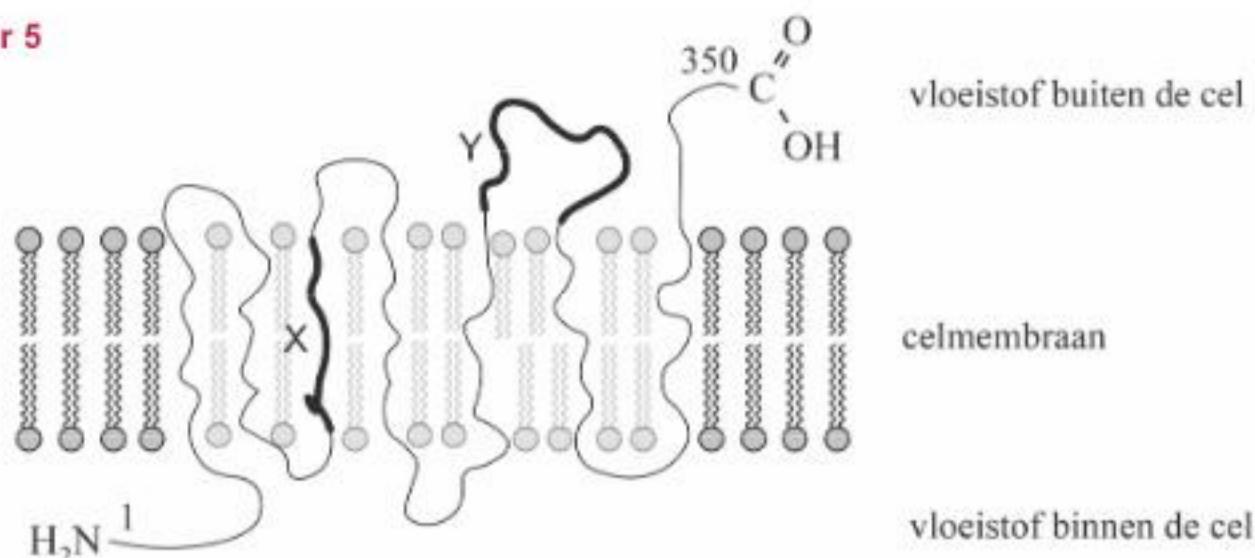
figuur 4



Opsine bevindt zich deels in het celmembraan.

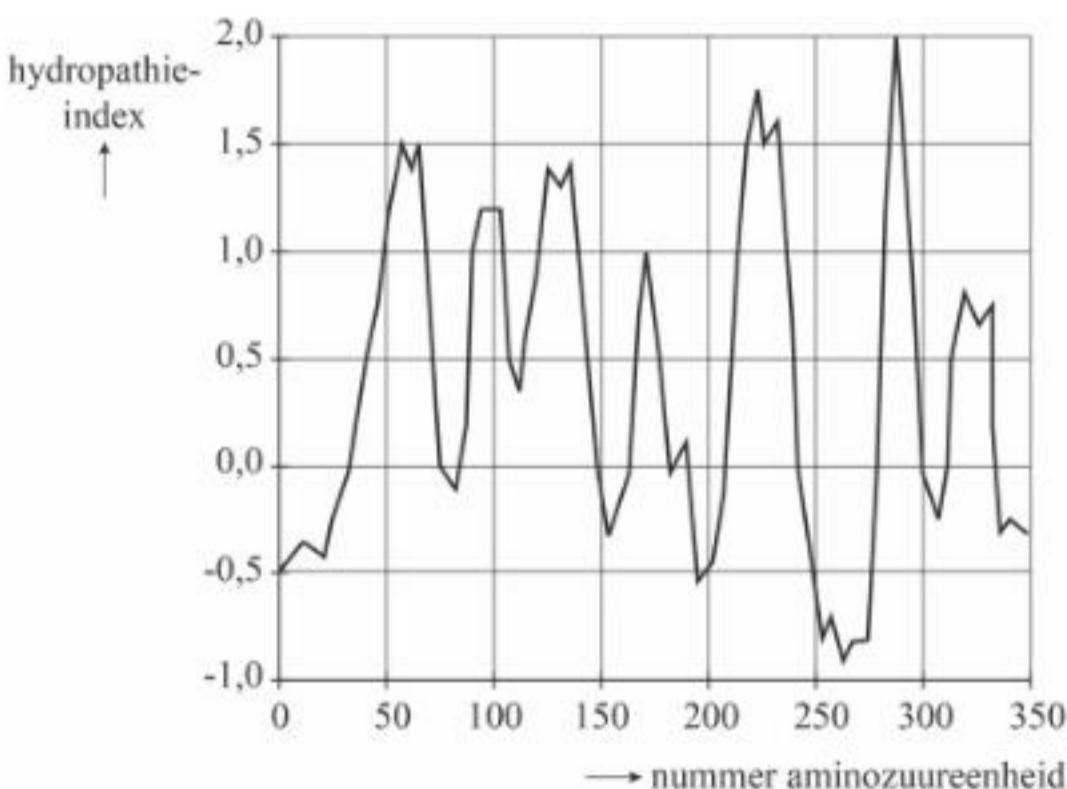
In figuur 5 is vereenvoudigd weergegeven hoe opsine zich volgens onderzoekers in het celmembraan bevindt. Voor de duidelijkheid is een deel van het celmembraan lichter weergegeven.

**figuur 5**



De onderzoekers hebben de modelvoorstelling onder andere gebaseerd op de hydropathie-index. Deze index wordt modelmatig berekend en geeft aan in hoeverre een aminozuureenheid in een peptideketen hydrofiel of hydrofoob is. Hoe hoger de hydropathie-index, hoe meer de hydrofobe eigenschappen overheersen. In figuur 6 is de hydropathie-index van alle aminozuureenheden van opsine weergegeven.

**figuur 6**



In figuur 5 zijn twee gebieden uit opsine vetgedrukt en aangeduid met de letters X en Y. Deze gebieden bevatten een aantal aminozuureenheden. De nummers van deze aminozuureenheden kunnen met behulp van figuur 6 worden geschat.

- 2p 12 Geef met behulp van figuur 5 en figuur 6 een schatting van de nummers van de aminozuureenheden die horen bij de gebieden X en Y.

Noteer je antwoord als volgt:

- gebied X: nummers ... t/m ...
- gebied Y: nummers ... t/m ...

In het menselijk oog komen drie verschillende varianten van opsine voor. De peptideketen van elke opsine heeft een iets andere ruimtelijke bouw. Hierdoor treedt de isomerisatie van retinal op bij verschillende kleuren licht, zoals rood en groen. De genen voor de 'rode' en 'groene' opsine zijn voor een groot deel aan elkaar gelijk. Hieronder is een gedeelte van het coderende DNA van beide varianten weergegeven vanaf de base met nummer 826. De genetische code van beide opsines begint hierbij bij base nummer 1. Het startcodon codeert voor de aminozuureenheid met nummer 1.

	↓ 826
'rode' opsine	G C G T A C T G C G T C T G C ...
'groene' opsine	G C A T T C T G C T T C T G C ...

Uit de bovenstaande basenvolgordes valt het nummer af te leiden van de eerste aminozuureenheid die in 'rode' opsine anders is dan in 'groene' opsine.

- 2p 13 Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef het nummer van de eerste aminozuureenheid die in 'rode' opsine anders is dan in 'groene' opsine.
- Geef aan welke aminozuureenheid zich op die plaats in de peptideketen van 'rode' opsine bevindt en welke zich in de peptideketen van 'groene' opsine bevindt.

## Slim gebruik van glycerol

Biodiesel wordt geproduceerd door methanol toe te voegen aan plantaardige olie of dierlijk vet. Hierbij treedt een reactie op waarbij esters van methanol en vetzuren worden gevormd. Tevens wordt hierbij glycerol (propaan-1,2,3-triol) gevormd.

- 3p 14 Geef de reactievergelijking van de vorming van biodiesel uit vet.

- Gebruik structuurformules.
- Noteer de koolwaterstofrest van een vetzuur als  $C_xH_y$

Door de toename van de biodieselproductie is een overschat aan glycerol op de wereldmarkt ontstaan. Dit heeft geleid tot onderzoek naar de omzetting van glycerol met behulp van micro-organismen tot waardevolle chemicaliën. Een van deze chemicaliën is butaandizuur. De bacterie *Anaerobiospirillum succiniciproducens* kan onder zuurstofloze omstandigheden glycerol omzetten tot butaandizuur ( $C_4H_6O_4$ ). De vergelijking van deze omzetting is hieronder weergegeven.



De bacterie kan ook glucose omzetten tot butaandizuur. In deze reactie (reactie 2) reageert glucose met koolstofdioxide tot butaandizuur, ethaanzuur en water. In reactie 2 ontstaat 4 mol butaandizuur uit 3 mol glucose.

- 3p 15 Geef de vergelijking van reactie 2 in molecuulformules.

Reactie 1 verloopt traag. Reactie 2 verloopt sneller, maar door de bacteriën worden dan meer bijproducten gevormd.

Een groep onderzoekers heeft onderzocht of de productie van butaandizuur uit glycerol kan worden geoptimaliseerd door de bacteriën gelijktijdig glycerol en glucose te laten omzetten.

Ze voerden een serie experimenten uit waarbij zij de bacteriën lieten groeien in een mengsel met enkel glycerol en in mengsels van glycerol met wisselende gehalten glucose.

Bij een mengsel met een startgehalte van  $5,00 \text{ g L}^{-1}$  glycerol en  $1,25 \text{ g L}^{-1}$  glucose werd uiteindelijk  $7,3 \text{ g L}^{-1}$  butaandizuur geproduceerd.

- 4p 16 Bereken het rendement van deze vorming van butaandizuur.
- Neem aan dat alle beginstof geheel werd omgezet.
  - Gebruik gegevens van reactie 1 en 2.

Reacties 1 en 2 zijn beide exotherm. De vrijgekomen energie wordt door de bacteriën gebruikt voor groei.

De vormingswarmte van butaandizuur is  $-9,40 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$  en die van glycerol is  $-6,64 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ .

De reactiewarmte van reactie 2 is  $-1,82 \cdot 10^5 \text{ J}$  per mol butaandizuur. Bij de gebruikte omstandigheden wordt 85% van het butaandizuur gevormd uit reactie 1.

- 4p 17 Bereken de totale reactiewarmte in joule per kg butaandizuur dat wordt gevormd volgens reacties 1 en 2. In de reacties komt water voor als vloeistof.

De vorming van butaandizuur zorgt voor een verlaging van de pH van het reactiemengsel. Om de pH constant te houden, wordt gedurende het experiment natronloog aan het mengsel toegevoegd. Hierdoor vormt zich uiteindelijk een buffer in het reactiemengsel.

- 2p 18 Leg uit dat zich gedurende het experiment een buffer vormt in het reactiemengsel.

Bij het experiment met uitsluitend glycerol bleek dat de opbrengst aan butaandizuur maximaal was als het gehalte glycerol in de reactor constant werd gehouden.

De hoeveelheid glycerol die tijdens het verloop van het experiment moet worden aangevuld, kon worden bepaald door te meten hoeveel NaOH er nodig was om de pH constant te houden.

Bij de gebruikte pH was het door de bacteriën gevormde butaandizuur ( $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4$ ) voor 87% omgezet tot  $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4^{2-}$  en voor 13% tot  $\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_4^-$ .

In het experiment had in totaal 7,50 mL 2,00 M natronloog gereageerd.

- 4p 19 Bereken de massa in g glycerol die is omgezet.
- Neem aan dat het butaandizuur uitsluitend via reactie 1 wordt gevormd.
  - Geef de uitkomst in het juiste aantal significante cijfers.

## Doerian, een delicatesse?

Doerian is een vrucht met een kenmerkende geur. De een houdt ervan terwijl de ander de geur weerzinwekkend vindt. Uit onderzoek is gebleken dat in doerians vooral twee verbindingen geurbepalend zijn: ESET en EMB. Als een van beide verbindingen ontbreekt, is de kenmerkende doerian-geur er niet. De structuurformules van deze verbindingen zijn weergegeven in figuur 1.

**figuur 1**



Gebleken is dat van ESET twee stereo-isomeren voorkomen in doerians.

**figuur 2**

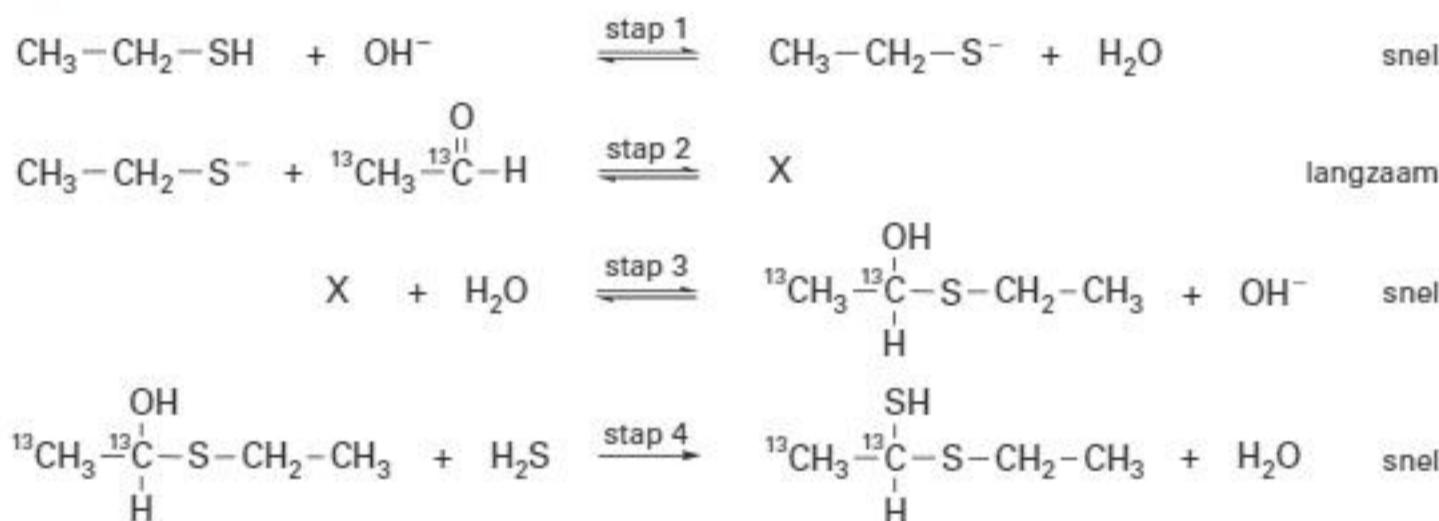
- 1p 20** Teken in figuur 2 de twee stereo-isomeren van ESET.

Uit eerder onderzoek was de aanwezigheid van een groot aantal stoffen in doerians al bekend. Om de gehaltes van deze stoffen te kunnen bepalen, zijn van deze stoffen analoga gemaakt.

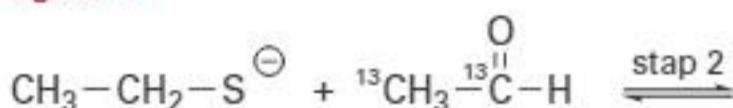
Dit zijn stoffen waarbij in de moleculen een of meer atomen zijn vervangen door bijvoorbeeld  $^2\text{H}$  en  $^{13}\text{C}$ .

In ESET werden twee  $^{12}\text{C}$ -atomen vervangen door  $^{13}\text{C}$ -atomen. De gevormde stof wordt in het vervolg aangeduid met ESET-13.

ESET-13 werd gemaakt door gebruik te maken van ethanal, waarin twee  $^{13}\text{C}$ -atomen aanwezig zijn. In figuur 3 zijn de hierbij verlopende reacties weergegeven.

**figuur 3**

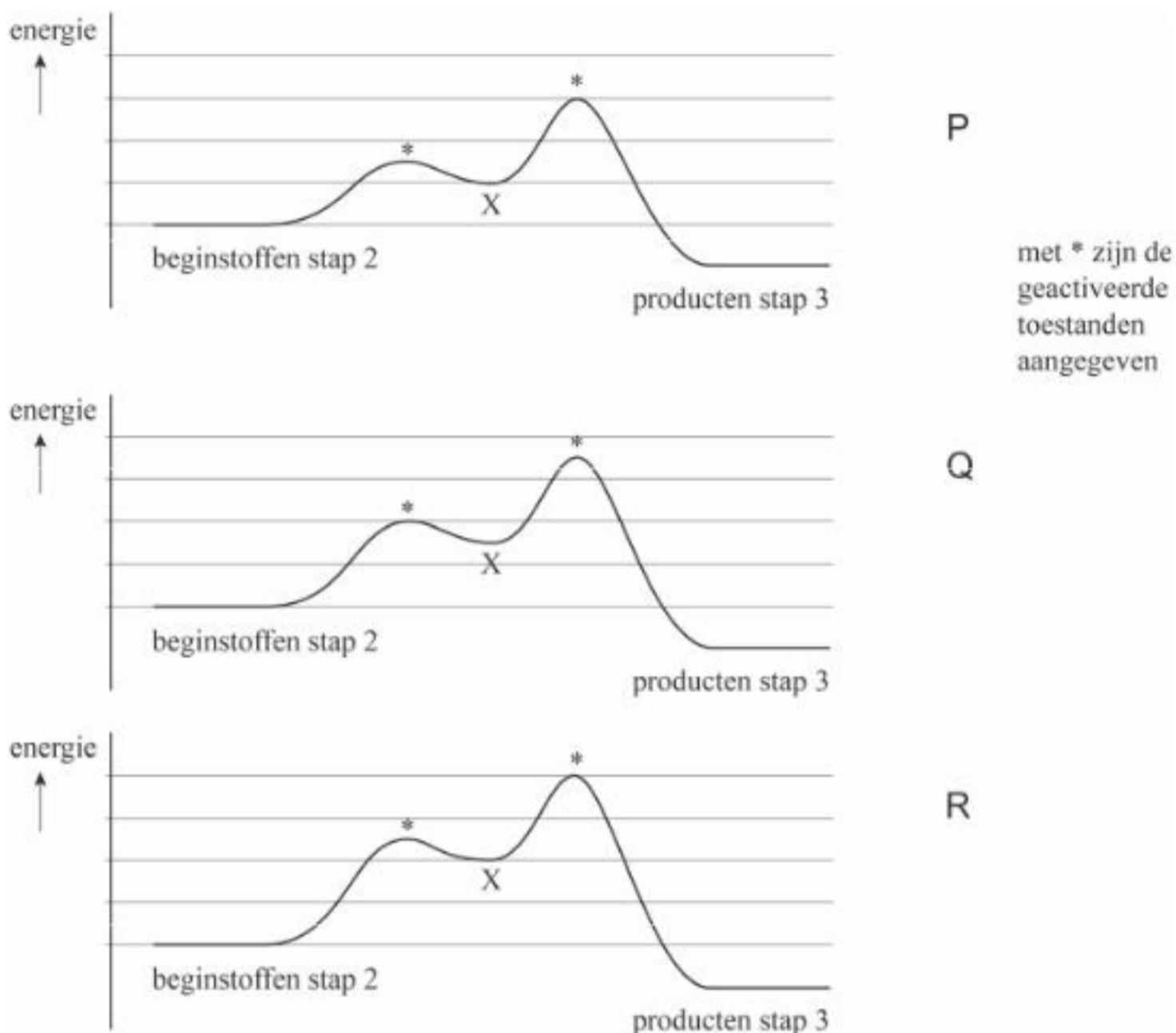
In stap 2 wordt uitsluitend deeltje X gevormd. Het mechanisme van de reactie in stap 2 is hieronder in figuur 4 onvolledig weergegeven.

**figuur 4**

- 3p 21** Maak in figuur 4 het mechanisme van de reactie in stap 2 compleet.
- Geef rechts van de pijl de structuurformule van deeltje X.
  - Geef in alle deeltjes de niet-bindende elektronenparen aan.
  - Geef met pijlen weer hoe elektronenparen worden verplaatst tijdens deze reactie.
  - Geef formele ladingen weer wanneer die voorkomen.

Van de weergegeven omzettingen in figuur 3 is stap 2 de snelheidsbepalende stap. Van stap 2 en 3 zijn drie mogelijke energiediagrammen weergegeven in figuur 5.

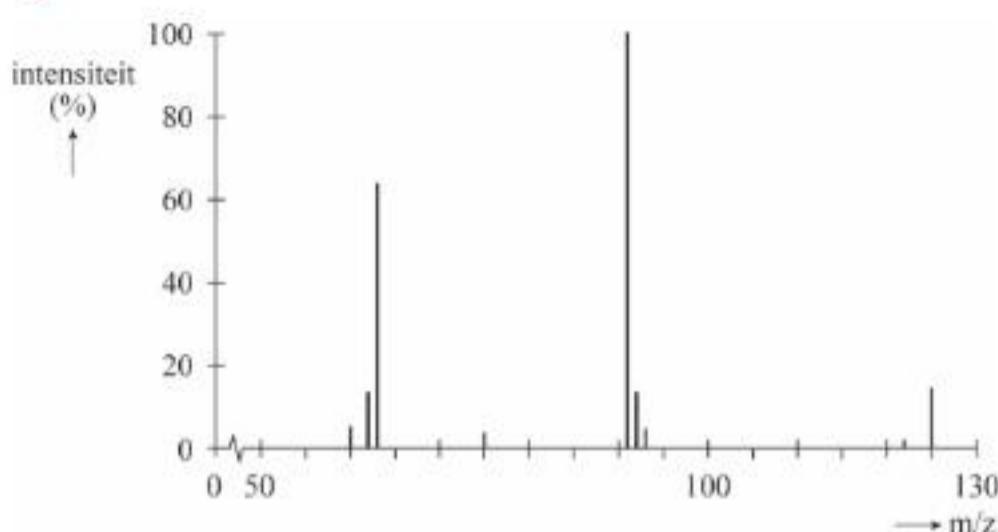
figuur 5



- 2p 22 Leg uit welk van de diagrammen (P, Q of R) in overeenstemming is met de gegevens over de relatieve snelheden van stap 2 en stap 3 in figuur 3.

Na de reacties die zijn weergegeven in figuur 3, is uit het reactiemengsel een stof geïsoleerd met hetzelfde kookpunt als dat van ESET. Om te onderzoeken of deze stof inderdaad ESET-13 is, is van de stof een massaspectrum genomen. Bij de gebruikte techniek worden  $H^+$ -ionen opgenomen door binding aan een vrij elektronenpaar van een S-atoom, waarbij het ion  $[M-H]^+$  wordt gevormd. Uit dit ion worden vervolgens fragmenten gevormd<sup>1)</sup>. In figuur 6 is het massaspectrum van ESET-13 weergegeven.

**figuur 6**



De pieken bij  $m/z = 63$  en bij  $m/z = 91$  kunnen worden verklaard uit het afsplitsen van verschillende neutraal deeltjes van het ion  $[M-H]^+$ .

- 2p 23 Leg uit welk deeltje leidt tot de piek bij  $m/z = 63$  en welk deeltje tot  $m/z = 91$ . Geef de (vereenvoudigde) formules. Maak gebruik van figuur 3.

De pieken bij  $m/z = 63$  en  $m/z = 91$  zijn veel groter dan de andere pieken. Dat wijst er op dat de posieve ionen die daarbij horen relatief stabiel zijn.

- 2p 24 Maak dat aannemelijk door te laten zien dat het ion behorende bij  $m/z = 91$  gestabiliseerd is door mesomerie.

Om van alle aanwezige stoffen het gehalte te kunnen bepalen, wordt doerian-pulp enkele malen geëxtraheerd. Na de extracties wordt het verkregen mengsel met behulp van GC-MS geanalyseerd. Dat houdt in dat het mengsel met behulp van gaschromatografie (GC) wordt gescheiden, waarna elke afzonderlijke stof in een massaspectrometer (MS) wordt geleid.

Van twee doerians is het gehalte EMB bepaald met behulp van gaschromatografie. Ook is met proefpersonen onderzocht welke doerian een sterkere geur had.

Een sterkere geur wordt vooral bepaald door een hoger gehalte van EMB.

Bij dit onderzoek is een interne standaard gebruikt. De signaalsterkte van de interne standaard is recht evenredig met het ingespoten volume.

Wanneer in het onderzoek verschillende volumes zijn ingespoten, kunnen zo de resultaten toch met elkaar worden vergeleken.

In de tabel zijn de meetgegevens van beide doerians weergegeven.

signaalsterkte	interne standaard	EMB
doerian 1	520	7250
doerian 2	320	5610

- 2p 25 Leg met behulp van de tabel uit welke doerian een sterkere geur heeft.

1) Vanaf hier tot en met vraag 24 wijken de auteurs af van de oorspronkelijke examentekst.

Als interne standaard is een oplossing van thiofeen bereid met een molariteit van  $1,20 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$ . Vervolgens werd 10,0  $\mu\text{L}$  van deze oplossing toegevoegd aan 10,0 mL pulp van een doerian.

Bij deze doerian bleek de molverhouding EMB : thiofeen = 1,0 : 0,18. De molaire massa van EMB is 130 g  $\text{mol}^{-1}$ .

Bij de gebruikte gaschromatograaf is de signaalsterkte recht evenredig aan het aantal mol stof.

- 2p **26** Bereken het gehalte EMB in de pulp in  $\text{g L}^{-1}$ .



Je kunt dit examen nakijken met de uitwerkingen hierna óf online op [mijnexamenbundel.nl](https://mijnexamenbundel.nl). Je ziet dan je totaalscore en je score per onderwerp. Deze worden bewaard.



## Hints bij examen 2021-II<sup>1)</sup>

- 1 Methylmethanoaat is de ester van methaanzuur en methanol.
- 2 atoomeconomie =  $\frac{\text{massa van gewenst product}}{\text{massa van alle beginstoffen}} \cdot 100\%$
- 3 Reken het aantal mol H<sub>2</sub> om naar het aantal gram methaanzuur.
- 4 In basisch milieu staat een methaanzuurmolecuul een H<sup>+</sup> af.
- 5 Hoeveel negatieve lading zie je in totaal in het elektrisch neutrale [kat]<sup>0</sup>?
- 6 Welke elektronen kunnen zich verplaatsen?
- 7 Ga na hoe het evenwicht afhankelijk is van de pH.
- 9 Vergelijk stof A met retinal vanaf C15.
- 10 Water bestaat uit dipoolmoleculen.
- 12 De hydrofobe delen bevinden zich in het celmembraan, de hydrofiele delen daarbuiten.
- 13 Elk aminozuur wordt bepaald door een codon (drietal nucleïnebasen).
- 14 Vetten zijn tri-esters van glycerol met de vetzuren C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>COOH.
- 15 Maak in de reactievergelijking eerst C kloppend, daarna pas H of O.
- 16 Het aantal mol glycerol en glucose bepaalt hoeveel butaandizuur er maximaal gevormd kan worden.
- 17 Ga uit van 1 mol gevormd butaandizuur in totaal en gebruik de reactievergelijkingen.
- 18 Waaruit bestaat een buffer?
- 19 De hoeveelheid OH<sup>-</sup> die is gebruikt voor het vormen van C<sub>4</sub>H<sub>5</sub>O<sub>4</sub><sup>-</sup> telt anders mee dan de OH<sup>-</sup> die de vorming van C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>O<sub>4</sub><sup>2-</sup> veroorzaakt.
- 21 Door de minlading is het eerste deeltje nucleofiel. Waar vindt dit deeltje een partiële positieve lading?
- 22 Hoe lees je in de diagrammen de activeringsenergieën af?
- 23 Bereken de massa-afname van het gegeven ion.
- 24 Er zijn twee mesomere structuren van het positieve ion die dat ion relatief stabiel maken.
- 25 Het inspuiten van een kleiner of groter monster heeft geen effect op de verhouding van standaard en EMB.
- 26 Je moet het aantal mol thiofeen vergelijken met het aantal mol EMB.

1) De 1-puntsvragen (hier de vragen 8, 11 en 20) krijgen geen hint.

# Uitwerkingen bij examen 2021-II

## Waterstofauto's die methaanzuur tanken

- 3p 1 Voorbeeld van een juiste reactievergelijking:



methylmethanoaat voor de pijl [1p], methaanzuur en methanol na de pijl [1p], water voor de pijl en kloppend gemaakt [1p]

- 4p 2  $3 \text{H}_2 + \text{CO}_2 + \text{CO} \rightarrow \text{CH}_2\text{O}_2 + \text{CH}_4\text{O}$

formules voor de pijl [1p], formules na de pijl en vergelijking kloppend [1p]

De massa van 1 mol methaanzuur ( $\text{CH}_2\text{O}_2$ ) is  $12,01 + 2,016 + 32,00 = 46,03$  g; die van 1 mol  $\text{H}_2$  is  $2 \cdot 1,008 = 2,016$  g; die van 1 mol  $\text{CO}_2$  is  $44,010$  g en die van 1 mol CO is  $28,010$  g (Binas 99 en 100). [1p]

$$\text{atoomeconomie} = \frac{\text{massa van gewenst product}}{\text{massa van alle beginstoffen}} \cdot 100\% \text{ (Binas 37H)}$$

$$= \frac{46,03}{3 \cdot 2,016 + 44,010 + 28,010} \cdot 100\% = 58,96\% \text{ [1p] (4 significante cijfers)}$$

De atoomeconomie moet in overeenstemming zijn met jouw reactievergelijking.

De atoomeconomie kan ook berekend worden met de totale massa van de producten.

- 4p 3 1 mol  $\text{H}_2$  heeft een massa van 2,016 g. Voor de rit is nodig 5,64 kg (of  $5,64 \cdot 10^3$  g)  $\text{H}_2$

$$\text{overeenkomend met } \frac{5,64 \cdot 10^3 \text{ g}}{2,016 \text{ g mol}^{-1}} = 2,798 \cdot 10^3 \text{ mol H}_2. \text{ [1p]}$$

Volgens de reactievergelijking (zie opgave) is hiervoor  $2,798 \cdot 10^3$  mol  $\text{HCOOH}$  nodig.

1 mol  $\text{HCOOH}$  heeft een massa van 46,03 g (zie uitwerking 2)  $\Rightarrow 2,798 \cdot 10^3$  mol heeft een massa van  $2,798 \cdot 10^3 \cdot 46,03$  g =  $1,288 \cdot 10^5$  g. [1p]

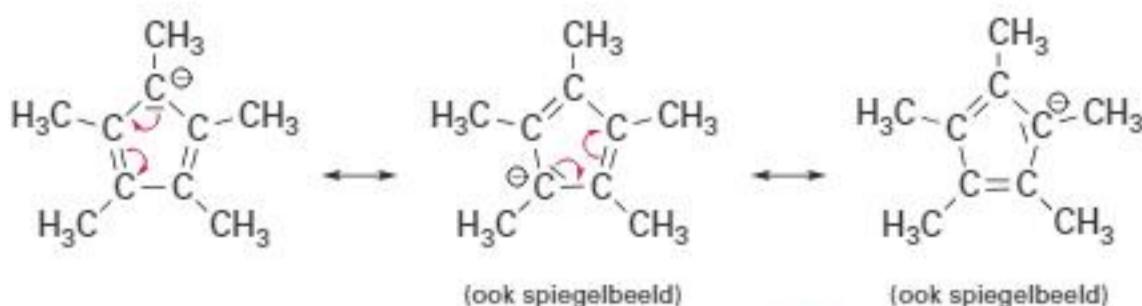
$$\text{Het volume hiervan is } \frac{1,288 \cdot 10^5 \text{ g}}{1,22 \cdot 10^3 \text{ g L}^{-1}} = 106 \text{ L. [1p] 3 significante cijfers [1p]}$$

- 2p 4  $\text{H}_2 + \text{CO}_2 + \text{OH}^- \rightarrow \text{HCOO}^- + \text{H}_2\text{O}$

formules voor de pijl [1p], formules na de pijl en reactievergelijking kloppend [1p]

- 2p 5 Het deeltje  $[\text{kat}]^0$  is neutraal terwijl het zes negatieve ladingen bevat. [1p] De twee iridiumionen hebben dus samen de lading  $6+$   $\Rightarrow$  elk iridiumion heeft lading  $3+$ . [1p] Eenzelfde conclusie is te trekken uit het deeltje  $[\text{H}_4\text{kat}]^{4+}$ .

- 2p 6 Geef één van de vier grensstructuren die anders zijn dan het gegeven voorbeeld:



niet-bindend elektronenpaar op ander C-atoom [1p], formele lading en rest van grensstructuur juist [1p]

## 2p 7 Voorbeelden van een goed antwoord:

In het evenwicht tussen beide soorten katalysatordeeltjes treedt  $[H_4\text{kat}]^{4+}$  op als zuur en  $[\text{kat}]^0$  als base. [1p] Lage pH betekent zuur milieu. Hierin zal de base reageren, dus het meest voorkomende deeltje zal daarin  $[H_4\text{kat}]^{4+}$  zijn. [1p]  
of

Bij lage pH zijn veel  $H^+(H_3O^+)$ -ionen aanwezig. [1p] Het evenwicht is daardoor naar links verschoven, waardoor er voornamelijk  $[H_4\text{kat}]^{4+}$ -ionen zullen zijn. [1p]

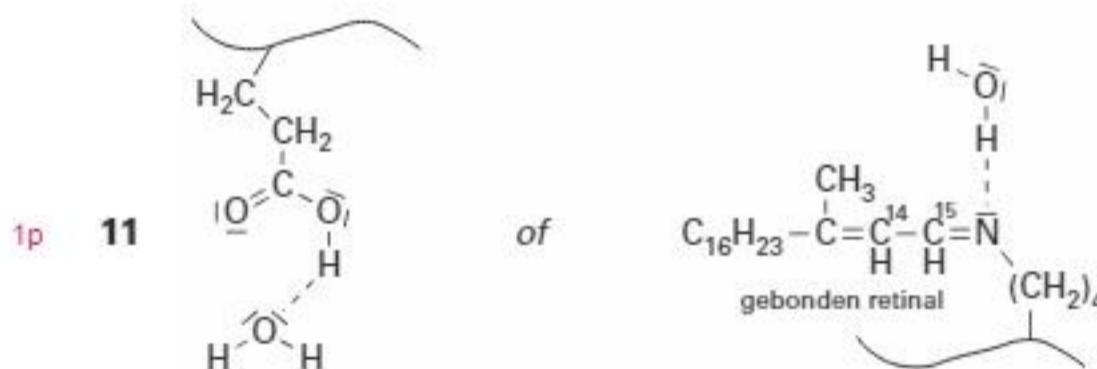
## Retinal in het oog

## 1p 8 Cis-trans-isomerie is ook mogelijk tussen C7 en C8, C9 en C10 en tussen C13 en C14. Er moeten aan beide C-atomen twee verschillende groepen zitten. Dat is ook het geval bij C5 en C6, maar die binding kan door de starre ring maar één positie innemen.

## 3p 9 Het extra C-atoom maakt de ring sluitend door bindingen met C20 met C10. [1p] Het C-atoom, dubbelgebonden aan O, is te vergelijken met C15 in retinal. Het eerste (dubbelgebonden) C-atoom in de extra ring is dan C13 in stof A. De ring die aan C13 in stof A vastzit, bevat de C-atomen C11, C12 en C20.

Bij de dubbele binding in de ring staan de kleinste groepen (de H-atomen) naar dezelfde kant. [1p] Deze (gedwongen) cis-configuratie zal dus afgeleid zijn van 11-cis-retinal. [1p]

Als de kleinste groepen naar dezelfde kant van een dubbele binding staan, staan de grootste groepen allebei naar de andere kant (cis-configuratie). De stand van de twee grootste groepen is bepalend.

2p 10 De extra binding is de ion-dipoolinteractie [1p], want een gedeeltelijk geladen H-atoom (van de bovenste  $H_2O$ ) wordt aangetrokken door het  $-O^-$  ion en een gedeeltelijk geladen O-atoom (van de onderste  $H_2O$ ) wordt aangetrokken door het  $=NR_2^+$  ion. [1p]

## 2p 12 gebied X: nummers 125 t/m 135

gebied Y: nummers 250 t/m 275

De antwoorden moeten liggen binnen de volgende grenzen:

gebied X: nummers 110 t/m 145, gebaseerd op sterk hydrofoob membraan (derde piek) [1p]

gebied Y: nummers 235 t/m 280, gebaseerd op hydrofiel milieu buiten membraan (zesde dal) [1p]

## 2p 13 Er is pas een verschil bij de codons 277 (TAC en TTC) bij de rode respectievelijk groene variant van opsine. [1p]

Dit betekent dat in de rode variant op die plek het aminozuur tyrosine (Tyr) voorkomt en bij de groene variant fenyllalanine (Phe). [1p]

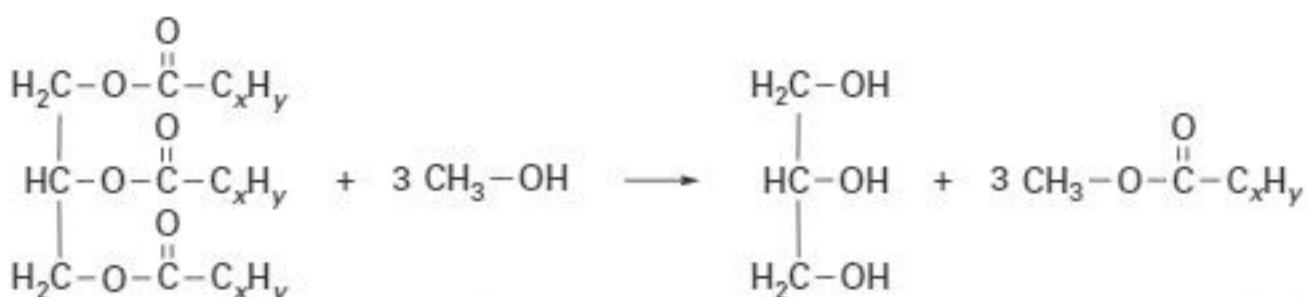
Elk codon bestaat uit drie nucleïnebasen, dus aan base 826 gaan  $\frac{825}{3} = 275$  codons vooraf.

De codons 276 (GCC en GCA) coderen allebei voor het aminozuur alanine (Binas 71G).

TAC in DNA geeft UAC in mRNA en codeert voor het aminozuur tyrosine; TTC in DNA geeft UUC in mRNA en codeert voor het aminozuur fenyllalanine.

## Slim gebruik van glycerol

- 3p 14 Mogelijke weergave van de reactievergelijking:



*vet en methanol links van pijl [1p], methylester van het vetzuur rechts van pijl [1p], glycerol rechts van pijl en reactievergelijking kloppend [1p]*

- 3p 15  $3 \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 2 \text{CO}_2 \rightarrow 4 \text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4 + 2 \text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$  (reactie 2)

*$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  voor de pijl en  $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4$  en  $\text{H}_2\text{O}$  na de pijl [1p],  $\text{CO}_2$  voor de pijl en  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$  (of  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) na de pijl [1p], kloppend gemaakt [1p]*

- 4p 16 De massa van 1 mol glycerol ( $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ ) is  $3 \cdot 12,01 + 8 \cdot 1,008 + 3 \cdot 16,00 = 92,08 \text{ g}$  (Binas 99). De massa van 1 mol glucose is  $180,16 \text{ g}$  (Binas 98). [1p]

De massa van 1 mol butaandizuur ( $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4$ ) is  $4 \cdot 12,01 + 6 \cdot 1,008 + 4 \cdot 16,00 = 118,1 \text{ g}$ .

Per L wordt  $5,00 \text{ g}$  glycerol omgezet. Dus wordt  $\frac{5,00 \text{ g}}{92,08 \text{ g mol}^{-1}} = 5,43 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$  omgezet.

Hieruit kan volgens reactie 1 (zie opgave) maximaal  $5,43 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$  butaandizuur ontstaan.

Ook wordt  $1,25 \text{ g}$  glucose omgezet, dat is in mol:  $\frac{1,25 \text{ g}}{180,16 \text{ g mol}^{-1}} = 6,94 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$ .

Hieruit kan volgens reactie 2 (zie uitwerking 15) maximaal  $\frac{4}{3} \cdot 6,94 \cdot 10^{-3} = 9,25 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$  butaandizuur ontstaan. [1p]

In totaal kan dus  $5,43 \cdot 10^{-2} + 0,925 \cdot 10^{-2} = 6,36 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$  butaandizuur ontstaan.

Dus maximaal kan:  $6,36 \cdot 10^{-2} \text{ mol} \cdot 118,1 \text{ g mol}^{-1} = 7,51 \text{ g}$  butaandizuur ontstaan. [1p]

Er wordt echter  $7,3 \text{ g}$  geproduceerd  $\Rightarrow$  het rendement is  $\frac{7,3 \text{ g}}{7,51 \text{ g}} \cdot 100\% = 97\%$ . [1p]

(2 significante cijfers)

- 4p 17 Reactie 1:  $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4 + \text{H}_2\text{O(l)}$

reactiewarmte  $\Delta E = \sum E_{\text{vorming reactieproducten}} - \sum E_{\text{vorming beginstoffen}} =$

$E_{\text{vorming butaandizuur}} + E_{\text{vorming water}} - E_{\text{vorming glycerol}} - E_{\text{vorming koolstofdioxide}} =$

$-9,40 \cdot 10^5 + (-2,86 \cdot 10^5) - (-6,64 \cdot 10^5) - (-3,935 \cdot 10^5) = -1,68 \cdot 10^5 \text{ J}$  per mol butaandizuur (deels gegeven, deels Binas 57) [2p]

De reactiewarmte van reactie 2 is  $-1,82 \cdot 10^5 \text{ J}$  per mol butaandizuur. Omdat 85% van het butaandizuur gevormd wordt uit reactie 1 (gegeven), is de totale reactiewarmte per mol butaandizuur:  $(0,85 \cdot -1,68 + 0,15 \cdot -1,82) \cdot 10^5 \text{ J} = -1,71 \cdot 10^5 \text{ J}$  [1p]

1 mol butaandizuur heeft een massa van  $118,1 \text{ g}$  (zie uitwerking 16).

Als de reactiewarmte van  $118,1 \text{ g}$  butaandizuur  $-1,71 \cdot 10^5 \text{ J}$  blijkt te zijn, is de

reactiewarmte per kg butaandizuur  $\frac{1000 \text{ g}}{118,1 \text{ g}} \cdot -1,71 \cdot 10^5 \text{ J} = -1,4 \cdot 10^6 \text{ J}$ . [1p]

(2 significante cijfers)

- 2p 18 Door toevoegen van natronloog wordt een deel van het butaandizuur omgezet in de geconjugeerde base:  $\text{HOOCCH}_2\text{CH}_2\text{COOH} + \text{OH}^- \rightarrow \text{HOOCCH}_2\text{CH}_2\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O}$  [1p]

Een mengsel van een zwak zuur met (voldoende van) zijn geconjugeerde base heeft een bufferende werking (houdt de pH redelijk constant). [1p]

*Het buffermengsel kan ook bestaan uit  $\text{HOOCCH}_2\text{CH}_2\text{COO}^-$  en  $\text{HOOCCH}_2\text{CH}_2\text{COO}^-$ .*

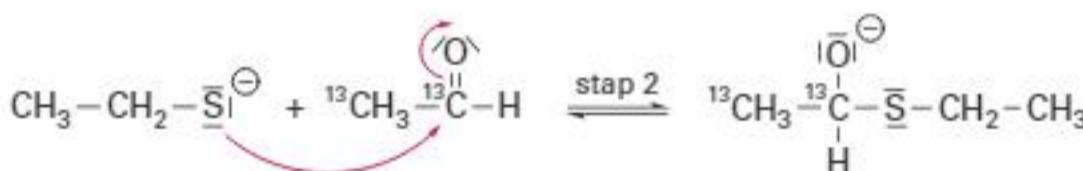
- 4p **19** Natronloog van 2,00 molair bevat 2,00 mol OH<sup>-</sup> per liter. 7,50 mL bevat dus:  
 $7,50 \text{ mL} \cdot 2,00 \text{ mmol mL}^{-1} = 15,00 \text{ mmol OH}^-$  [1p]  
 Hiermee is aan butaandizuur ook 15,00 mmol H<sup>+</sup> onttrokken.  
 Stel de totaal omgezette hoeveelheid butaanzuur op x mmol.  
 Dan geldt:  $2 \cdot 0,87x + 0,13x = 15,00 \Rightarrow x = \frac{15,00}{1,87} = 8,02$  [1p]  
 Butaandizuur wordt 1 : 1 uit glycerol gevormd (zie reactie 1) dus is 8,02 mmol glycerol gebruikt.  $M_{\text{glycerol}} = 92,08 \text{ g mol}^{-1}$  (zie uitwerking 16), dus is gebruikt:  $8,02 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 92,08 \text{ g mol}^{-1} = 0,74 \text{ g glycerol}$  [1p] 2 significante cijfers [1p]  
*Significantie bepaald door de percentages 13% en 87%. 3 significante cijfers op examen goed gerekend.*

### Doerian, een delicatesse?

- 1p **20** Twee van de omringende groepen moeten verwisseld zijn.



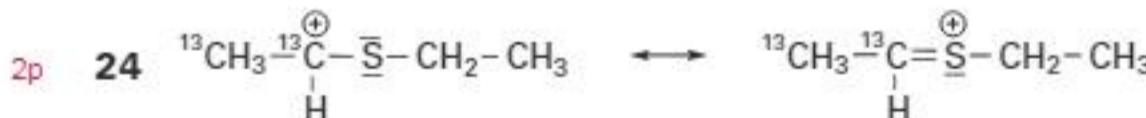
- 3p **21** Juiste weergave van het reactieverloop:



structuurformule met formele lading na evenwichtspijlen [1p], niet-bindende elektronenparen [1p], elektronenverplaatsingen [1p]

- 2p **22** De snelheid van een reactie is afhankelijk van de activeringsenergie. Omdat stap 2 de langzaamste stap is, zal daar de activeringsenergie het hoogst zijn. [1p]  
 Diagram R is daarmee in overeenstemming. [1p]  
*In diagram R is van de beginstoffen tot X (stap 2) de activeringsenergie 2,5 schaaldelen en van X tot producten (stap 3) 2 schaaldelen. Bij de diagrammen P en Q is de activeringsenergie van stap 2 niet hoger dan die van stap 3.*

- 2p **23** De piek van [M-H]<sup>+</sup> ligt bij m/z = 125. De piek bij m/z = 91 laat een massaverlies zien van  $125 - 91 = 34 \text{ u}$ . Dat komt precies overeen met het afsplitsen van een molecuul H<sub>2</sub>S. [1p] De piek bij m/z = 63 laat een massaverlies zien van  $125 - 63 = 62 \text{ u}$ . Dat komt overeen met afsplitsing van een molecuul CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>SH. [1p]  
*Piek 91 ontstaat nadat H<sup>+</sup> door de SH-groep van ESET-13 is gebonden; piek 63 ontstaat nadat H<sup>+</sup> door het andere S-atoom is gebonden.*



structuurformules [1p], elektronenparen en ladingen [1p]

- 2p **25** Bij de doerian 1 is EMB  $\frac{7250}{520} = 13,9$  keer zo groot als de interne standaard.  
 Bij de doerian 2 is EMB  $\frac{5610}{320} = 17,5$  keer zo groot als de interne standaard. [1p]  
 In doerian 2 zit dus meer EMB en deze doerian zal dus sterker geuren. [1p]

- 2p **26**  $10,0 \mu\text{L}$  thiofeenoplossing van  $1,20 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1}$  bevat  $10,0 \cdot 10^{-6} \text{ L} \cdot 1,20 \cdot 10^{-2} \text{ mol L}^{-1} = 1,20 \cdot 10^{-7} \text{ mol}$  thiofeen. Gebracht in  $10,0 \text{ mL}$  pulp wordt de molariteit van thiofeen  $\frac{1,20 \cdot 10^{-7} \text{ mol}}{10,0 \cdot 10^{-3} \text{ L}} = 1,20 \cdot 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ . De molverhouding EMB : thiofeen bleek  $1,0 : 0,18$   $\Rightarrow [\text{EMB}]$  in de pulp bedraagt  $\frac{1,0}{0,18} \cdot 1,20 \cdot 10^{-5} = 6,67 \cdot 10^{-5} \text{ mol L}^{-1}$ . [1p]  
1 mol EMB heeft een massa van  $130 \text{ g}$ , dus het gehalte EMB in de pulp is  $6,67 \cdot 10^{-5} \text{ mol L}^{-1} \cdot 130 \text{ g mol}^{-1} = 8,7 \cdot 10^{-3} \text{ g L}^{-1}$ . [1p] (2 significante cijfers)

## Examen 2022-I

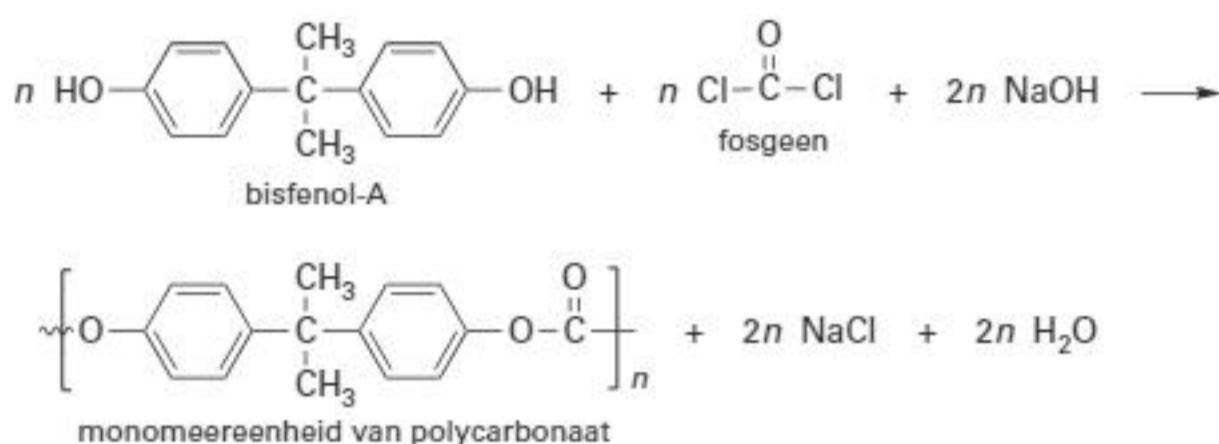
Tenzij anders vermeld, is er sprake van standaardomstandigheden:  
 $T = 298\text{ K}$  en  $p = p_0$ .

### Groene chemie met dimethylcarbonaat

Polycarbonaat is een veelgebruikte kunststof die wordt verwerkt in de omhulsels van elektronische apparatuur en in auto's. Begin deze eeuw werd het grootste deel van alle polycarbonaat nog geproduceerd door middel van de condensatie-polymerisatie van bisfenol-A en fosgeen.

De totaalvergelijking van alle reacties in dit productieproces van polycarbonaat is in figuur 1 vereenvoudigd weergegeven.

figuur 1



Bij dit productieproces worden de beginstoffen gemengd volgens de molverhoudingen in figuur 1. De molaire massa's van de stoffen uit figuur 1 zijn in de tabel gegeven.

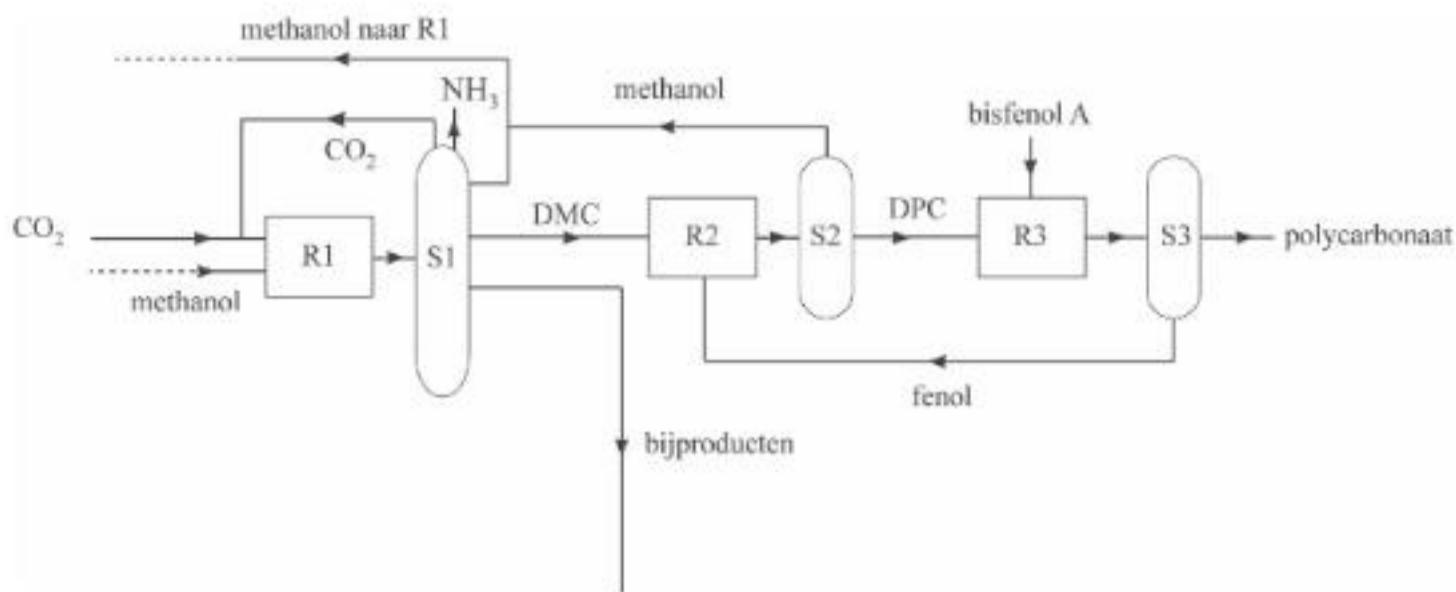
stof	molaire massa ( $\text{g mol}^{-1}$ )
bisfenol-A	228
fosgeen	98,9
NaOH	40,0
monomeereenheid polycarbonaat	254
NaCl	58,4
$\text{H}_2\text{O}$	18,0

Dit productieproces heeft een rendement van 92%.

- 2p 1 Bereken de E-factor van dit productieproces van polycarbonaat.

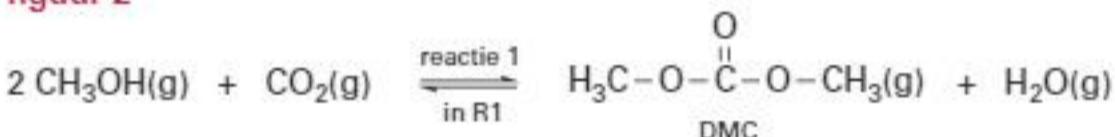
Bij dit proces komt een grote hoeveelheid afval vrij. In een studie is een nieuw productieproces onderzocht dat minder afval veroorzaakt. In het onderzochte proces wordt eerst dimethylcarbonaat (DMC) uit methanol gevormd. In de bijlage bij vraag 7 is het blokschema van het nieuwe proces onvolledig weergegeven.

Voor een beter begrip van de volgende tekst is deze bijlage ook hier afgedrukt.



In figuur 2 is reactie 1 gegeven, dit is de reactie die in reactor 1 (R1) verloopt.

**figuur 2**



De reactiewarmte van de reactie naar rechts is  $+0,67 \cdot 10^5 \text{ J}$  per mol DMC.  
De vormingswarmte van  $\text{CH}_3\text{OH(g)}$  bedraagt  $-2,02 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ .

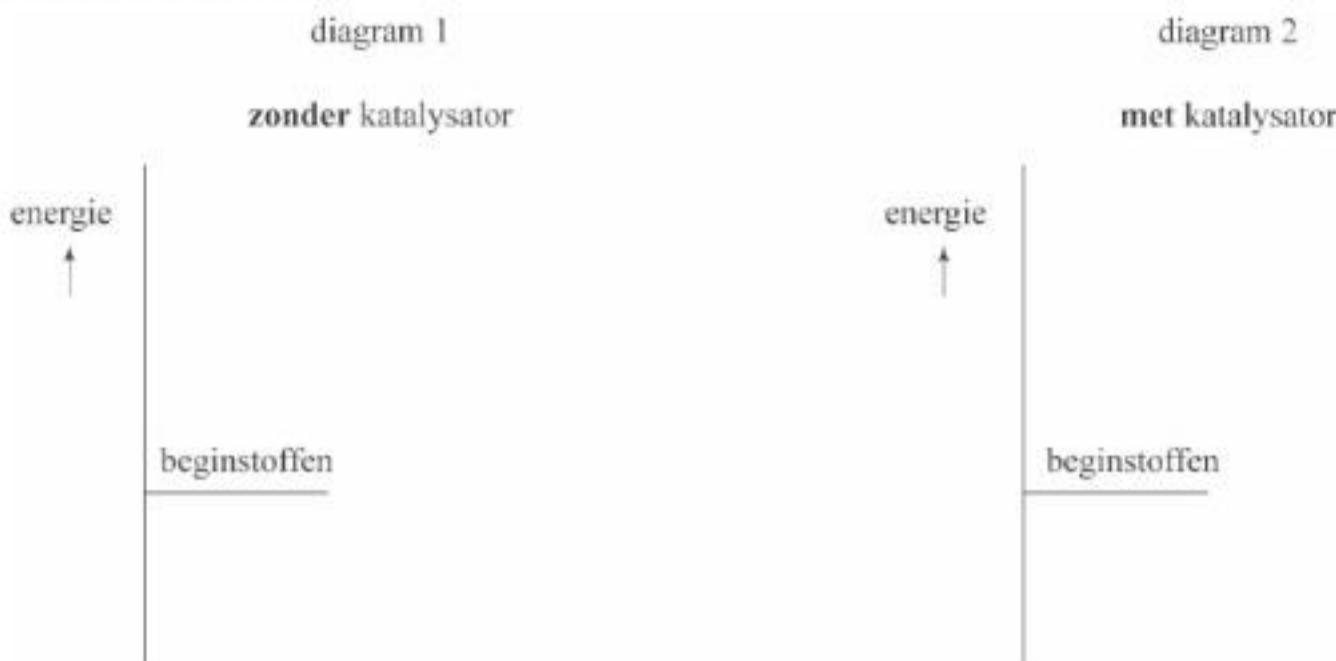
- 3p 2 Bereken de vormingswarmte van DMC.

Om een zo hoog mogelijke omzettingssnelheid te bereiken, is in het onderzoek gebruikgemaakt van een katalysator voor reactie 1.

In de bijlage bij vraag 3 is in diagram 1 het energiediagram van de vorming van DMC zonder katalysator onvolledig weergegeven.

Daarnaast is in diagram 2 het energiediagram van de vorming van DMC mét katalysator onvolledig weergegeven. In beide diagrammen ontbreken de energieniveaus van de geactiveerde toestand en die van de reactieproducten. Beide diagrammen zijn op dezelfde schaal weergegeven.

- 3p 3 Laat zien welke invloed de katalysator heeft op reactie 1, door in de bijlage in beide energiediagrammen de ontbrekende energieniveaus met bijbehorende bijschriften te tekenen.

**bijlage bij vraag 3**

- 2p** **4** Geef de evenwichtsvoorwaarde voor reactie 1. Gebruik DMC als aanduiding voor dimethylcarbonaat.

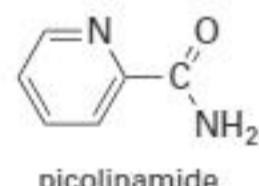
In R1 wordt ook continu de stof cyanopyridine toegevoegd. Deze stof reageert met het in reactie 1 gevormde water. De toevoer van cyanopyridine is zo afgesteld dat geen water R1 verlaat.

- 2p** **5** Leg uit dat het toevoegen van de stof cyanopyridine het rendement van de vorming van dimethylcarbonaat verhoogt.

In R1 reageert 1 mol cyanopyridine met 1 mol water, waarbij uitsluitend 1 mol picolinamide wordt gevormd.

De structuurformule van picolinamide is hiernaast weergegeven.

In scheidingsruimte 1 (S1) wordt het reactiemengsel gescheiden door middel van destillatie. De overmaat CO<sub>2</sub> en methanol wordt als twee aparte stofstromen gerecirkuleerd naar R1. De overige stoffen worden gescheiden in afzonderlijke stromen, te weten DMC, cyanopyridine en picolinamide. In R1 ontstaan ook NH<sub>3</sub> en andere bijproducten, die de fabriek verlaten als afval. De cyanopyridine en picolinamide hebben de hoogste kookpunten van de aanwezige stoffen. Het picolinamide verlaat S1 aan de onderzijde omdat het een hoger kookpunt heeft dan cyanopyridine.



- 4p** **6** Voer de volgende opdrachten uit:
- Teken de structuurformule van cyanopyridine.
  - Verklaar dat het kookpunt van picolinamide hoger is dan dat van cyanopyridine. Gebruik hierbij begrippen op microniveau.

Het in R1 ontstane picolinamide wordt in reactor 4 volledig omgezet tot water en cyanopyridine. De cyanopyridine wordt hergebruikt, terwijl het water als afvalstroom de fabriek verlaat.

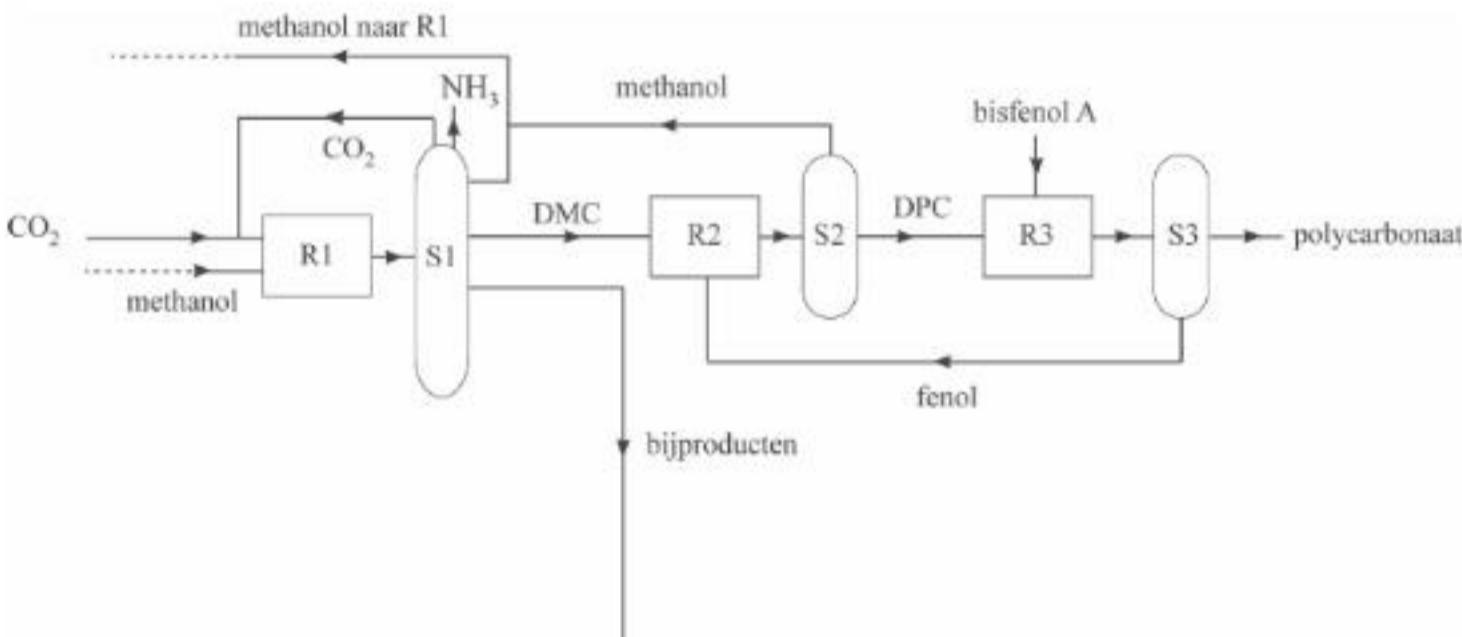
In R4 zijn de omstandigheden zo gekozen dat de reactieproducten als gescheiden stofstromen vrijkomen.

In het blokschema in de bijlage bij vraag 7 ontbreken R4 en de stofstromen van cyanopyridine, picolinamide en water.

- 3p 7 Maak het blokschema in de bijlage compleet.

- Teken R4.
- Teken de ontbrekende stofstromen van cyanopyridine, picolinamide en water. Houd daarbij rekening met hergebruik van stoffen.
- Je hoeft niets aan te geven bij de al getekende stofstroom tussen R1 en S1.
- Geef de stoffen in het schema weer met de volgende cijfers:  
1 = cyanopyridine 2 = picolinamide 3 = water

### bijlage bij vraag 7



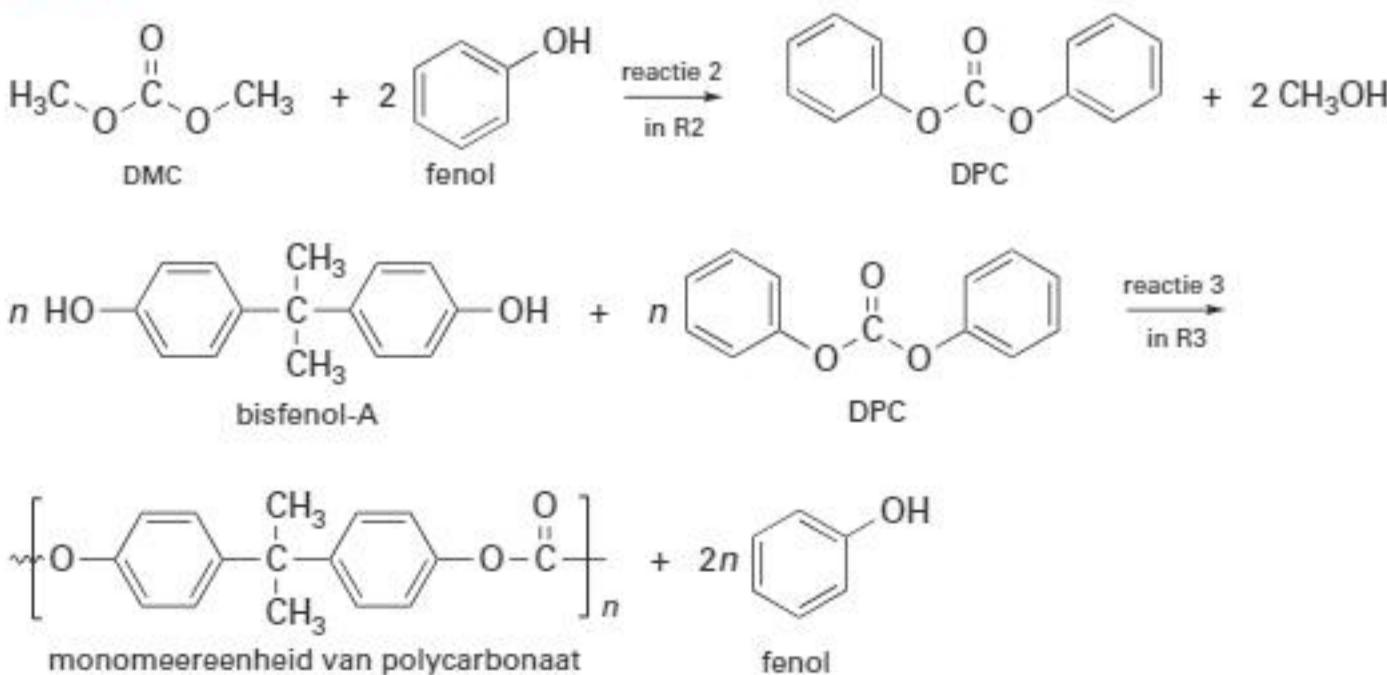
De stroom van DMC uit S1 wordt doorgevoerd naar reactor 2 (R2).

In R2 verloopt reactie 2, waarbij het tussenproduct DPC wordt gevormd.

In reactor 3 (R3) wordt uiteindelijk via reactie 3 het polycarbonaat gevormd.

In figuur 3 zijn beide reacties weergegeven.

**figuur 3**



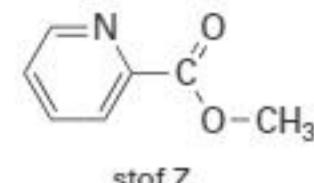
Reactie 2 en reactie 3 verlopen met een rendement van 100%. In het proces bevinden zich de scheidingsruimten S2 en S3.

In S2 wordt het methanol gescheiden van het DPC en in S3 wordt het fenol gescheiden van het polycarbonaat.

Het methanol afkomstig uit S1 en S2 wordt gerecirculeerd naar R1. In een van de nevenreacties in R1 ontstaan ammoniak en stof Z.

De structuurformule van stof Z is hiernaast weergegeven.

De stofstromen van methanol naar R1 zijn in het blokschema bij vraag 7 onvolledig weergegeven. Bij scheidingsprocessen treedt geen verlies van methanol op.



- 3p 8 Leid af met behulp van de reacties die optreden in R1 en R2 of de recirculatie van methanol van S1 en S2 naar R1 een gesloten systeem is, of dat er in het proces netto methanol wordt verbruikt.

## Autobanden

Het rubber van een autoband bestaat uit een mengsel van verschillende polymeren, waaronder natuurrubber. Natuurrubber kan worden opgevat als een polymeer van isopreen (2-methylbuta-1,3-diene). De vorming van natuurrubber uit isopreen is hieronder schematisch weergegeven. De polymeerketens in natuurrubber ontstaan door *cis*-1,4-additie van isopreen. De isopreen-eenheden worden dan aan elkaar gebonden via de koolstofatomen C1 en C4 van isopreen. De koolstofatomen C1 en C4 rondom de dubbele bindingen in natuurrubber staan uitsluitend in de *cis*-configuratie.



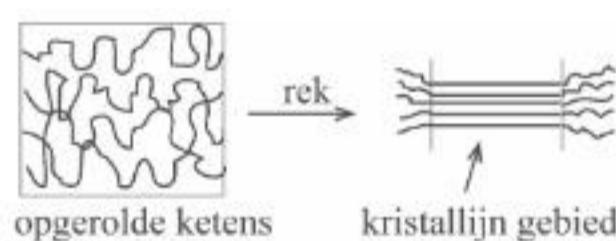
In autobanden wordt ook synthetisch poly-isopreen verwerkt.

Bij de productie van synthetisch poly-isopreen worden polymeerketens gevormd waarbij de monomeer-eenheden op vier verschillende manieren in de keten zijn opgenomen. Behalve de *cis*-1,4-additie verlopen er namelijk ook andere additiereacties.

- 3p 9 Teken de structuurformules van de drie andere monomeereenheden die voorkomen in synthetisch poly-isopreen. Neem aan dat er geen crosslinks worden gevormd.

In de figuur hiernaast is weergegeven dat de polymeerketens in natuurrubber in opgerolde vorm voorkomen. Ook is weergegeven dat wanneer natuurrubber wordt opgerekt, de ketens zich gedeeltelijk strekken. Hierdoor worden zogeheten kristallijne gebieden gevormd.

Bij synthetisch poly-isopreen is het aandeel kristallijne gebieden dat bij het opleggen wordt gevormd kleiner.



- 2p 10 Voer de volgende opdrachten uit:

- Verklaar dat kristallijne gebieden zich kunnen vormen bij het oplekken van natuurrubber.
- Verklaar dat bij synthetisch poly-isopreen het aandeel kristallijne gebieden bij het oplekken kleiner is.

Doordat de kristallijne gebieden ontstaan in het rubber, zijn de delen van de autoband waarin natuurrubber is verwerkt beter bestand tegen vervorming.

Dit kan worden verklaard met behulp van de interacties tussen de polymeerketens. In de ongeordende gebieden en in de kristallijne gebieden zijn de sterktes van deze interacties verschillend.

- 2p 11 Leg uit dat de aanwezigheid van kristallijne gebieden een autoband beter bestand tegen vervorming maakt. Gebruik hierbij begrippen op microniveau.

Behalve natuurrubber bevat een autoband ook SBR. SBR is een copolymer van styreen (fenyletheen,  $C_8H_8$ ) en buta-1,3-dieen ( $C_4H_6$ ) in de massaverhouding 25 : 75.

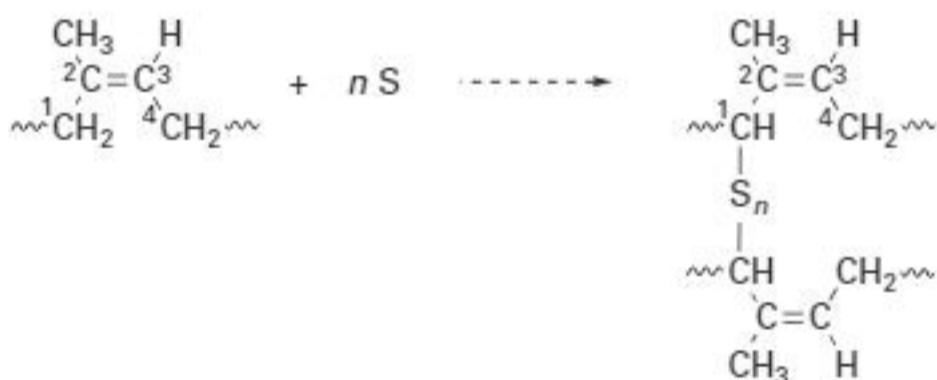
- 3p 12 Bereken het aantal monomeereenheden buta-1,3-dieen per monomeereenheid styreen in SBR.

In de volgende stap van de fabricage van autobanden worden crosslinks gevormd tussen de polymeerketens door toevoeging van zwavel.

De zwavel wordt in een mal gemengd met natuurrubber en SBR.

Vervolgens wordt het mengsel enige tijd op een hoge temperatuur gehouden, waarbij de crosslinks worden gevormd. Alleen onverzadigde polymeren kunnen met zwavel crosslinks vormen.

De vorming van crosslinks is in de figuur hieronder schematisch weergegeven.



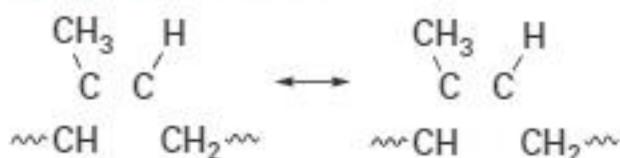
In de eerste stap van het reactiemechanisme van de vorming van crosslinks wordt een C–H binding op C1 verbroken. Hierbij wordt een  $H\cdot$  radicaal afgesplitst zodat op C1 een ongepaard elektron overblijft.

Van het in het polymeer gevormde radicaal bestaan twee grensstructuren.

Beide grensstructuren zijn in de bijlage bij vraag 13 onvolledig weergegeven.

- 2p 13 Maak in de bijlage de beide grensstructuren van het in het polymeer gevormde radicaal compleet.

### bijlage bij vraag 13



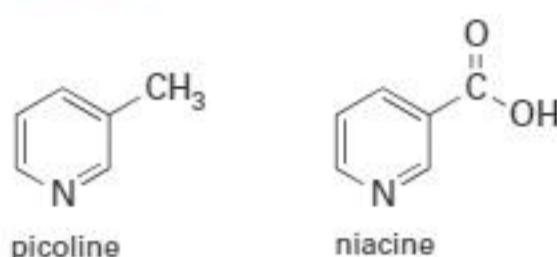
## Niacine

Niacine (vitamine B3) is een vitamine die van belang is voor het functioneren van een groot deel van de enzymsystemen in het lichaam.

Er bestaan productieprocessen om niacine uit goedkope fossiele grondstoffen te produceren. In de eerste stap van zo'n proces wordt picoline gevormd. In de tweede stap wordt picoline omgezet tot niacine.

De structuurformules van picoline en niacine zijn in figuur 1 weergegeven.

**figuur 1**



In de eerste stap wordt picoline gemaakt uit propanal, prop-2-enal en ammoniak.

Prop-2-enal is een aldehyde met molecuulformule C<sub>3</sub>H<sub>4</sub>O.

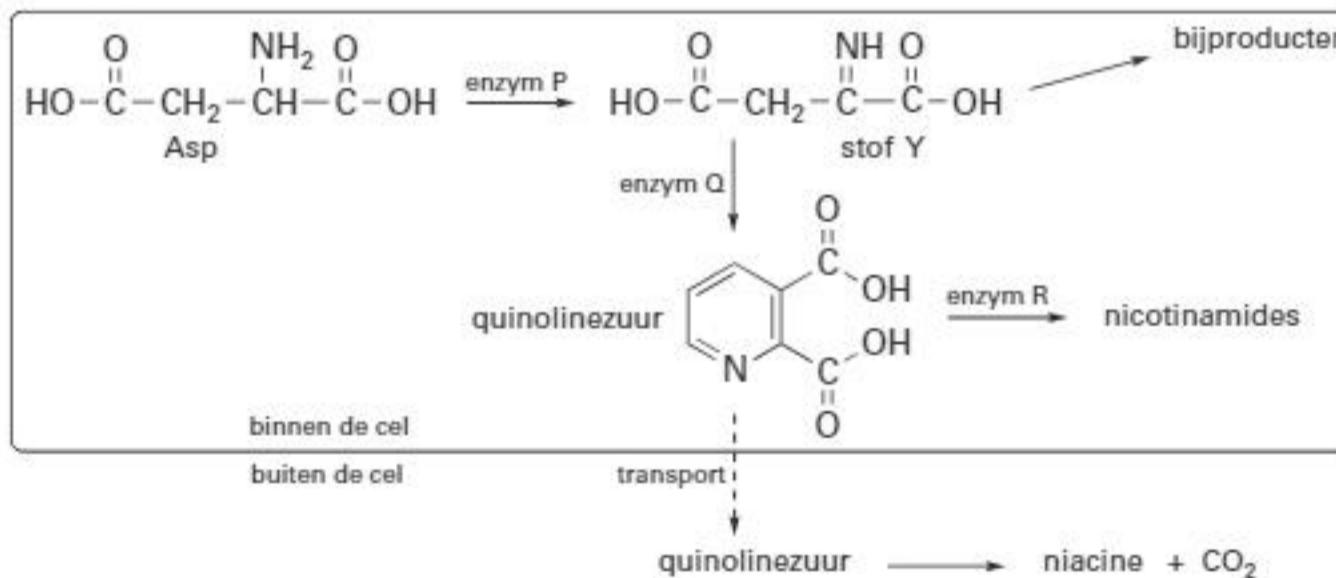
In deze reactie worden behalve picoline ook water en nog één andere stof gevormd.

- 4p 14 Geef de vergelijking van deze vorming van picoline. Gebruik structuurformules voor de organische deeltjes.

Niacine kan ook worden gemaakt op basis van de stof quinolinezuur waarbij wordt gebruikgemaakt van micro-organismen.

Om de productie van quinolinezuur in het micro-organisme zo hoog mogelijk te maken, hebben onderzoekers genetisch gemodificeerde micro-organismen gekweekt. Als gevolg van de modificatie scheiden deze micro-organismen meer quinolinezuur uit. In figuur 2 is deze biosynthese schematisch weergegeven. Binnen de cel zijn drie enzymen (P, Q en R) betrokken bij de vorming van quinolinezuur.

**figuur 2**



Stof Y wordt door enzym Q omgezet tot quinolinezuur. Stof Y reageert echter ook snel en zonder hulp van enzymen tot allerlei bijproducten.

De snelheid van iedere enzymatische omzetting in dit proces wordt bepaald door de concentratie van het betrokken enzym.

In de genetisch gemodificeerde micro-organismen waren de concentraties van de enzymen P, Q en R afwijkend.

Hierbij waren er twee doelstellingen:

- 1 zo min mogelijk andere stoffen dan quinolinezuur produceren;
- 2 zo veel mogelijk quinolinezuur per tijdseenheid produceren.

Bij een presentatie van het onderzoek gebruikten de onderzoekers een tabel waaruit blijkt hoe de concentratie van elk enzym moet veranderen om beide doelstellingen te realiseren. In de bijlage bij vraag 15 is deze tabel onvolledig weergegeven.

- 2p 15 Zet in de tabel achter elk enzym een kruisje in de juiste kolom. Elke kolom moet hierbij één kruisje bevatten.

	concentratie lager dan normaal	concentratie hoger dan normaal	concentratie veel hoger dan normaal
P			
Q			
R			

Alle stoffen in figuur 2 reageren in de molverhouding 1:1. In figuur 2 is ook aangegeven dat een deel van het gevormde quinolinezuur de cel verlaat.

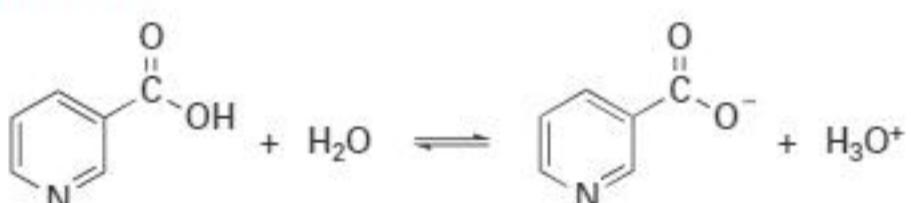
Bij een van de proeven werd zo een oplossing met daarin 5,5 g quinolinezuur verkregen. Het quinolinezuur werd vervolgens door de onderzoekers omgezet tot niacine. Hierbij werd 3,8 g niacine gevormd.

- 3p 16 Bereken het rendement van deze omzetting.

Halverwege de twintigste eeuw is ontdekt dat niacine ook kan worden toegepast als geneesmiddel. Uit onderzoek naar de werking van niacine bleek dat het zuurrest-ion van niacine aan een receptoreiwit bindt.

Niacine is een zwak zuur. In water treedt het evenwicht uit figuur 3 op.

figuur 3



De pH in de vloeistof rondom het receptoreiwit is zodanig, dat **meer** dan 90% van alle niacine-deeltjes voorkomt als zuurrest-ion. De waarde van de  $K_z$  van niacine bij de heersende omstandigheden is  $1,3 \cdot 10^{-5}$ .

- 4p 17 Bereken de pH waarbij 90% van alle niacine-deeltjes voorkomt als zuurrest-ion.  
**Geef de uitkomst in het juiste aantal significante cijfers.**
- 2p 18 Leg uit of de pH van de vloeistof rondom het receptoreiwit hoger of lager is dan de berekende waarde.

In figuur 4 is een gedeelte van de coderende streng van het menselijk DNA weergegeven, beginnend bij de base met nummer 1072. De code voor het receptoreiwit begint bij de base met nummer 1. In het weergegeven gedeelte bevindt zich het stopcodon voor het receptoreiwit.

#### figuur 4

↓  
1072  
CTGGGCCAACCTCTCCTTAAATAACCATGCCA ....

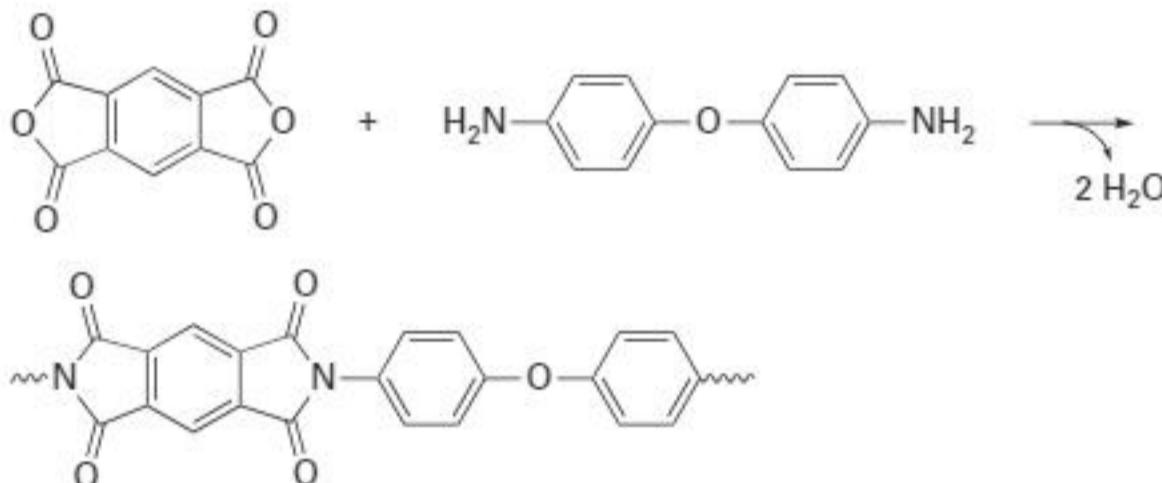
- 2p 19 Bepaal met behulp van figuur 4 het aantal aminozuureenheden in de eiwitketen van het receptoreiwit.
- 4p 20 Teken met behulp van figuur 4 de structuurformule van het uiteinde van de eiwitketen van het receptoreiwit. Dit gedeelte moet bestaan uit de laatste twee aminozuureenheden.

## Stroom uit een pleister

Onderzoekers hebben een pleister ontwikkeld die stroom kan opwekken als hij op de huid is geplakt. Op de pleister is een brandstofcel aangebracht. Met de geleverde energie kunnen bijvoorbeeld medische sensoren worden gevoed.

De elektrodes van de brandstofcel zijn aangebracht op een onderlaag van een niet-geleidend polymeer. De vorming van dit polymeer uit de monomeren is in figuur 1 vereenvoudigd weergegeven.

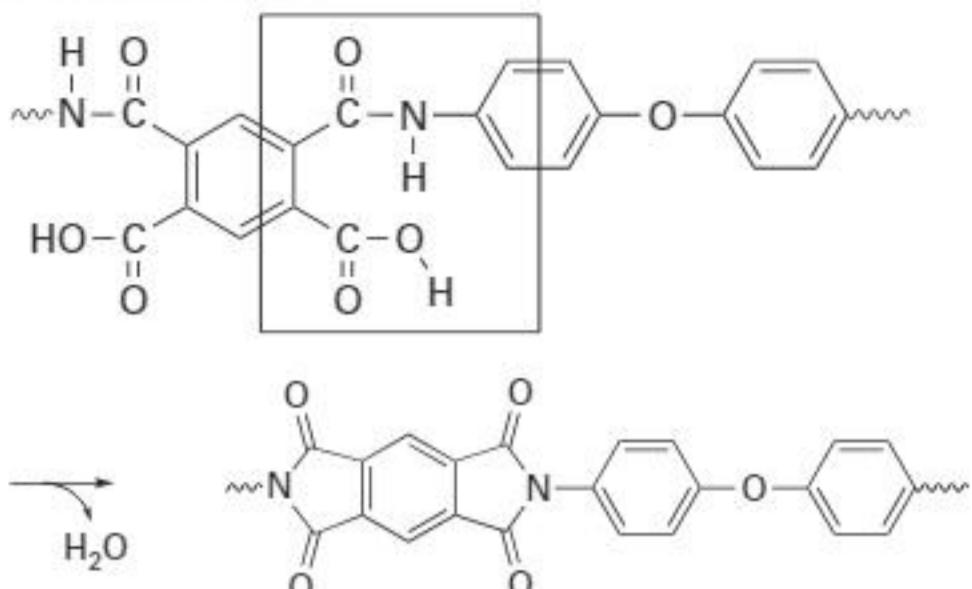
#### figuur 1



In de bijlage bij vraag 21 is het mechanisme van een van de stappen in de vorming van het polymeer onvolledig weergegeven.

- 2p 21 Maak in de bijlage het mechanisme compleet.
- Teken in het omkaderde deel de niet-bindende elektronenparen.
  - Geef in het omkaderde deel met pijlen weer hoe elektronenparen worden verplaatst tijdens de reactie.

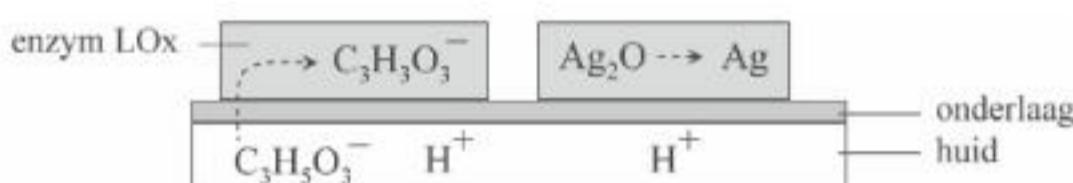
## bijlage bij vraag 21



Op de onderlaag zijn poreuze elektrodes aangebracht. Op de negatieve elektrodes is het enzym lactaat-oxidase (LOx) aanwezig. Op de positieve elektrodes is  $\text{Ag}_2\text{O}$  aangebracht.

In figuur 2 is schematisch weergegeven welke reacties in de elektrodes verlopen.

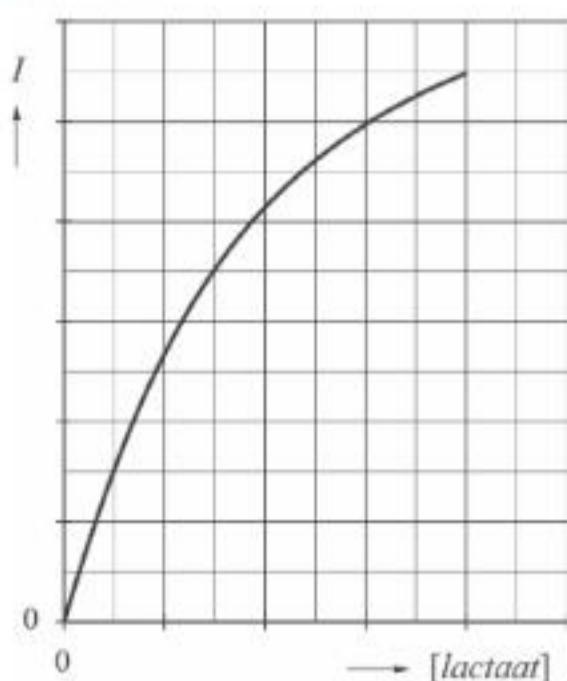
figuur 2



Tijdens lichamelijke inspanning ontstaat in de spieren melkzuur ( $2\text{-hydroxypropaanzuur}$ ,  $\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3$ ). Een deel van het melkzuur wordt met het zweet uitgescheiden. In zweet bevinden zich hierdoor  $\text{H}^+$ -ionen en lactaat-ionen (de zuurrestionen van melkzuur). Het enzym (LOx) maakt de omzetting van de lactaat-ionen naar  $\text{C}_3\text{H}_3\text{O}_3^-$ -ionen mogelijk.

- 2p 22 Geef met behulp van figuur 2 de vergelijkingen van beide halfreacties. Gebruik molecuulformules voor organische deeltjes.

De onderzoekers hebben onderzocht hoe de stroomsterkte  $I$  afhangt van de concentratie lactaat. In figuur 3 zijn de resultaten van hun metingen vereenvoudigd weergegeven.

**figuur 3**

Figuur 3 kan ook worden gelezen als een diagram waarin de reactiesnelheid van de omzetting van lactaat is uitgezet tegen de concentratie lactaat. Men zorgde ervoor dat tijdens het experiment de hoeveelheid  $\text{Ag}_2\text{O}$  en enzym niet veranderde.

- 1p **23** Verklaar dat bij hogere concentraties lactaat de reactiesnelheid minder toeneemt dan bij lagere concentraties.

In een praktijkproef werd een pleister op de arm van een sporter bevestigd. Tijdens lichamelijke inspanning werd gedurende 10 minuten gemiddeld een lading van  $1,2 \cdot 10^{-3} \text{ C}$  per seconde getransporteerd.

Een mol elektronen heeft een lading van  $9,65 \cdot 10^4 \text{ C}$ .

- 4p **24** Bereken de massa in gram lactaat ( $\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3^-$ ) die in die tijd is omgezet.  
Neem aan dat in de brandstofcel geen andere reacties optreden.  
**Geef de uitkomst in het juiste aantal significante cijfers.**

 Je kunt dit examen nakijken met de uitwerkingen hierna óf online op [mijnexamenbundel.nl](https://mijnexamenbundel.nl). Je ziet dan je totaalscore en je score per onderwerp. Deze worden bewaard.



## Hints bij examen 2022-I<sup>1)</sup>

- 1 Gebruik  $n = 1$ .
- 2 De reactiewarmte ( $\Delta E$ ) is hier gegeven. Je moet nu een van de vormingswarmtes berekenen.
- 3 De reactiewarmte is positief. Is de reactie dan endotherm of exotherm?
- 4 Let op de coëfficiënt die voor methanol staat.
- 5 Er treedt evenwichtsverschuiving op.
- 6 Welke soort binding tussen picolinamide-moleculen komt niet voor tussen cyanopyridine-moleculen?
- 7 Cyanopyridine wordt twee keer gerecirkuleerd.
- 8 Methanol is bij drie reacties betrokken.
- 9 Er kan onder andere ook 1,2- en 3,4-additie plaatsvinden.
- 10 Om een kristallijn gebied te vormen, moeten de ketens dicht bij elkaar kunnen liggen.
- 11 Benoem de soort binding tussen de polymeerketens.
- 12 Ga uit van 100 g SBR.
- 13 De dubbele binding kan ook van plaats veranderen.
- 14 Vergeet niet de reactievergelijking kloppend te maken.
- 15 Hoe zorg je ervoor dat uit stof Y zo min mogelijk nevenproducten ontstaan en uit quinolinezuur zo min mogelijk nicotinamides?
- 16 Zie Binas 37H voor de formule van rendement.
- 17 Hoeveel procent van niacine is ongesplitst?
- 18 Gegeven is dat meer dan 90% van het niacine is gesplitst. Hoe verandert dat jouw antwoord op vraag 17?
- 19 Bij base 1071 eindigt een codon. Het hoeveelste aminozuur is dat?
- 20 Gebruik Binas 71G en 67H1.
- 21 Er moeten vier pijlen getekend worden.
- 22 Alle formules die je nodig hebt, behalve één, staan in figuur 2.
- 24 Gebruik de molverhouding tussen lactaat en elektronen uit een van de halfreacties van onderdeel 22.

1) De 1-puntsvragen (hier alleen vraag 23) krijgen geen hint.

# Uitwerkingen bij examen 2022-I

## Groene chemie met dimethylcarbonaat

- 2p 1 Voor de E-factor geldt:  $E\text{-factor} = \frac{m_{\text{beginstoffen}} - m_{\text{verkregen gewenst product}}}{m_{\text{verkregen gewenst product}}}$

De beginstoffen zijn bisfenol-A, fosgeen en NaOH (reactievergelijking). De massa's daarvan zijn respectievelijk 228 g, 98,9 g en  $2 \cdot 40,0 = 80,0$  g (zie tabel). 1 mol van één monomeereenheid van polycarbonaat (het gewenste product) heeft een massa van 254 g (tabel). Met een rendement van 92% is de massa van het verkregen gewenste product:  $0,92 \cdot 254 = 234$  g. [1p]

$$E\text{-factor} = \frac{(228 \text{ g} + 98,9 \text{ g} + 80,0 \text{ g}) - 234 \text{ g}}{234 \text{ g}} = 0,74 \quad [1p] \quad (2 \text{ significante cijfers})$$

*Er wordt uitgegaan van  $n = 1$ . Bij een andere  $n$  is de uitkomst hetzelfde.*

- 3p 2 De reactiewarmte van de reactie is  $\Delta E = \sum E_{\text{vorming reactieproducten}} - \sum E_{\text{vorming beginstoffen}} = E_{\text{vorming DMC}} + E_{\text{vorming waterdamp}} - E_{\text{vorming methanol}} - E_{\text{vorming koolstofdioxide}} = +0,67 \cdot 10^5 \text{ J}$   
 $E_{\text{vorming DMC}} + (-2,42 \cdot 10^5) - (2 \cdot -2,02 \cdot 10^5) - (-3,935 \cdot 10^5) = +0,67 \cdot 10^5 \text{ J} \quad (\text{gegeven})$   
 $E_{\text{vorming DMC}} = +0,67 \cdot 10^5 + 2,42 \cdot 10^5 - 4,04 \cdot 10^5 - 3,935 \cdot 10^5 = -4,89 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$   
*absolute vormingswarmtes [1p], verwerking van coëfficiënten [1p], rest van berekening en eenheid [1p]*

- 3p 3 Mogelijke antwoorden:

diagram 1

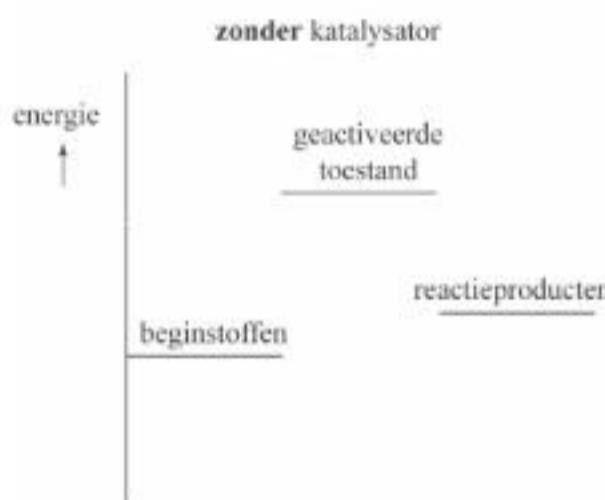
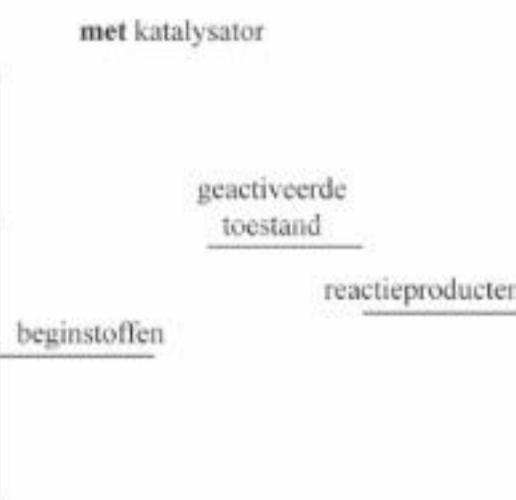


diagram 2



of

diagram 1

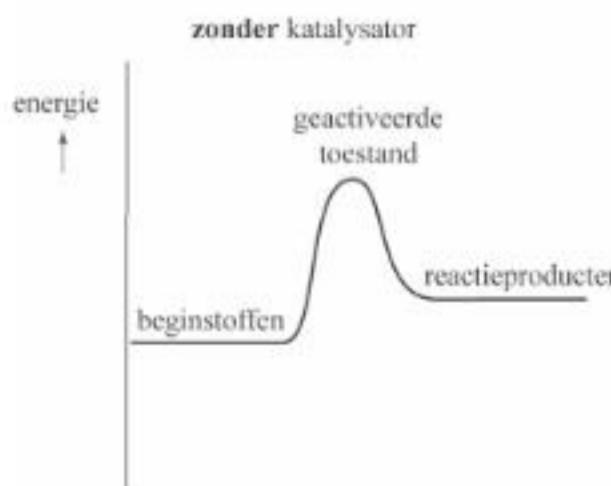
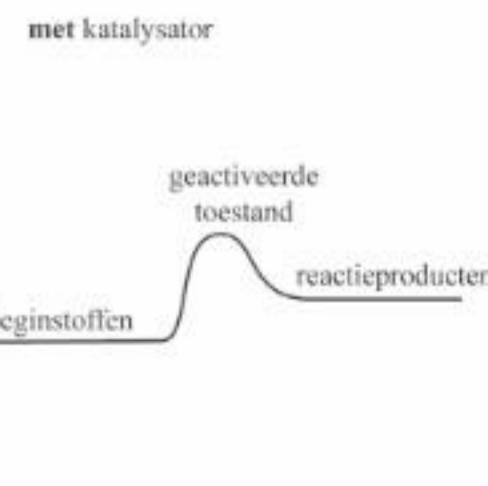


diagram 2

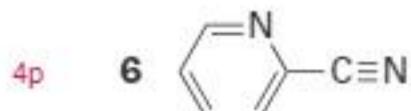


*niveau geactiveerde toestand in diagram 1 hoger dan in diagram 2 en bijschrift [1p], niveau reactieproducten in diagram 1 hoger dan beginniveau en lager dan geactiveerde toestand en bijschrift [1p], niveau reactieproducten in diagram 2 op gelijke hoogte als dat van diagram 1 en bijschrift [1p]*

2p 4  $K = \frac{[\text{DMC}][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CH}_3\text{OH}]^2 [\text{CO}_2]}$

'K =' en stoffen links van de pijl in de noemer en stoffen rechts van de pijl in de teller [1p], concentraties van de stoffen met de juiste macht en vermenigvuldigd [1p]

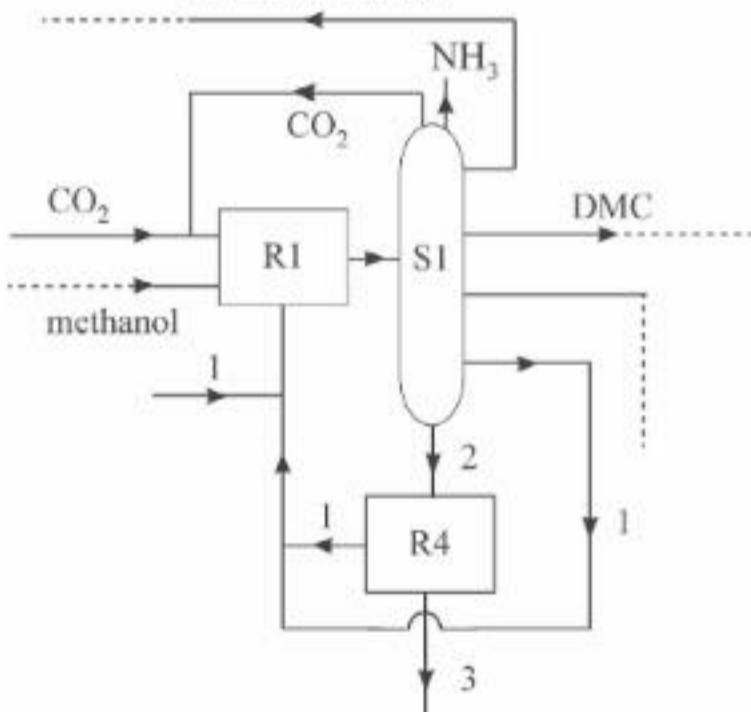
- 2p 5 Water, naast DMC het tweede reactieproduct, wordt (volledig) ontrokken aan het evenwicht. [1p] Hierdoor verschuift het evenwicht naar rechts / wordt het evenwicht aflopend en ontstaat er meer DMC. Dat betekent een hoger rendement. [1p]



1 mol cyanopyridine met 1 mol water geeft 1 mol picolinamide (gegeven). Als je van de gegeven structuur van picolinamide één  $\text{H}_2\text{O}$  afhaalt, dan houd je een CN-groep over. structuurformule voldoet aan  $\text{C}_6\text{H}_4\text{N}_2$  [1p],  $\text{C}\equiv\text{N}$  [1p]

Picolinamide-moleculen bevatten  $\text{NH}_2$ -groepen, cyanopyridine-moleculen niet. [1p] Alleen picolinamide-moleculen kunnen dus onderling waterstofbruggen vormen en hebben daardoor een extra (sterke) binding tussen de moleculen vergeleken met cyanopyridine-moleculen. Daardoor heeft picolinamide een hoger kookpunt dan cyanopyridine. [1p]

- 3p 7 methanol naar R1



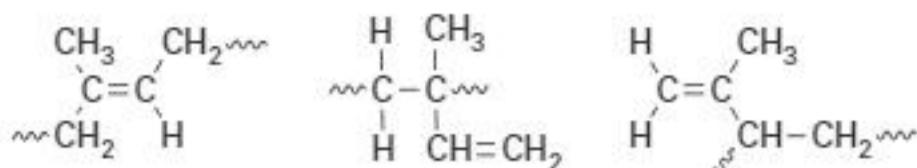
R4 en stofstroom 3 [1p], stofstroom 2 en getallen 1 en 2 bij stofstroom uit S1 [1p], stofstroom 1 [1p]

- 3p 8 Voorbeeld van een juist antwoord:

In reactie 1 reageert 2 mol methanol tot 1 mol DMC. In reactie 2 ontstaat 2 mol methanol uit 1 mol DMC. Nadat beide reacties zijn verlopen, is er dus geen methanol verbruikt. [1p] Maar methanol reageert in R1 (met picolinamide) ook tot stof Z. [1p] De recirculatie van methanol is dus geen gesloten systeem, want er wordt netto methanol verbruikt. [1p]

## Autobanden

- 3p 9 Voorbeelden van juiste figuren. Vergelijk nauwkeurig.



Naast cis-1,4-additie kunnen bij het maken van synthetisch poly-isopreen, behalve trans-1,4-additie, ook een 1,2-additie en een 3,4-additie optreden.  
per structuur [1p]

- 2p 10 Voorbeeld van een juist antwoord:

Bij het oprekken komen de polymeerketens allemaal evenwijdig te liggen. [1p]  
Bij natuurrubber zijn de monomeereenheden allemaal op dezelfde manier gekoppeld (gegeven). Daardoor hebben de ketens een identieke opbouw en worden de ketens (bij oprekken) geordend gestapeld tot een kristallijn gebied. In synthetisch poly-isopreen zijn de monomeereenheden op verschillende manieren ingebouwd (gegeven). De ketens zijn daardoor minder regelmatig (met meer zijketens) en kunnen minder goed stapelen tot een kristallijn gebied. [1p]

- 2p 11 In kristallijne gebieden liggen de polymeerketens dicht op elkaar / is het contactoppervlak tussen de polymeerketens groot. [1p] Daardoor zijn de vanderwaalsbindingen sterker en zal een autoband minder snel vervormen. [1p]

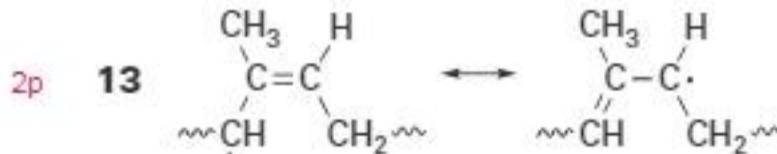
- 3p 12 1 mol styreen ( $\text{C}_8\text{H}_8$ , gegeven) heeft een massa van  $8 \cdot 12,01 + 8 \cdot 1,008 = 104,14$  g en 1 mol buta-1,3-dieen ( $\text{C}_4\text{H}_6$ , gegeven) heeft een massa van  $4 \cdot 12,01 + 6 \cdot 1,008 = 54,09$  g (Binas 98). [1p]

Stel, je hebt 100 g SBR. Daarvan is 25 g styreen en 75 g buta-1,3-dieen (gegeven).

25 g styreen komt overeen met  $\frac{25 \text{ g}}{104,14 \text{ g mol}^{-1}} = 0,240 \text{ mol styreen}$ .

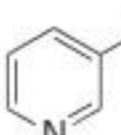
75 g buta-1,3-dieen komt overeen met  $\frac{75 \text{ g}}{54,09 \text{ g mol}^{-1}} = 1,39 \text{ mol buta-1,3-dieen}$ . [1p]

Er zijn dus  $\frac{1,39}{0,240} = 5,8$  monomeereenheden buta-1,3-dieen per monomeereenheid styreen. [1p] (2 significante cijfers)



per structuur [1p]

## Niacine

- 4p 14  $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})\text{H} + \text{CH}_2=\text{CH}-\text{C}(=\text{O})\text{H} + \text{NH}_3 \rightarrow$   +  $\text{H}_2$  +  $2 \text{ H}_2\text{O}$

links van de pijl propanal [1p], links van de pijl prop-2-enal [1p], links van de pijl  $\text{NH}_3$ , en formules rechts van de pijl [1p], kloppend gemaakt met juiste formules [1p]

2p	15	concentratie lager dan normaal	concentratie hoger dan normaal	concentratie veel hoger dan normaal
	P		X	
	Q			X
	R	X		

Hoe meer aanwezig is van enzym Q, des te beter kan de vorming van quinolinezuur concurreren met de vorming van nevenproducten. In de tijd dat quinolinezuur de celwand passeert, wil men de reactie tot nicotinamides zo veel mogelijk onderdrukken.

Verhoging van de hoeveelheid enzym P heeft geen invloed op de productverhouding, maar wel op de hoeveelheid quinolinezuur per tijdseenheid.

P hoger en Q veel hoger [1p], R lager [1p]

- 3p 16 1 mol quinolinezuur ( $C_7H_5NO_4$ ) heeft een massa van  $7 \cdot 12,01 + 5 \cdot 1,008 + 14,01 + 4 \cdot 16,00 = 167,12$  g en 1 mol niacine ( $C_6H_5NO_2$ ) heeft een massa van  $6 \cdot 12,01 + 5 \cdot 1,008 + 14,01 + 2 \cdot 16,00 = 123,11$  g (Binas 98). [1p]

5,5 g quinolinezuur komt overeen met  $\frac{5,5 \text{ g}}{167,12 \text{ g mol}^{-1}} = 0,0329 \text{ mol}$  quinolinezuur.

Hieruit kan maximaal 0,0329 mol niacine ontstaan (zie structuurformules). [1p]

Dit heeft een massa van  $0,0329 \text{ mol} \cdot 123,11 \text{ g mol}^{-1} = 4,05 \text{ g}$ . Er werd echter 3,8 g niacine gevormd (gegeven). Het rendement is dus  $\frac{3,8}{4,05} \cdot 100\% = 94\%$ . [1p]

(2 significante cijfers)

- 4p 17 Als van niacine 90% als ion voorkomt, dan komt nog 10% ongesplitst voor.

Voor het zuur-base-evenwicht geldt de volgende evenwichtsvoorwaarde:

$$K_z = \frac{[\text{niacine-ion}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{niacine}]} \quad [1p] \Rightarrow 1,3 \cdot 10^{-5} = \frac{90 \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]}{10} \quad [1p] \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = \frac{1,3 \cdot 10^{-5} \cdot 10}{90}$$

$$= 1,4 \cdot 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$$

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+] = -\log 1,4 \cdot 10^{-6} = 5,85 \quad [1p] \text{ 2 decimalen} \quad [1p]$$

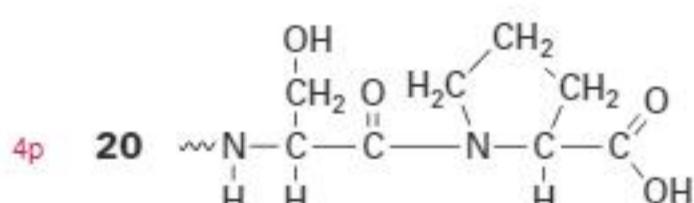
- 2p 18 Er splitst meer dan 90% van het niacine (gegeven). Hierdoor wordt de concentratie van niacine kleiner en die van het niacine-ion groter. Uit de formule van  $K_z$  (zie 17) volgt dat  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  dan lager is. [1p] De pH is dan hoger. [1p]

of

Als er meer gesplitst is, dan is de verhouding tussen het ion en niacine groter dan 9. Daardoor is  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  lager. [1p] De pH is hierdoor hoger. [1p]

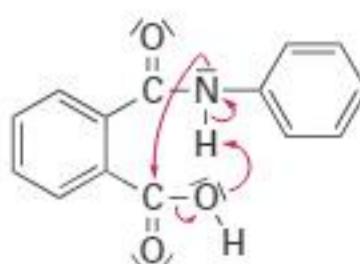
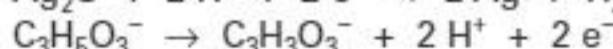
- 2p 19 Elk aminozuur wordt gevormd aan een codon van drie nucleïnebasen.

Bij base 1071 eindigt het codon voor het  $\frac{1071}{3} = 357^{\text{e}}$  aminozuur. Het codon TAA (UAA in het mRNA) is een stopcodon (Binas 71G). [1p] Daar gaan nog zes aminozuren aan vooraf (zie figuur 4), dus de eiwitketen telt in totaal  $357 + 6 = 363$  aminozuren. [1p]



De laatste twee codons vóór het stopcodon zijn TCT en CCT. In het mRNA zijn dit UCU en CCU. Daarbij horen de aminozuren serine en proline (Binas 71G).

serine en proline [1p], zijgroepen [1p], peptidegroep [1p], uiteinden en rest van structuurformule [1p]

**Stroom uit een pleister**2p **21***niet-bindende elektronenparen [1p], pijlen [1p]*2p **22**  $\text{Ag}_2\text{O} + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{Ag} + \text{H}_2\text{O}$ *per halfreactie [1p]*1p **23** Het enzym (LOx) raakt dan verzuurd / kan niet meer per seconde omzetten.4p **24** Per seconde wordt  $1,2 \cdot 10^{-3}$  C getransporteerd (gegeven). In 10 min = 600 s wordt dus  $600 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3} = 0,72$  C aan lading getransporteerd. [1p]1 mol  $\text{e}^-$  heeft een lading van  $9,65 \cdot 10^4$  C (gegeven).

$$0,72 \text{ C komt dus overeen met } \frac{0,72}{9,65 \cdot 10^4} = 7,46 \cdot 10^{-6} \text{ mol e}^- \text{. [1p]}$$

Uit 1 mol lactaat-ionen ontstaat 2 mol  $\text{e}^-$  (zie 22).  $7,46 \cdot 10^{-6}$  mol  $\text{e}^-$  ontstaat dus

$$\text{uit } \frac{7,46 \cdot 10^{-6}}{2} = 3,73 \cdot 10^{-6} \text{ mol lactaat. 1 mol lactaat } (\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3^- \text{, gegeven}) \text{ heeft een massa}$$

van  $3 \cdot 12,01 + 5 \cdot 1,008 + 3 \cdot 16,00 = 89,07$  g (Binas 98).

$$3,73 \cdot 10^{-6} \text{ mol lactaat heeft dus een massa van } 3,73 \cdot 10^{-6} \text{ mol} \cdot 89,07 \text{ g mol}^{-1}$$

$$= 3,3 \cdot 10^{-4} \text{ g. [1p]} 2 \text{ significante cijfers [1p]}$$

## Examen 2022-II

Tenzij anders vermeld, is er sprake van standaardomstandigheden:  
 $T = 298\text{ K}$  en  $p = p_0$ .

### Cadmiumgeel

In de negentiende en begin twintigste eeuw werden door de chemische industrie veel nieuwe pigmenten ontwikkeld, zoals cadmiumgeel (cadmiumsulfide, CdS). Cadmiumgeel werd onder andere gemaakt door de reactie van cadmiumcarbonaat met zwavel (S). Bij deze reactie ontstaan behalve cadmiumsulfide ook zwaveldioxide en koolstofdioxide.

- 2p 1 Geef de vergelijking van deze vorming van cadmiumsulfide uit zwavel en cadmiumcarbonaat.
- 3p 2 Bereken de massa in gram zwavel die minimaal nodig is om 1,0 kg cadmiumcarbonaat volledig om te zetten tot cadmiumsulfide.  
**Geef de uitkomst in het juiste aantal significante cijfers.**

Bij deze productie werd zwavel in overmaat toegevoegd. De overgebleven zwavel kon na afloop van de reactie gemakkelijk worden gescheiden van de gevormde cadmiumsulfide door het verkregen mengsel te verwarmen. Hierbij verdampft de zwavel maar de cadmiumsulfide niet.

- 2p 3 Leg uit dat zwavel bij een lagere temperatuur verdampt dan cadmiumsulfide.  
Neem hier aan dat zwavel bestaat uit deeltjes  $S_8$ .
  - Gebruik hierbij begrippen op microniveau.
  - Benoem de bindingstypes in beide stoffen.

Helaas bleek cadmiumgeel op de lange termijn niet chemisch stabiel.

Op verschillende schilderijen zijn drie opeenvolgende aantastingen van cadmiumgeel waargenomen:

- verbleking door de vorming van cadmiumsulfaat.
- de vorming van kleine witte vlekken waarin vooral cadmiumsulfaat-monohydraat aanwezig is.
- verkleuring door onder andere de vorming van lood(II)sulfaat  $PbSO_4$ .  
Deze verkleuring trad alleen op nadat vernis was aangebracht op een al aangetast schilderij.

De omzetting van cadmiumgeel met zuurstof tot cadmiumsulfaat-monohydraat treedt alleen op in vochtige lucht.

- 2p 4 Geef de vergelijking van de omzetting van cadmiumgeel tot cadmiumsulfaatmonohydraat.

Behalve cadmiumsulfaat-monohydraat ontdekte men in de witte vlekken een ander zout. In dit zout zijn cadmiumionen en sulfaationen in de molverhouding 2 : 3 aanwezig. Behalve deze ionen is er nog één andere ionsoort aanwezig. Op grond van de gevonden samenstelling van het zout vermoedden de onderzoekers dat een van de schilderijen ooit met een oplossing van ammoniak is schoongemaakt.

- 2p 5 Geef een mogelijke verhoudingsformule van het gevonden zout.

Tijdens perioden met hoge luchtvochtigheid lossen de zouten die in een verflaag aanwezig zijn enigszins op. Dit wordt veroorzaakt doordat zich dan bijvoorbeeld het evenwicht  $\text{CdSO}_4 \rightleftharpoons \text{Cd}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$  kan instellen in de verflaag. De gehydrateerde ionen kunnen vervolgens door verf- en vernislagen heen bewegen. Voor het evenwicht  $\text{CdSO}_4 \rightleftharpoons \text{Cd}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$  geldt  $K_s = [\text{Cd}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}]$ .  $K_s$  is het zogenoemde oplosbaarheidsproduct. De waarden van  $K_s$  van enkele stoffen zijn in de onderstaande tabel gegeven.

stof	formule	$K_s = \dots$	waarde van $K_s$
cadmiumsulfaat	$\text{CdSO}_4$	$[\text{Cd}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}]$	$5,3 \cdot 10^{-1}$
lood(II)sulfaat	$\text{PbSO}_4$	$[\text{Pb}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}]$	$1,7 \cdot 10^{-8}$
lood(II)ethanoaat	$\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$	$[\text{Pb}^{2+}][\text{CH}_3\text{COO}^-]^2$	$2 \cdot 10^1$

Op een schilderij waar het cadmiumgeel al deels was omgezet tot cadmiumsulfaat is in het verleden een laag vernis aangebracht.

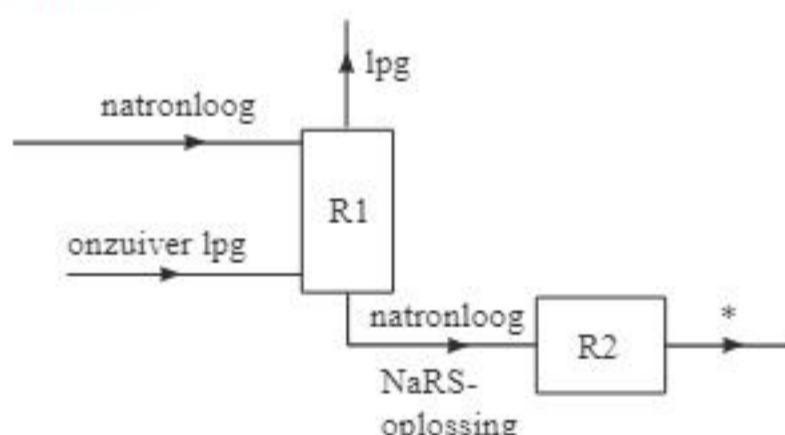
De vernis bevatte als enige loodverbinding lood(II)ethanoaat ( $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ ). Zowel in de verflaag als in de vernislaag is door de onderzoekers vast lood(II)sulfaat ( $\text{PbSO}_4$ ) aangetroffen.

- 3p 6 Leg uit, onder andere met behulp van evenwichtsbeschouwingen, dat lood(II)sulfaat aanwezig is in de vernislaag als gevolg van perioden met hoge luchtvochtigheid. Neem aan dat de waarden in de tabel ook gelden onder de omstandigheden in een verflaag tijdens perioden van hoge luchtvochtigheid.

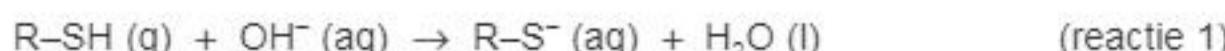
## Merox

Het Merox-proces is een industrieel proces om zwavelhoudende verbindingen te verwijderen uit aardolieproducten zoals lpg. Lpg is een mengsel van koolwaterstoffen met een laag kookpunt. De zwavelhoudende verbindingen kunnen worden aangeduid met  $\text{R}-\text{SH}$ , waarbij de groep  $\text{R}$  staat voor een koolwaterstofketen. In figuur 1 is het blokschema van het Merox-proces onvolledig weergegeven.

figuur 1



Het is niet mogelijk om lpg en  $\text{R}-\text{SH}$  te scheiden met behulp van water. Daarom wordt het gasvormige, nog onzuivere lpg in reactor 1 (R1) in contact gebracht met een overmaat natronloog. In R1 reageren de zwavelhoudende verbindingen volgens reactie 1.



In een basische oplossing kunnen de zwavelhoudende verbindingen wel van het lpg worden afgescheiden. Dit wordt veroorzaakt door de vorming van bindingen tussen watermoleculen en deeltjes die in R1 zijn ontstaan.

- 1p 7 Geef de naam van de scheidingsmethode die wordt toegepast in R1.
- 3p 8 Voer de volgende opdrachten uit:
  - Leg uit dat het niet mogelijk is om Ipg en R-SH te scheiden met behulp van water.
  - Leg uit dat de scheiding in R1 wel mogelijk is in een basische oplossing.  
Benoem hierbij het bindingstype/de bindingtypes die een rol speelt/spelen bij de scheiding.

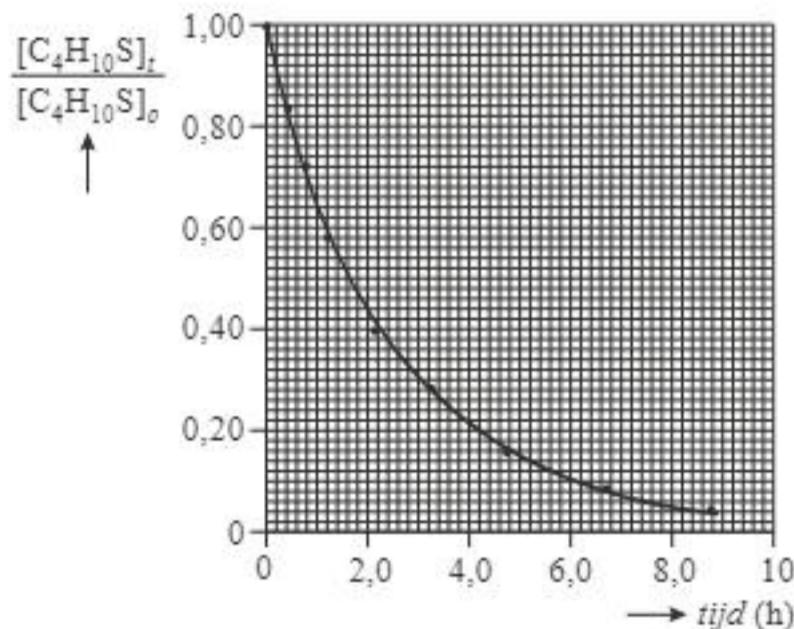
Het reactiemengsel wordt onderin R1 afgetapt en doorgevoerd naar reactor 2 (R2). In R2 wordt een overmaat lucht door de oplossing afkomstig van R1 geleid, waarbij disulfides (R-S-S-R) worden gevormd. De totaalvergelijking van de reacties die in R1 en R2 verlopen, is hieronder weergegeven.



- 2p 9 Geef de vergelijking van de reactie die verloopt in R2.

In een onderzoek is de omzettingssnelheid van R-SH tot R-S-S-R nader onderzocht. Men onderzocht de omzetting van butaanthiol ( $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{S}$ ) in natronloog. Hierbij werd op verschillende tijdstippen de fractie  $\frac{[\text{C}_4\text{H}_{10}\text{S}]_t}{[\text{C}_4\text{H}_{10}\text{S}]_0}$  bepaald. In figuur 2 zijn de resultaten van een meting weergegeven.

**figuur 2**



Op  $t = 0$  bevatte het mengsel 372 massa-ppm butaanthiol.

De molaire massa van butaanthiol is  $90,2 \text{ g mol}^{-1}$ . De dichtheid van het reactiemengsel was  $0,75 \text{ kg L}^{-1}$ .

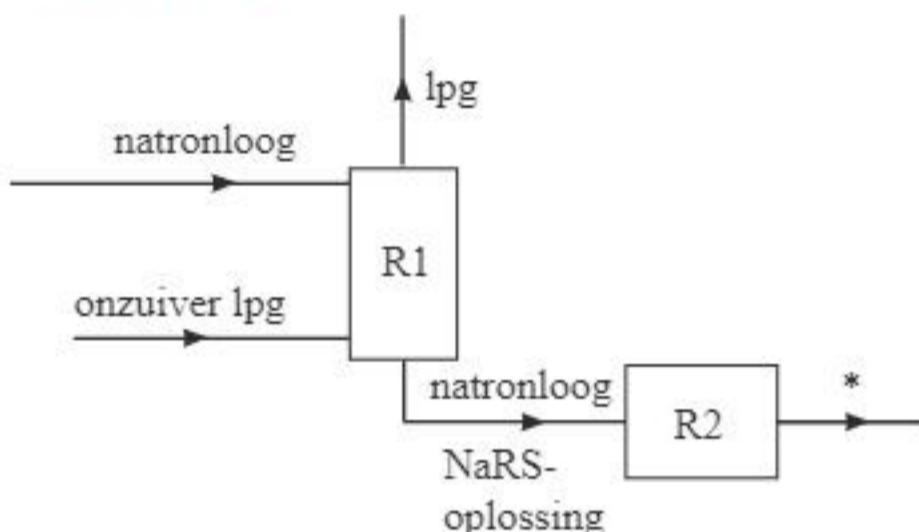
- 5p 10 Bereken met behulp van figuur 2 de gemiddelde omzettingssnelheid van butaanthiol in  $\text{mol L}^{-1} \text{s}^{-1}$  tussen  $t = 0$  en  $t = 2,0 \text{ h}$ .
- Geef de uitkomst in het juiste aantal significante cijfers.**

In scheidingsruimte 1 (S1) wordt het vloeibare mengsel afkomstig uit R2 gescheiden. De laag met daarin de vloeibare disulfides (R-S-S-R) wordt als afval afgevoerd. De laag met natronloog bevat geen organische stoffen, zodat het natronloog kan worden hergebruikt in het proces.

Om de reactie in R1 steeds onder gelijke omstandigheden te laten verlopen, moet het natronloog een bewerking ondergaan voordat het kan worden teruggevoerd.

- 2p 11 Leg uit welke bewerking het natronloog moet ondergaan voordat het kan worden teruggevoerd.
- 3p 12 Maak het blokschema in de bijlage bij vraag 12 compleet.
- Teken de ontbrekende scheidingsruimte(n).
  - Teken ontbrekende stofstromen. Houd hierbij rekening met hergebruik van stoffen.
  - Waar in het blokschema een \* voorkomt, hoef je niets aan te geven.

### bijlage bij vraag 12

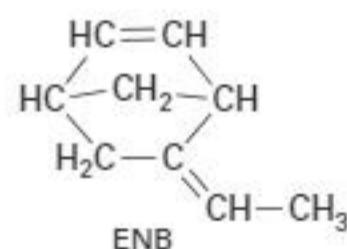


## EPDM-rubber

EPDM-rubber is een synthetische rubbersoort, die veel wordt gebruikt in de auto-industrie voor bijvoorbeeld afdichtingsstrips en raamrubbers.

Bij de productie van EPDM-rubber wordt eerst thermoplastisch EPDM (t-EPDM) gemaakt.

Hierbij ondergaat een mengsel van etheen, propeen en een zogeheten dien een additie-polymerisatie. Een veelgebruikt dien hierbij is ethyliden-norborneen (ENB). De structuurformule van ENB is hiernaast weergegeven. Bij de vorming van t-EPDM reageert alleen de C=C binding die zich in de ring bevindt.



- 3p 13 Teken de structuurformule van een gedeelte van een molecuul t-EPDM.  
Dit gedeelte moet komen uit het midden van een molecuul en moet bestaan uit één eenheid van etheen, propeen en ENB.

De polymerisatie tot t-EPDM verloopt onder invloed van een katalysator.

Er zijn twee types katalysator beschikbaar:

- Type 1: hiermee wordt de vorming van een willekeurig (random) copolymeer bevorderd;
- Type 2: hiermee wordt de vorming van een blok-copolymeer bevorderd.

Het blijkt dat de keuze van het type katalysator een sterke invloed heeft op de vorming van kristallijne gebieden in het t-EPDM. In een kristallijn gebied vertonen de polymeerketens een grote mate van ordening. In t-EPDM zijn geen crosslinks aanwezig tussen de polymeerketens.

- 2p 14 Leg uit of toepassing van een katalysator type 2 bij de polymerisatie leidt tot een groter of kleiner percentage kristallijne gebieden.  
Gebruik hierbij Binas-tabel 66F of ScienceData-tabel 11.1.3.

De vervormbaarheid van t-EPDM wordt minder naarmate het materiaal meer kristallijne gebieden bevat.

- 2p 15 Leg uit dat t-EPDM met een groot percentage kristallijne gebieden een kleinere vervormbaarheid heeft dan t-EPDM met een klein percentage kristallijne gebieden.  
Gebruik hierbij begrippen op microniveau.

Het t-EPDM wordt vervolgens omgezet tot het eindproduct EPDM-rubber. Tot voor kort werd EPDM-rubber geproduceerd op basis van fossiele grondstoffen. In Brazilië gebruikt men nu bio-ethanol uit suikerriet in plaats van aardolie als grondstof voor het benodigde etheen. De omzetting van ethanol tot etheen is hieronder weergegeven.



Het etheen afkomstig uit reactie 1 wordt vervolgens gebruikt om EPDM-rubber te produceren onder de merknaam Keltan®-Eco.

Biogebaseerde producten worden gecontroleerd om misbruik van belastingvoordelen te voorkomen. Hiertoe wordt het gehalte  $^{14}\text{C}$ -atomen in het product bepaald.

$^{14}\text{C}$ -atomen worden in de atmosfeer door kosmische straling gevormd uit  $^{14}\text{N}$ -atomen. Uit de  $^{14}\text{C}$ -atomen wordt in de atmosfeer snel  $^{14}\text{CO}_2$  gevormd. Het gehalte  $^{14}\text{C}$  in de atmosfeer is constant. Het gehalte  $^{14}\text{C}$  in biomassa bedraagt hierdoor gemiddeld  $1,5 \cdot 10^{-6}$  ppm van alle C-atomen.

De  $^{14}\text{C}$ -atomen worden in de loop van de tijd door radioactief verval omgezet tot  $^{14}\text{N}$ -atomen.

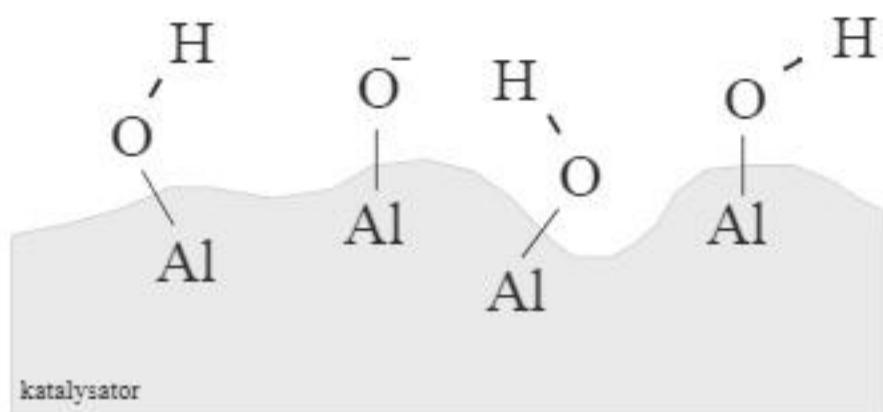
- 2p 16 Leg uit of het gehalte  $^{14}\text{C}$  in Keltan®-Eco hoger of lager is dan in EPDM-rubber dat is geproduceerd op basis van fossiele grondstoffen.

Reactie 1 is endotherm. De benodigde warmte wordt in het proces geleverd door verbranding van de resten van het suikerriet.

- 4p 17 Bereken de massa in kilogram suikerriet-resten die nodig is om de energie te leveren voor de omzetting van 1,0 ton ethanol tot etheen.
- Gebruik Binas-tabel 28B en 57 of ScienceData-tabel 8.7b en 9.2.
  - Neem aan dat de suikerriet-resten volledig bestaan uit hout.
  - Een ton is  $10^3$  kg.

De omzetting van ethanol tot etheen vindt plaats aan het oppervlak van een aluminiumoxide-katalysator. In de bijlage bij vraag 18 is een deel van het oppervlak weergegeven. Uit onderzoek is gebleken dat de OH-groepen en de  $\text{O}^-$ -groepen aan het oppervlak een belangrijke rol spelen in de katalytische werking. Men vermoedt dat hierbij waterstofbruggen worden gevormd tussen moleculen ethanol en de aanwezige groepen op het oppervlak.

- 2p 18 Teken in de bijlage hoe een molecuul ethanol met twee waterstofbruggen gebonden is aan het oppervlak. Geef elke waterstofbrug weer met een stippellijn.

**bijlage bij vraag 18**

Per mol monomeereenheden van Keltan®-Eco is gemiddeld 0,55 mol etheen, 0,40 mol propeen ( $C_3H_8$ ) en 0,050 mol ENB aanwezig.

- 4p 19** Bereken het volume in liter propeen dat minimaal nodig is om 1,0 kg Keltan®-Eco te produceren. Gebruik hierbij onder andere de volgende gegevens:
- De dichtheid van propeen is  $1,75 \text{ kg m}^{-3}$ .
  - De gemiddelde molaire massa van een monomeereenheid van Keltan®-Eco is  $38,3 \text{ g mol}^{-1}$ .

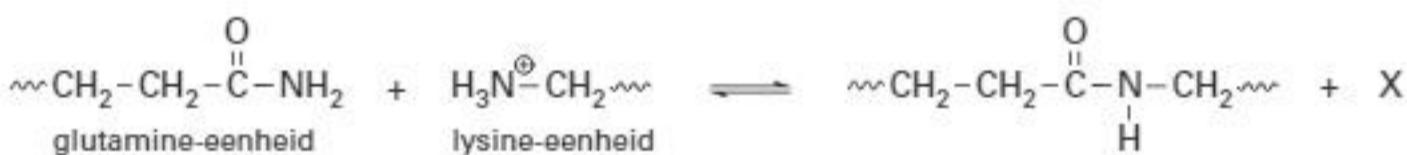
**Voedsellijm**

In de voedselindustrie wordt soms het enzym transglutaminase (TG) gebruikt om reststukjes vlees aan elkaar te lijmen tot grotere stukken.

Het enzym katalyseert de koppeling van de restgroepen van de aminozuureenheden glutamine en lysine die aanwezig zijn in peptideketens.

- 2p 20** Leg uit, aan de hand van deze gegevens, of door deze omzetting de primaire structuur van de peptideketens in de eiwitten verloren gaat.

In de reactievergelijking hieronder is de koppeling van de restgroepen van een glutamine-eenheid en een lysine-eenheid in verschillende peptideketens schematisch en onvolledig weergegeven.



- 1p 21** Geef de formule van het deeltje X.

Wanneer geen lysine-restgroepen of ongebonden aminozuren beschikbaar zijn, katalyseert TG ook de reactie tussen de restgroep van glutamine-eenheden en water. Hierbij wordt een andere aminozuureenheid gevormd en ontstaat ammoniak. Deze omzetting is in de bijlage bij vraag 22 onvolledig weergegeven.

- 2p 22 Maak de vergelijking in de bijlage compleet en geef de naam van de aminozuur-eenheid die hierbij wordt gevormd.

**bijlage bij vraag 22**

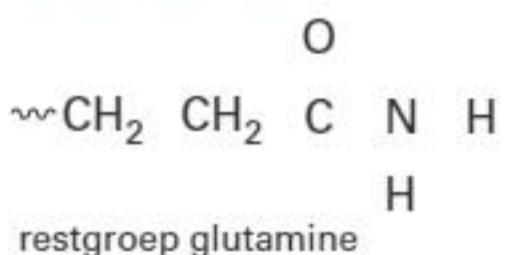
ontstane aminozuureenheid: ....

De koppeling die boven vraag 21 is weergegeven, verloopt in een breed pH-gebied. De reactie verloopt alleen als de restgroep van de lysine-eenheid positief geladen is. Bij de gemiddelde pH van bloed zijn de aminogroepen in de restgroepen van lysine-eenheden grotendeels omgezet tot  $\sim\text{NH}_3^+$ -groepen. De waarde van de  $K_z$  van de  $\sim\text{NH}_3^+$ -groep is  $6,3 \cdot 10^{-11}$ .

- 4p 23 Laat met een berekening zien dat bij pH = 7,40 het percentage aminogroepen van lysine-eenheden dat aanwezig is als  $\sim\text{NH}_2$  kleiner is dan 2,0%.

De  $\text{NH}_2$ -groep in de restgroep van glutamine is een veel zwakkere base dan de  $\text{NH}_2$ -groep in de restgroep van lysine. Dit kan worden verklaard met behulp van een grensstructuur van de restgroep van glutamine. In deze grensstructuur komen formele ladingen voor. In de bijlage bij vraag 24 is deze grensstructuur onvolledig weergegeven.

- 2p 24 Maak in de bijlage deze grensstructuur compleet. De atomen in de grensstructuur moeten voldoen aan de octetregel.
- Teken ontbrekende elektronenparen.
  - Geef formele ladingen aan.

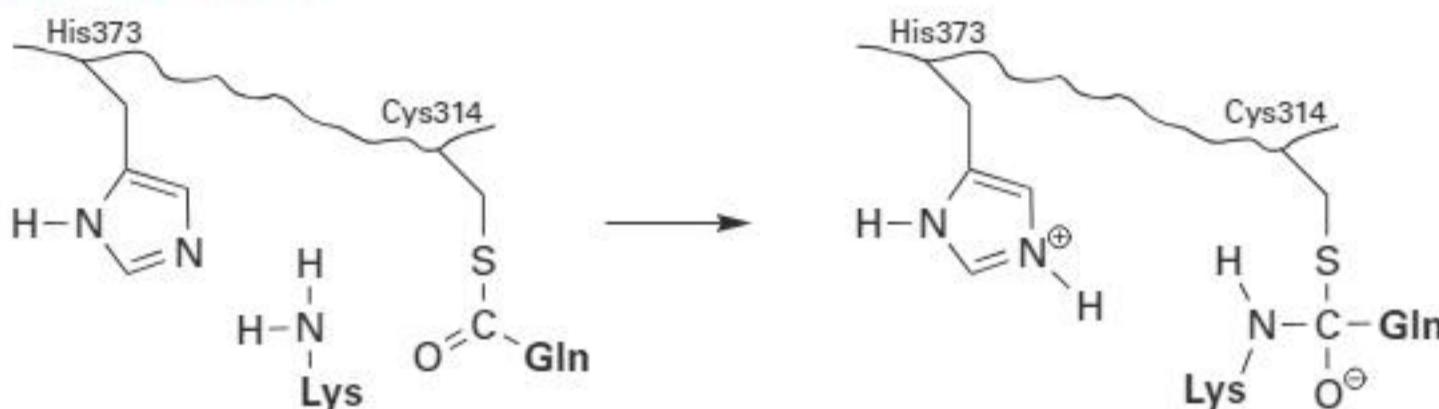
**bijlage bij vraag 24**

In het reactiemechanisme van de koppeling van glutamine en lysine door TG spelen twee aminozuureenheden in het actieve centrum van TG een rol: His373 en Cys314. In de bijlage bij vraag 25 is een stap uit dit mechanisme onvolledig weergegeven. In deze stap wordt een eenheid Lys gekoppeld aan een eenheid Gln die al aan aminozuureenhed Cys314 van TG was gekoppeld.

- 3p 25 Maak in de bijlage het reactiemechanisme compleet.

- Teken links van de pijl de niet-bindende elektronenparen.
- Geef links van de pijl met pijlen weer hoe elektronenparen worden verplaatst tijdens deze reactie.

bijlage bij vraag 25



Je kunt dit examen nakijken met de uitwerkingen hierna óf online op [mijnexamenbundel.nl](https://mijnexamenbundel.nl). Je ziet dan je totaalscore en je score per onderwerp. Deze worden bewaard.



## Hints bij examen 2022-II<sup>1</sup>

- 1 Cadmiumionen hebben lading 2+.
- 2 Gebruik de molverhouding uit de reactievergelijking van uitwerking 1.
- 3 Behoort zwavel tot de metalen, zouten of moleculaire stoffen? En cadmiumsulfide?
- 4 Welke stof komt veel voor in vochtige lucht?
- 5 Welk ion kan gevormd worden uit ammoniak?
- 6 Aan welke kant ligt het evenwicht als  $K_s$  groot is, bij de ionen of bij de vaste stof?
- 8 Wat moeten de deeltjes van een stof bevatten, wil de stof in water kunnen oplossen?
- 9 Bij het optellen van de vergelijking van reactie 1 en die van de gevraagde reactie moet reactie 1 met vier vermenigvuldigd worden, zoals bij halfreacties.
- 10 Massa-ppm butaanthiol wil zeggen: gram butaanthiol per  $10^6$  gram reactiemengsel.
- 11 Er verandert hier een concentratie.
- 12 Verwerk jouw uitwerking van vraag 11 in je blokschema.
- 13 Beschouw propeen als etheen met (zijwaarts) een methylgroep.
- 14 Is er meer of minder ordening bij t-EPDM dat gemaakt is onder invloed van katalysator type 2?
- 15 Benoem de binding tussen de polymeerketens.
- 16 Denk aan het verschil in tijdpad tussen fossiele en biobrandstoffen.
- 17 Bereken eerst de reactie-energie van reactie 1.
- 18 Waterstofbruggen zijn geen bindingen tussen waterstofatomen.
- 19 Reken met de gegeven molaire massa 1,0 kg Keltan®-Eco om naar het aantal mol.
- 20 Bij de reactie met het enzym zijn alleen de zijketens van de eiwitketens betrokken.
- 22 Alle coëfficiënten zijn 1.
- 23 Gebruik de evenwichtsvoorraarde van de omzetting van  $\sim\text{NH}_3^+$  in  $\sim\text{NH}_2$ .
- 24 De dubbele binding ligt in de andere mesomere structuur op een andere plek.
- 25 Het vrije elektronenpaar van een N van His373 valt aan op een H van Lys.

1) De 1-puntsvragen (hier de vragen 7 en 21) krijgen geen hint.

## Uitwerkingen bij examen 2022-II

### Cadmiumgeel

- 2p** **1**  $2 \text{ CdCO}_3 + 3 \text{ S} \rightarrow 2 \text{ CdS} + \text{SO}_2 + 2 \text{ CO}_2$   
*formules links van de pijl [1p], formules rechts van de pijl en kloppend gemaakt met juiste formules [1p]*
- 3p** **2** 1 mol cadmiumcarbonaat ( $\text{CdCO}_3$ ) heeft een massa van  $112,4 + 12,01 + 3 \cdot 16,00 = 172,4$  g en 1 mol zwavel (S, gegeven) heeft een massa van 32,06 g (Binas 98).  
 $1,0 \text{ kg} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ g}$  cadmiumcarbonaat komt overeen met  $\frac{1,0 \cdot 10^3 \text{ g}}{172,4 \text{ g mol}^{-1}} = 5,80 \text{ mol}$ . [1p]  
 2 mol cadmiumcarbonaat reageert met 3 mol zwavel (zie uitwerking 1).  
 5,80 mol cadmiumcarbonaat reageert dus met  $\frac{3}{2} \cdot 5,80 = 8,70$  mol zwavel. Dit heeft een massa van  $8,70 \text{ mol} \cdot 32,06 \text{ g mol}^{-1} = 2,8 \cdot 10^2 \text{ g}$ . [1p] 2 significante cijfers [1p]
- 2p** **3** De  $\text{S}_8$ -deeltjes bestaan uit niet-metalen (Binas 99). Zwavel is dus een moleculaire stof; de aantrekkingskracht tussen de deeltjes is de vanderwaalsbinding.  
 Cadmiumsulfide bestaat uit een metaal en een niet-metaal (Binas 99) en is dus een zout. De ionen in zouten hebben onderling ionbindingen.  
 Vanderwaalsbindingen zijn veel zwakker dan ionbindingen. De  $\text{S}_8$ -moleculen laten elkaar dus veel makkelijker los en gaan de dampfase in.  
*deeltjes [1p], bindingen en conclusie [1p]*
- 2p** **4**  $\text{CdS} + 2 \text{ O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CdSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$   
*formules links van de pijl [1p], formule rechts van pijl en kloppend gemaakt met juiste formules [1p]*
- 2p** **5**  $(\text{NH}_4)_2\text{Cd}_2(\text{SO}_4)_3$   
 $\text{NH}_4^+$  in formule [1p], rest van de formule [1p]
- 3p** **6** In periodes met hoge luchtvochtigheid stelt zowel het oplosevenwicht van cadmiumsulfaat als dat van lood(II)ethanoaat zich in. Beide hebben een grote  $K_s$ . Er komen dus veel lood(II)- en sulfaationen vrij. [1p]  
 Die ionen bewegen zich door de lagen heen en botsen met elkaar. [1p]  
 De  $K_s$  van lood(II)sulfaat is veel lager, dus het oplosevenwicht ligt meer naar links. Er is dus relatief veel lood(II)sulfaat ontstaan. [1p]

### Merox

- 1p** **7** extraheren / extractie  
*Een deel van het mengsel lost door de reactie wel op in de oplossing.*
- 3p** **8** Lpg en de zwavelhoudende verbindingen lossen niet op in water, omdat ze geen OH- of NH-groepen bevatten / ze lange koolwaterstofketens bevatten. Ze hebben ook geen lading en zijn dus apolair / hydrofoob. [1p]  
 Door reactie 1 krijgen de zwavelverbindingen een lading / worden ionen. [1p]  
 Daardoor vormen ze ion-dipoolbindingen met watermoleculen. [1p]
- 2p** **9**  $4 \text{ R-S}^- + \text{O}_2 + 2 \text{ H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ R-S-S-R} + 4 \text{ OH}^-$   
*R-S- en O<sub>2</sub> links van de pijl en R-S-S-R rechts van de pijl [1p], H<sub>2</sub>O links van de pijl en OH- rechts van de pijl en kloppend gemaakt met juiste formules [1p]*

- 5p 10 Op  $t = 0$  is  $\frac{[C_4H_{10}S]_t}{[C_4H_{10}S]_0}$  gelijk aan 1,00 en op  $t = 2,0$  h is  $\frac{[C_4H_{10}S]_t}{[C_4H_{10}S]_0}$  gelijk aan 0,44 (zie figuur 2). [1p] Op  $t = 2,0$  h is  $\frac{[C_4H_{10}S]_t}{[C_4H_{10}S]_0}$  dus afgenomen met  $1,00 - 0,44 = 0,56$ .

Op  $t = 0$  is er 372 massa-ppm butaanthiol aanwezig (gegeven). Op  $t = 2,0$  h is er dus  $0,56 \cdot 372 = 208$  massa-ppm butaanthiol omgezet. Dat is 208 g butaanthiol per  $10^6$  g reactiemengsel. 1 mol butaanthiol heeft een massa van 90,2 g (gegeven).

208 g butaanthiol komt dus overeen met  $\frac{208 \text{ g}}{90,2 \text{ g mol}^{-1}} = 2,31 \text{ mol butaanthiol}$ . [1p]

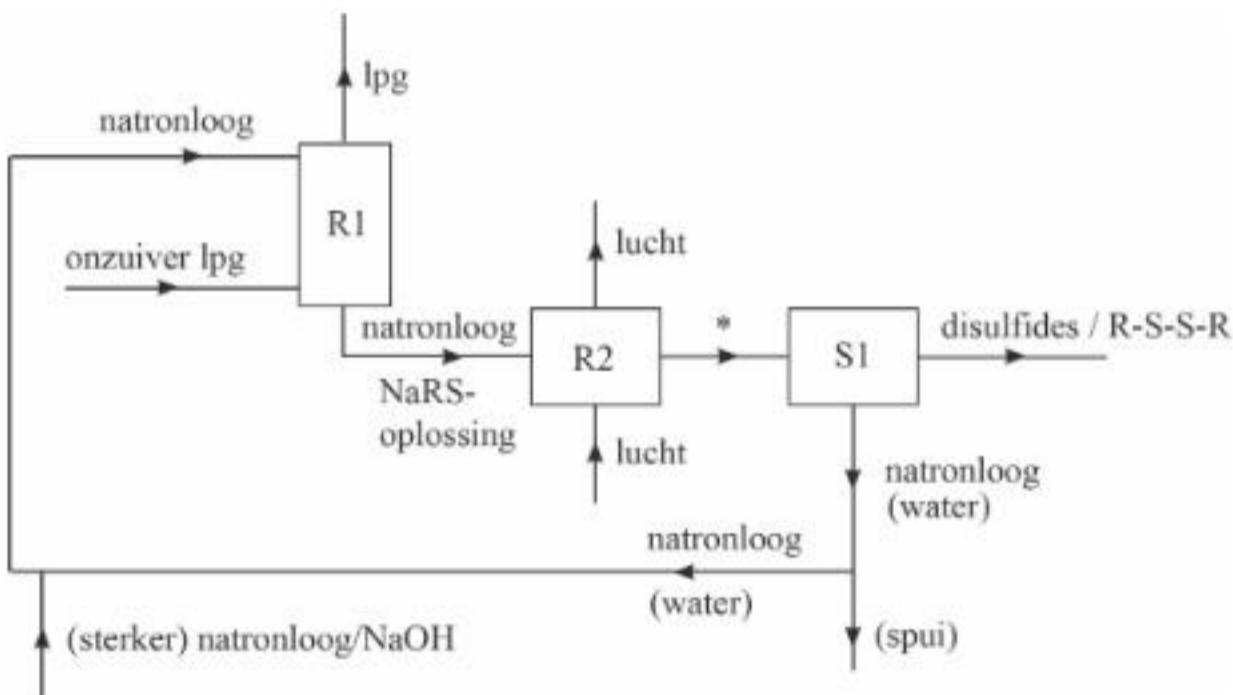
Dit bevindt zich in  $10^6 \text{ g} = 10^3 \text{ kg}$  reactiemengsel. 0,75 kg reactiemengsel heeft een volume van  $1,0 \text{ L}$  (gegeven), dus  $10^3 \text{ kg}$  reactiemengsel heeft een volume van  $\frac{10^3 \text{ kg}}{0,75 \text{ kg L}^{-1}} = 1,33 \cdot 10^3 \text{ L}$ . [1p]

De molariteitsverandering is dus  $\frac{2,31 \text{ mol}}{1,33 \cdot 10^3 \text{ L}} = 1,74 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ .

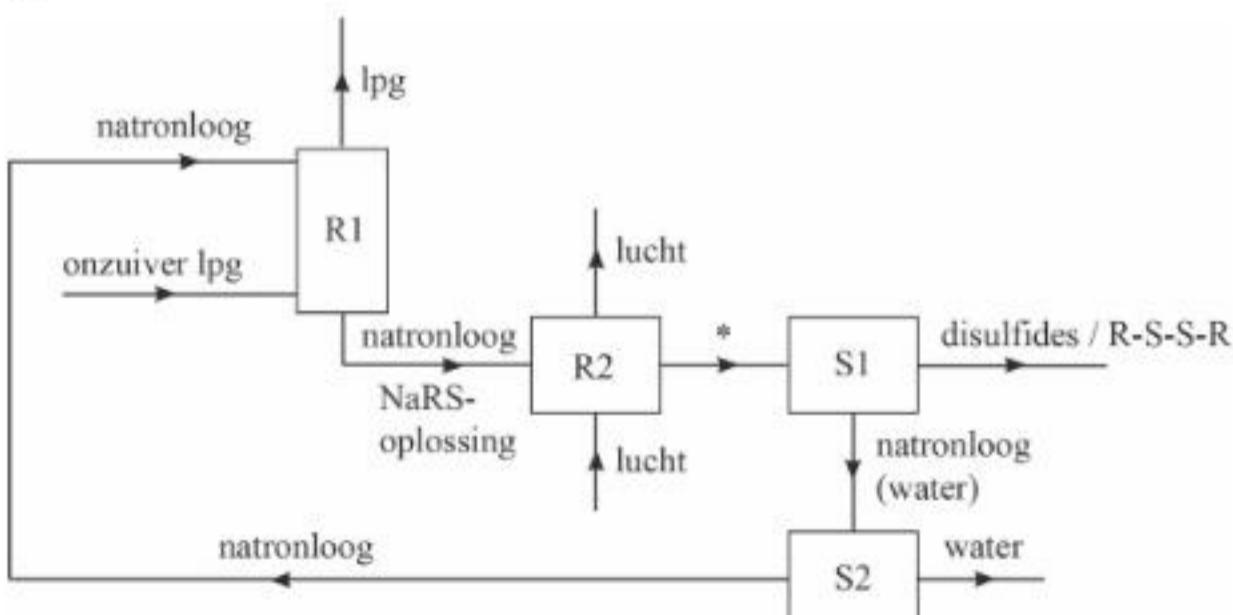
Dit gebeurt in  $2,0 \text{ h} = 2,0 \cdot 60 \cdot 60 = 7,2 \cdot 10^3 \text{ s}$ . De gemiddelde omzettingssnelheid is dus  $\frac{1,74 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}}{7,2 \cdot 10^3 \text{ s}} = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ mol L}^{-1} \text{s}^{-1}$ . [1p] 2 significante cijfers [1p]

- 2p 11 In R1 en R2 ontstaat netto water (zie totaalreactie). De concentratie NaOH zal daardoor dalen. [1p] Er moet dus extra NaOH worden toegevoegd. / Natronloog moet worden ingedampt. [1p]

- 3p 12



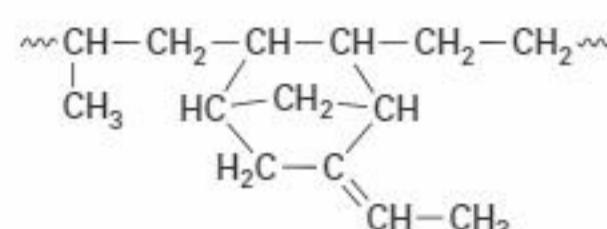
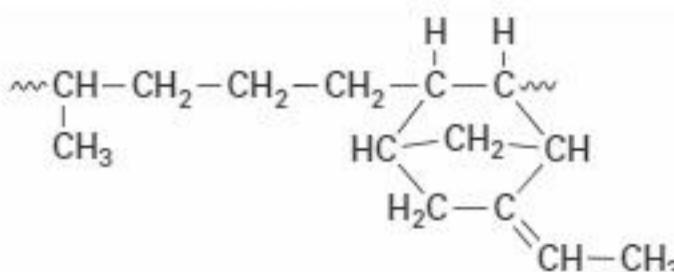
of



S1 en bijbehorende stofstromen [1p], stofstroom lucht [1p], recycling natronloog [1p]

## EPDM-rubber

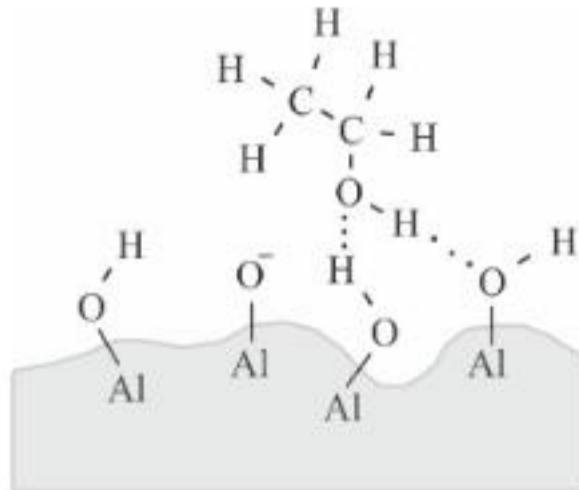
- 3p 13 Voorbeelden van juiste antwoorden:



juiste aantal C- en H-atomen van etheen en propeen [1p], 6 C-atomen in hoofdketen en uiteinden [1p], alleen enkelvoudige bindingen in hoofdketen en rest van de structuur [1p]

- 2p 14 In een blok-copolymeer, zoals met type 2 ontstaat, zijn meer gelijkvormige stukken aanwezig (Binas 66F). [1p] Hierdoor kan er met type 2 een regelmatiger rooster gevormd worden. Dit bevat meer kristallijne gebieden. [1p]
- 2p 15 In een kristallijn gebied liggen de polymeerketens dicht tegen elkaar aan. [1p] Hierdoor is de vanderwaalsbinding tussen de polymeerketens sterk en is de stof minder vervormbaar. [1p]
- 2p 16 Etheen gemaakt uit bio-ethanol bevat C-atomen die recent uit de atmosfeer zijn opgenomen. Het  $^{14}\text{C}$ -gehalte zal dus overeenkomen met dat in de atmosfeer. [1p] Fossiele brandstoffen zijn gemaakt uit planten die eeuwen geleden  $^{14}\text{C}$  hebben opgenomen. Dat  $^{14}\text{C}$  is in de loop van de tijd deels vervallen. Het  $^{14}\text{C}$ -gehalte in Keltan®-Eco zal dus hoger zijn dan dat in EPDM dat met etheen uit aardolie is gemaakt. [1p]
- 4p 17 De reactiewarmte van reactie 1 is  $\Delta E = \sum E_{\text{vorming reactieproducten}} - \sum E_{\text{vorming beginstof}} = E_{\text{vorming etheen}} + E_{\text{vorming water}} - E_{\text{vorming ethanol}} = 0,52 \cdot 10^5 + (-2,86 \cdot 10^5) - (-2,78 \cdot 10^5) = 0,44 \cdot 10^5 \text{ J per mol ethanol}$   
*absolute vormingswarmtes [1p], rest van de berekening [1p]*  
 1 mol ethanol heeft een massa van 46,068 g (Binas 98). Dit komt overeen met  $4,6068 \cdot 10^{-5}$  ton. Bij de omzetting van 1,0 ton ethanol volgens reactie 1 is dus  $\frac{0,44 \cdot 10^5}{4,6068 \cdot 10^{-5}} = 9,56 \cdot 10^8 \text{ J}$  aan energie nodig. [1p] Bij de verbranding van 1 kg hout komt  $16 \cdot 10^6 \text{ J}$  aan energie vrij (Binas 28B). Voor  $9,56 \cdot 10^8 \text{ J}$  is dus  $\frac{9,56 \cdot 10^8}{16 \cdot 10^6} = 60 \text{ kg suikerriet-resten (hout)}$  nodig. [1p] (2 significante cijfers)  
*Bij het gebruik van ScienceData is het juiste antwoord 50 kg, omdat daar een andere stookwaarde van hout is gegeven.*

- 2p 18 Voorbeeld van een juiste tekening:



structuurformule van ethanol [1p], twee waterstofbruggen aan één ethanolmolecuul [1p]

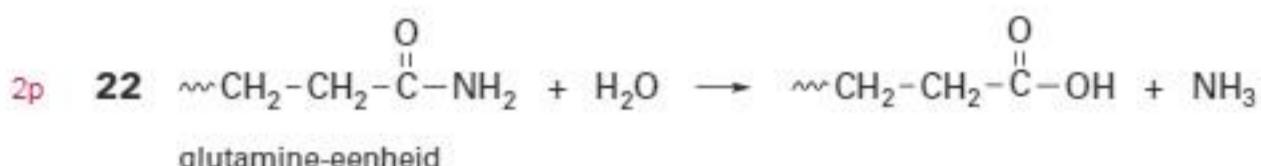
- 4p 19 1 mol Keltan®-Eco-eenheden heeft een massa van 38,3 g (gegeven).

$1,0 \text{ kg} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ g}$  komt dus overeen met  $\frac{1,0 \cdot 10^3 \text{ g}}{38,3 \text{ g mol}^{-1}} = 26,1 \text{ mol monomeer}$ -eenheden. [1p] Per mol monomeerheden is 0,40 mol propeen aanwezig (gegeven). 26,1 mol monomeereenheden bevat dus  $0,40 \cdot 26,1 = 10,4 \text{ mol propeen}$ . [1p] 1 mol propeen ( $\text{C}_3\text{H}_6$ , gegeven) heeft een massa van  $3 \cdot 12,01 + 6 \cdot 1,008 = 42,08 \text{ g}$  (Binas 98). 10,4 mol propeen komt dus overeen met  $10,4 \text{ mol} \cdot 42,08 \text{ g mol}^{-1} = 438 \text{ g}$  propeen. [1p] De dichtheid van propeen is  $1,75 \text{ kg m}^{-3}$  (gegeven); dat is  $1,75 \text{ g per liter}$  propeen. 438 g propeen heeft dus een volume van  $\frac{438 \text{ g}}{1,75 \text{ g L}^{-1}} = 2,5 \cdot 10^2 \text{ L}$ . [1p] (2 significante cijfers)

### Voedsellijm

- 2p 20 De primaire structuur gaat over de volgorde van de aminozuren in de ketens. [1p] Het enzym TG heeft alleen effect op de restgroepen (zijketens). De primaire structuur verandert dus niet. [1p]

- 1p 21  $\text{NH}_4^+$



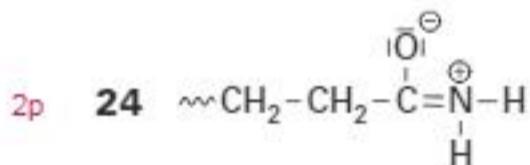
ontstane aminozuureenheid: glutaminezuur or Glu  
reactievergelijking kloppend [1p], naam aminozuur [1p]

- 4p 23  $\text{pH} = 7,40 \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-7,40} = 3,98 \cdot 10^{-8} \text{ mol L}^{-1}$  [1p]

Voor het zuur-base-evenwicht geldt de volgende evenwichtsvoorwaarde:

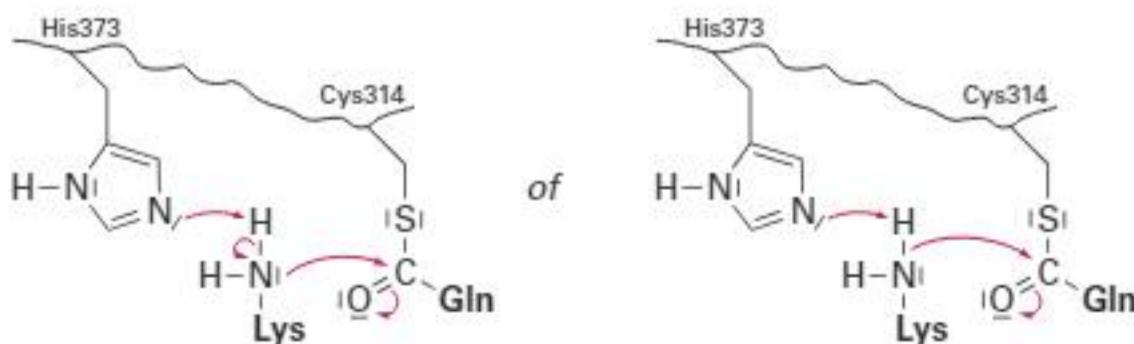
$$K_z = \frac{[\sim\text{NH}_2][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\sim\text{NH}_3^+]} \text{ [1p]} \Rightarrow \frac{[\sim\text{NH}_2]}{[\sim\text{NH}_3^+]} = \frac{K_z}{[\text{H}_3\text{O}^+]} = \frac{6,3 \cdot 10^{-11}}{3,98 \cdot 10^{-8}} = 1,58 \cdot 10^{-3} \text{ [1p]}$$

Het percentage  $\sim\text{NH}_2$  is  $\frac{1,58 \cdot 10^{-3}}{1,58 \cdot 10^{-3} + 1} \cdot 100\% = 0,16\%$ . [1p] (2 significante cijfers)



elektronenparen [1p], formele ladingen [1p]

- 3p 25



niet-bindende elektronenparen op O en N [1p], niet-bindende elektronenparen op S [1p], pijlen [1p]

## Examen 2023-I

Tenzij anders vermeld, is er sprake van standaardomstandigheden:  
 $T = 298\text{ K}$  en  $p = p_0$ .

### Biodiesel uit algen

In het project Algaeparc van Wageningen University & Research wordt onderzoek gedaan naar de productie van biodiesel uit algenolie. Algenolie is een mengsel van triglyceriden, dat in een aantal stappen in de algen wordt gevormd:

- Door fotosynthese ontstaat eerst glucose, waarbij tevens zuurstof ontstaat.
- Glucose wordt vervolgens met een **deel** van deze zuurstof volledig omgezet tot pyrodruivenzuur ( $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3$ ) en water.
- Pyrodruivenzuur wordt ten slotte omgezet tot algenolie.

Uit het onderzoek bleek onder andere dat de algengroei wordt geremd door de ontstane zuurstof. Bij een bepaalde algensoort neemt de vorming van algenolie sterk af als het gehalte zuurstof, dat na de omzettingen is overgebleven in de bioreactor, hoger is dan  $44,2\text{ g m}^{-3}$ .

De algen groeien in een buisvormige bioreactor die afgesloten is van de buitenlucht.

- 2p 1 Geef de reactievergelijking van de omzetting van glucose tot pyrodruivenzuur.
- 4p 2 Bereken de massa in gram pyrodruivenzuur die maximaal per liter is ontstaan als het gehalte zuurstof in de bioreactor  $44,2\text{ g m}^{-3}$  bedraagt.  
De molaire massa van pyrodruivenzuur bedraagt  $88,1\text{ g mol}^{-1}$ .

De onverzadigde vetzuren die in de triglyceriden van algenolie zijn gebonden, hebben enkele structuurkenmerken gemeenschappelijk:

- De  $\text{CH}=\text{CH}$  groepen hebben uitsluitend de cis-configuratie.
- In de koolwaterstofrest bevindt zich een herhalende atoomgroep die vereenvoudigd kan worden weergegeven als  $-(\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2)-$ .

Een voorbeeld van een veelvoorkomend vetzuur in algenolie is linolzuur. Linolzuur kan worden aangeduid met de verkorte notatie 18:2  $\omega$ -6.

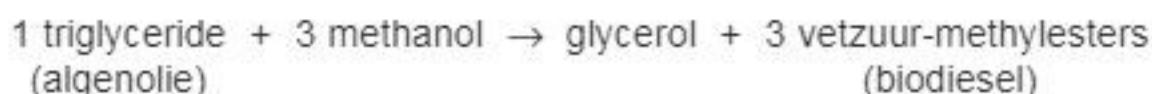
Deze verkorte notatie geeft informatie over:

- het totaal aantal C-atomen: 18;
- het aantal  $\text{C}=\text{C}$  bindingen: 2;
- het plaatsnummer van de eerste  $\text{CH}=\text{CH}$  groep vanaf de  $\text{CH}_3$ -groep.

Het vetzuur DHA in de algenolie heeft als verkorte notatie 22:6  $\omega$ -3.

- 3p 3 Teken de structuurformule van DHA. Houd hierbij rekening met de stereochemie.

Als er voldoende algen zijn gekweekt, wordt de algenolie uit het mengsel geëxtraheerd. Biodiesel wordt verkregen door de reactie van algenolie met methanol. Deze reactie is hieronder vereenvoudigd weergegeven met de juiste coëfficiënten.



Bij een proefproductie werd 500 g algenolie en voldoende methanol ingevoerd.

De gemiddelde molaire massa van algenolie was  $884 \text{ g mol}^{-1}$ .

Op deze wijze werd 0,392 L biodiesel verkregen.

De dichtheid van de geproduceerde biodiesel is  $0,874 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$  met een gemiddelde molaire massa van  $296 \text{ g mol}^{-1}$ .

- 5p 4 Bereken het rendement van de vorming van biodiesel.  
**Geef de uitkomst in het juiste aantal significante cijfers.**

In de bijlage bij vraag 5 is het blokschema van de omzetting van algenolie tot biodiesel onvolledig weergegeven.

Aan een reactor (R1) met daarin het enzym lipase worden de algenolie en een ondermaat methanol toegevoegd.

In een scheidingsruimte (S1) wordt de ontstane glycerol gescheiden van de overige stoffen.

De omzetting van de algenolie is na één reactor niet volledig. Door om en om meerdere reactoren en scheidingsruimtes te plaatsen, wordt een zo hoog mogelijke omzetting bereikt. De ondermaat methanol is zo gekozen dat de hoeveelheid methanol na elke reactor te verwaarlozen is.

In het uiteindelijke proces werden 10 reactoren en scheidingsruimtes gebruikt.

In het blokschema is met één blok de herhaling van reactoren R2 t/m R9 en scheidingsruimtes S2 t/m S9 aangegeven.

In R10 wordt een overmaat methanol toegevoegd zodat de algenolie volledig wordt omgezet tot biodiesel. In S10 wordt ten slotte biodiesel afgescheiden van het mengsel afkomstig uit R10.

- 3p 5 Maak in de bijlage het blokschema compleet.
- Teken R10 en S10.
  - Teken de ontbrekende pijlen.
  - Geef bij alle pijlen de ontbrekende stofstromen aan met de volgende nummers:
    - 1 algenolie
    - 2 biodiesel
    - 3 glycerol
    - 4 methanol

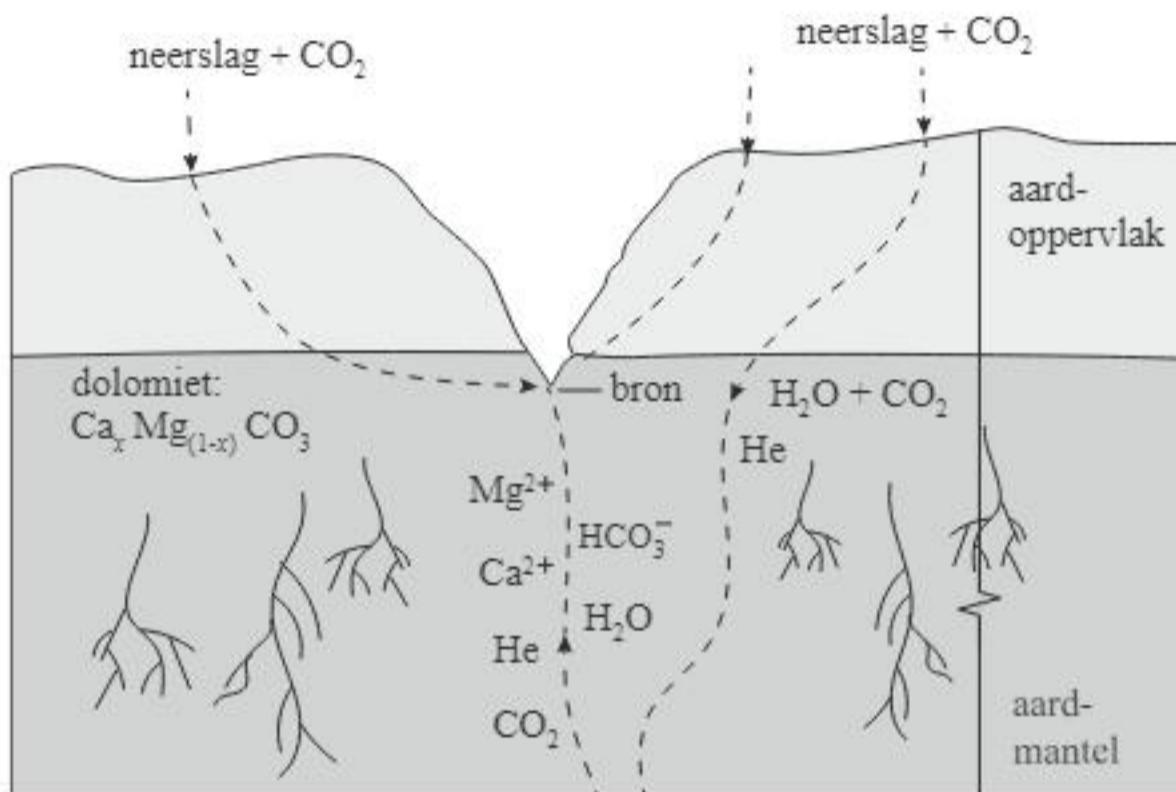
#### bijlage bij vraag 5



## Gerolsteiner®

Gerolsteiner® is een Duits merk koolzuurhoudend mineraalwater uit Gerolstein, een kleine stad in de Eifel. In de ondergrond van Gerolstein bevindt zich het gesteente dolomiet. Dolomiet reageert met opgelost koolstofdioxide dat afkomstig is uit neerslag of uit dieper gelegen aardlagen.

In de onderstaande figuur is schematisch weergegeven hoe koolzuurhoudende neerslag in contact komt met dolomiet, waardoor Gerolsteiner® mineraalwater wordt gevormd.



De waarde van  $x$  in de verhoudingsformule van dolomiet ligt tussen nul en één.

- 3p 6 Geef met behulp van de figuur de vergelijking van de reactie van dolomiet met opgelost koolstofdioxide.

In het mineraalwater is ook een beetje helium opgelost. Het helium blijkt zowel uit  $^3\text{He}$  als uit  $^4\text{He}$  te bestaan. De verhouding tussen de heliumisotopen hangt af van de herkomst van het helium.

Dit gegeven hebben onderzoekers gebruikt om te bepalen of het opgeloste  $\text{CO}_2$  in Gerolsteiner® mineraalwater uitsluitend afkomstig is uit neerslag of ook uit dieper gelegen aardlagen.

$^4\text{He}$  ontstaat door het radioactief verval van  $^{238}\text{U}$ . Bij dit radioactief verval ontstaat nog één ander deeltje.

- 2p 7 Geef het symbool en het aantal neutronen van dit deeltje.

Noteer je antwoord als volgt:

symbool: ...

aantal neutronen: ...

Na afscheiding van het helium van de overige gassen kan de verhouding  $\frac{^3\text{He}}{^4\text{He}}$  worden bepaald met behulp van een analysetechniek.

- 1p 8 Geef de analysetechniek die geschikt is voor het bepalen van de verhouding  $\frac{^3\text{He}}{^4\text{He}}$ . In neerslag komt de verhouding  $\frac{^3\text{He}}{^4\text{He}}$  overeen met het voorkomen in de natuur.  
In de dieper gelegen aardlagen is die verhouding hoger.  
De onderzoekers hebben vastgesteld dat de concentratie  $^4\text{He}$  in Gerolsteiner® overeenkomt met  $4 \cdot 10^{-6} \text{ M}$ . De concentratie  $^3\text{He}$  in Gerolsteiner® is  $3 \cdot 10^{-11} \text{ M}$ .
- 2p 9 Leg uit met behulp van een berekening of de gevonden concentraties erop wijzen dat de opgeloste gassen in Gerolsteiner® uitsluitend afkomstig zijn uit neerslag of ook uit dieper gelegen aardlagen.  
Gebruik Binas-tabel 25A of ScienceData-tabel 1.11.

De oplosbaarheid van  $\text{CO}_2$  in water is  $2,3 \text{ g L}^{-1}$  ( $T = 298 \text{ K}$  en  $p = p_0$ ).  
 $\text{CO}_2$  is daarmee ruim 30 keer beter oplosbaar dan  $\text{O}_2$  onder dezelfde omstandigheden.  
Dit wordt onder andere veroorzaakt door elektrostatische interacties. Deze interacties treden op tussen moleculen  $\text{CO}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$  maar niet tussen moleculen  $\text{O}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$ .

- 3p 10 Voer de volgende opdrachten uit:
- Teken de lewisstructuren van  $\text{CO}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$ . Geef hierbij de juiste bindingshoeken weer.
  - Geef partiële ladingen aan.
  - Geef in de tekening met een stippellijn een elektrostatische interactie aan tussen beide moleculen die de oplosbaarheid verklaart.

De koolzuurhoudende variant van Gerolsteiner® mineraalwater heet Gerolsteiner® Sprudel en is vergelijkbaar met SPA® Intense (ook wel bekend als SPA® Rood).  
In de onderstaande tabel zijn enkele gegevens van Gerolsteiner® Sprudel en SPA® Intense gegeven.

	gehalte in Gerolsteiner® Sprudel (mg L <sup>-1</sup> )	gehalte in SPA® Intense (mg L <sup>-1</sup> )
$\text{HCO}_3^-$	1816	18
$\text{H}_2\text{CO}_3$	8,3	8,2

In koolzuurhoudend water stelt zich onder andere evenwicht 1 in.



De pH van Gerolsteiner® Sprudel is 5,95. De pH van SPA® Intense is 3,95.

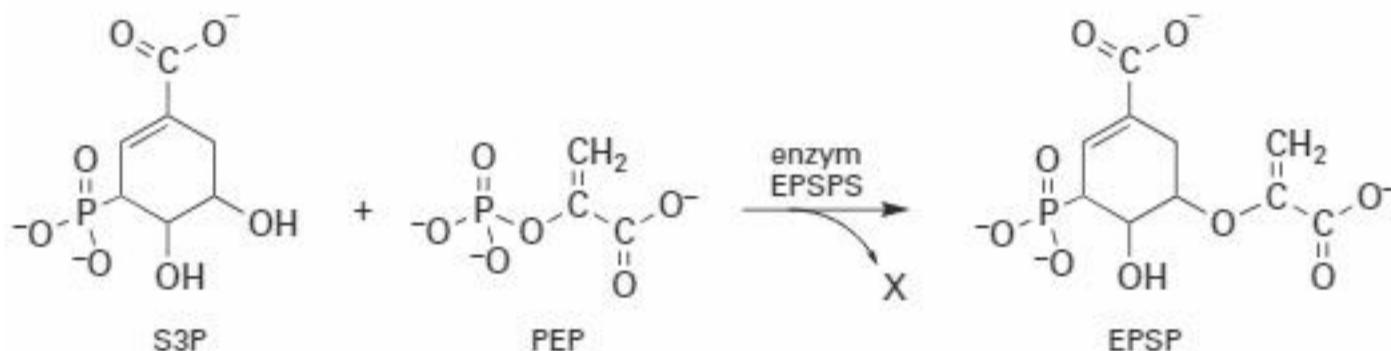
- 3p 11 Verklaar met behulp van de tabel dat de pH van Gerolsteiner® Sprudel hoger is dan de pH van SPA® Intense. Gebruik hierbij de  $K_z$  van  $\text{H}_2\text{CO}_3$ .

## Glyfosaat

Glyfosaat ( $H_2Glyf$ ) wordt wereldwijd op grote schaal gebruikt als onkruidverdelgingsmiddel. In water komt glyfosaat vooral voor in de vorm van  $Glyf^{2-}$  en  $HGlyf^-$ . De  $K_z$  van  $HGlyf^-$  bedraagt  $2,5 \cdot 10^{-6}$ .

- 4p 12 Bereken hoeveel procent van glyfosaat aanwezig is als  $HGlyf^-$  bij pH = 7,00. Neem aan dat alleen  $HGlyf^-$  en  $Glyf^{2-}$  aanwezig zijn.

Het  $Glyf^{2-}$  blokkeert het enzym EPSPS in planten. Dit enzym speelt een belangrijke rol bij de aanmaak van aromatische aminozuren. EPSPS katalyseert de omzetting die hieronder is weergegeven.

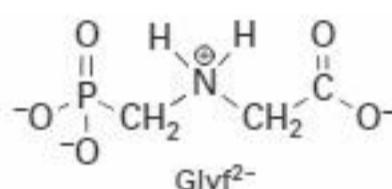


Bij deze omzetting ontstaat ook het deeltje X.

- 1p 13 Geef de formule van het deeltje X.

In het mechanisme van de gegeven omzetting neemt een koolstofatoom in het deeltje PEP eerst een  $H^+$ -ion op. Het gevormde deeltje PEP- $H^+$  heeft sterke overeenkomsten met het deeltje  $Glyf^{2-}$  wat betreft ladingsverdeling. De structuurformule van  $Glyf^{2-}$  is hiernaast weergegeven.

In de structuur van het deeltje PEP- $H^+$  heeft één C-atoom geen volledig octet.



- 2p 14 Teken een mogelijke structuurformule van PEP- $H^+$ .

De binding van glyfosaat aan EPSPS is onomkeerbaar, waardoor de aanmaak van aromatische aminozuren geheel tot stilstand komt.

Onderzoekers hebben een bacterie ontdekt die glyfosaat-resistant is.

De resistantie wordt veroorzaakt door een mutatie in de genetische code voor het enzym EPSPS. Het werkzame enzym dat in de bacterie aanwezig is, wordt aangeduid als CP4. In CP4 is op positie 100 een alanine-eenheid aanwezig, waar in EPSPS een glycine-eenheid aanwezig is.

- 2p 15 Geef in de bijlage bij vraag 15 de symbolen van het basenpaar waarin de genetische code voor CP4 verschilt van EPSPS.

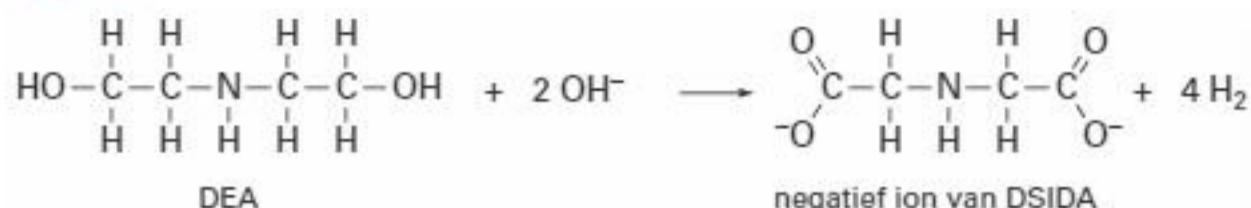
Gebruik Binas-tabel 71G of ScienceData-tabel 16.9.

### bijlage bij vraag 15

CP4	EPSPS
base op coderende streng	
base op matrijsstreng	

Om de wereldvoedselopbrengst te verhogen zijn veel gewassen tegenwoordig genetisch gemodificeerd, zodat met glyfosaat uitsluitend het onkruid wordt bestreden. Per jaar wordt ruim 650.000 ton glyfosaat geproduceerd. Het DEA-proces staat bekend als het meest 'groene' van de verschillende productiemethoden. Dit proces start met de omzetting van DEA met natronloog tot DSIDA. Deze reactie is weergegeven in de onderstaande figuur. DSIDA is een zout dat bestaat uit  $\text{Na}^+$ -ionen en  $\text{C}_4\text{H}_5\text{NO}_4^{2-}$ -ionen.

**figuur 2**



- 2p 16 Leg uit, aan de hand van formules uit bovenstaande reactievergelijking, of de omzetting van DEA tot DSIDA een zuur-basereactie is of een redoxreactie.

In een fabriek wordt glyfosaat geproduceerd in batches. Per batch wordt  $8,3 \cdot 10^3$  kg DSIDA gevormd uit DEA.

De omzetting van DEA tot DSIDA heeft een rendement van 86,4%.

- 4p 17 Bereken de massa in kilogram natriumhydroxide die moet worden gebruikt per batch.

## Lithium-luchtbatterij

Om in een batterij zoveel mogelijk lading op te slaan in zo weinig mogelijk massa, worden batterijen ontworpen waarin zuurstof uit de lucht als oxidator optreedt. In zo'n batterij is dan alleen de reducteur opgeslagen.

De eigenschappen van de reducteur bepalen dan in hoge mate de ladingsdichtheid.

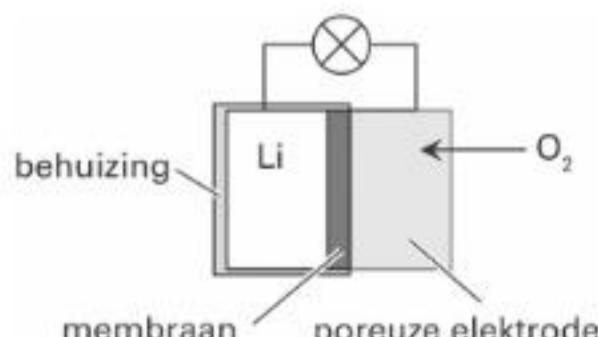
Ladingsdichtheid is gedefinieerd als de hoeveelheid lading per massa-eenheid.

De aluminium-luchtbatterij is bijvoorbeeld al verkrijgbaar en veel onderzoek wordt verricht aan de lithium-luchtbatterij.

- 2p 18 Leid met behulp van een berekening af welke van deze twee batterijen de hoogste ladingsdichtheid heeft.

Hiernaast is een lithium-luchtbatterij schematisch weergegeven.

In deze opgave worden eerst de elektroden en dan het membraan besproken.



**I de elektroden**

Op het grensvlak van het lithium en het membraan verloopt bij stroomlevering onderstaande halfreactie.



- 2p 19 Leg uit of de lithiumelektrode bij stroomlevering de positieve of negatieve elektrode is.

Een onderzoeksgroep heeft voor de poreuze elektrode een elektrodemateriaal ontwikkeld op basis van een polymeer. In het materiaal zijn katalysatordeeltjes aanwezig, die de omzetting van zuurstof katalyseren.

Bij deze omzetting wordt onder andere het  $\text{O}_2^-$ -ion gevormd.

Dit ion is erg reactief en tast organische oplosmiddelen en membranen aan.

Een van beide atomen in het  $\text{O}_2^-$ -ion voldoet niet aan de octetregel.

- 2p 20 Voer de volgende opdrachten uit:

- Teken een grensstructuur van het  $\text{O}_2^-$ -ion. Geef hierbij (de) formele lading(en) aan.
- Leg uit waarom het  $\text{O}_2^-$ -ion zo reactief is.

De katalysator die door de onderzoeksgroep werd gebruikt, is erg duur en door de vele bijreacties raakte het elektrodemateriaal snel beschadigd.

Een andere onderzoeksgroep heeft een elektrodemateriaal ontwikkeld op basis van een eiwit. Dit materiaal bleek de genoemde nadelen minder te vertonen.

De eerste stappen in de productie van dit materiaal waren globaal als volgt:

- Het DNA van een virus wordt gemodificeerd.
- Het virus produceert een eiwit.
- Aan een oplossing van dit eiwit wordt in licht basisch milieu een oplossing met daarin  $\text{Mn}^{2+}$ -ionen toegevoegd.

De  $\text{Mn}^{2+}$ -ionen binden aan de peptideketens door middel van ionbindingen.

De onderzoekers hebben de genetische code voor het eiwit veranderd met als doel dat de peptideketens meer  $\text{Mn}^{2+}$ -ionen konden binden.

Hieronder zijn met behulp van de 1-lettersymbolen van aminozuren de volgordes weergegeven van de aminozuureenheden in een deel van het oorspronkelijke eiwit en in een deel van het genetisch gemodificeerde eiwit.

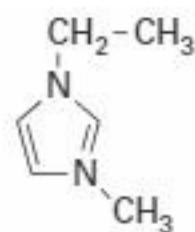
peptideketen A ~ADVYESALPDPAKAAFN~

peptideketen B ~ADVYESALPDPAEAAFE~

- 3p 21 Leg uit welke peptideketen bij hogere pH de meeste  $\text{Mn}^{2+}$ -ionen kan binden:  
peptideketen A of peptideketen B.

## II het membraan

Het membraan in de lithium-luchtbatterij is een composiet die bestaat uit een polymeer en een zogeheten ionische vloeistof. Een ionische vloeistof is een zout dat bij kamertemperatuur vloeibaar is. Hiernaast is een van de aanwezige ionen van het gebruikte zout weergegeven. De lading van het ion is hierbij weggelaten.



- 2p **22** Leid af wat de lading is van dit ion.

Als polymeer voor het membraan gebruikten de onderzoekers het copolymer PVDF-HFP. Dit copolymer is door polyadditie ontstaan uit 1,1-difluoretheen en hexafluorpropeen.

- 3p **23** Teken de structuurformule van een gedeelte van een molecuul PVDF-HFP. Dit gedeelte moet komen uit het midden van het molecuul en moet bestaan uit één eenheid van beide monomeren.

Het lithium in de batterij mag niet in contact komen met lucht of water.

Het membraan moet daarom heel precies in vorm worden gebracht.

Een materiaal kan op twee manieren in vorm worden gebracht:

- 1 door het te smelten, waarna het in een mal kan worden gespoten;
- 2 door bewerkingen, zoals snijden en slijpen.

- 2p **24** Leg uit of het copolymer PVDF-HFP in de juiste vorm kan worden gebracht door het materiaal te smelten, waarna het in een mal kan worden gespoten.

De totaalvergelijking van de omzettingen die verlopen in de lithium-luchtbatterij is hieronder weergegeven.



Omdat de lithium-luchtbatterij oplaadbaar is, kan deze batterij worden gebruikt in bijvoorbeeld een auto. Het nuttig rendement bij de omzetting van chemische energie naar bewegingsenergie is hierbij 70%. De rest van de energie gaat verloren aan warmteontwikkeling en wrijving. De onderzoekers hebben een lithium-luchtbatterij gemaakt die 45 g lithium bevatte. De vormingswarmte van  $\text{Li}_2\text{O}_2$  is  $-6,43 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ .

- 4p **25** Bereken de maximale nuttige energie in joule die door deze lithium-luchtbatterij kan worden geleverd.

**Geef de uitkomst in het juiste aantal significante cijfers.**

 Je kunt dit examen nakijken met de uitwerkingen hierna óf online op [mijnexamenbundel.nl](https://mijnexamenbundel.nl). Je ziet dan je totaalscore en je score per onderwerp. Deze worden bewaard.



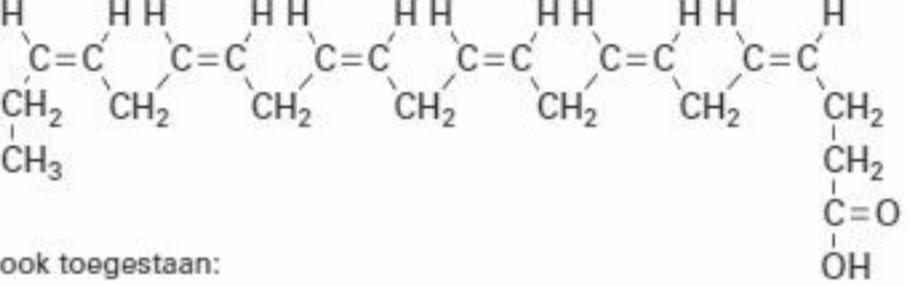
## Hints bij examen 2023-I<sup>1)</sup>

- 1 De formules of namen van alle stoffen staan in de eerste alinea van de opgave.
- 2 Bepaal welk deel van de gevormde zuurstof NIET reageert met glucose.
- 3 Vergelijk met het voorbeeld van linolzuur (in Binas 67G2).
- 4 Hier zijn vier omrekeningen nodig, waaronder die van gram naar mol en van L naar g.
- 5 De exacte beschrijving van het blokschema staat vlak boven de vraag. Welke stoffen wil men van elkaar scheiden in S10?
- 6 Hier vindt een zuur-basereactie plaats, waarbij dolomiet oplost.
- 7 Verminder het aantal protonen en neutronen van uranium (U) met die van He.
- 9 Vergelijk de verhouding van de He-isotopen in de neerslag met de verhouding die in Gerolsteiner Sprudel wordt gevonden.
- 10 Voorbeelden van elektrostatische interacties zijn aantrekking en afstoting.
- 11  $K_z$  heeft in Gerolsteiner Sprudel dezelfde waarde als in Spa Intense (bij dezelfde  $T$ ).
- 12 Bereken de breuk van de concentraties van de twee ionen van glyfosaat.
- 14 Om een vergelijkbare ladingsverdeling te krijgen als Glyf<sup>2-</sup> moet er een pluslading zijn ontstaan in het midden van PEP-H<sup>+</sup>.
- 15 Alanine en glycine kunnen beide met drie verschillende codons worden aangemaakt, maar deze verschillen alle drie bij de middelste base.
- 16 Welk soort deeltjes wordt overgedragen bij een redoxreactie en welk soort bij een zuur-basereactie?
- 17 DSIDA bestaat niet alleen uit negatieve ionen.
- 18 Maak de berekening voor Li- en Al-atomen of voor een mol van deze atomen.
- 19 Waar blijven de elektronen die bij de halfreactie vrijkomen?
- 20 Ga uit van de lewisstructuur van O<sub>2</sub>.
- 21 Om Mn<sup>2+</sup>-ionen te kunnen binden, zijn negatieve groepen nodig.
- 22 Welk atoom heeft een afwijkend aantal bindingen met naburige atomen?
- 23 Plaats de vier C-atomen aan de dubbele bindingen naast elkaar als hoofdketen.
- 24 Is het copolymer een thermoharder of een thermoplast?
- 25 De maximale chemische energie bereken je met de vormingswarmte.

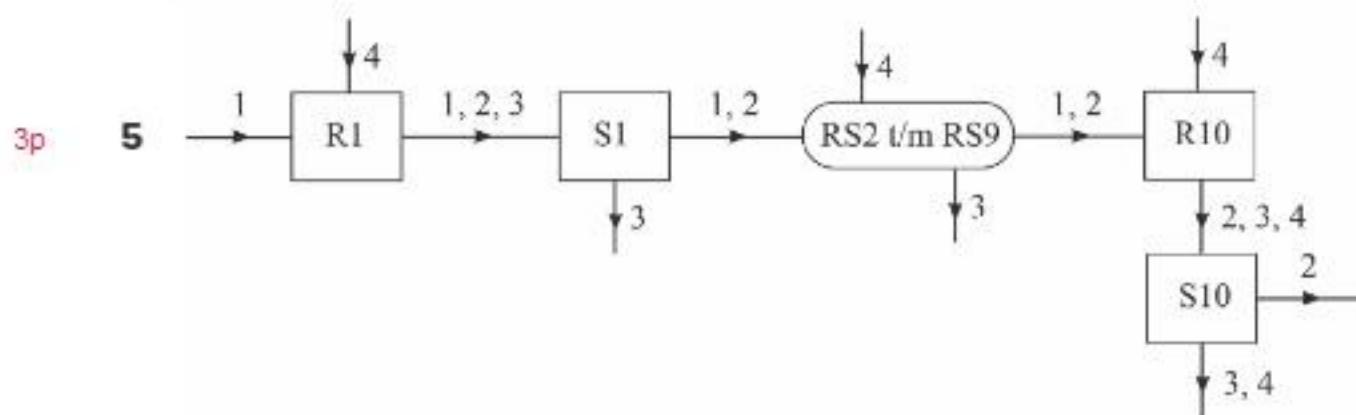
1) De 1-puntsvragen (hier de vragen 8 en 13) krijgen geen hint.

# Uitwerkingen bij examen 2023-I

## Biodiesel uit algen

- 2p** **1**  $C_6H_{12}O_6 + O_2 \rightarrow 2 C_3H_4O_3 + 2 H_2O$   
*links van pijl  $C_6H_{12}O_6$  en rechts van pijl  $C_3H_4O_3$  en  $H_2O$*  [1p]  
*links van pijl  $O_2$  en coëfficiënten rechts* [1p]
- 4p** **2** Zuurstof gevormd bij fotosynthese:  $6 H_2O + 6 CO_2 \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6 O_2$   
 In de volgreactie van glucose tot pyrodruivenzuur (zie uitwerking 1) reageert van 6 mol  $O_2$  slechts 1 mol  $O_2$  met 1 mol glucose tot 2 mol pyrodruivenzuur en blijft er 5 mol  $O_2$  in de reactor achter. [1p]  
 De concentratie van zuurstof in de bioreactor bedraagt  $44,2 \text{ g m}^{-3}$  (gegeven).  
 1 liter ( $1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ ) bevat dus  $44,2 \cdot 10^{-3} \text{ g}$   $O_2$ . De massa van 1 mol  $O_2 = 32,00 \text{ g}$   
 $(\text{Binas 99}) \Rightarrow [O_2] = \frac{44,2 \cdot 10^{-3} \text{ g L}^{-1}}{32,00 \text{ g mol}^{-1}} = 1,381 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ . [1p]  
 De hoeveelheid  $C_3H_4O_3$  die dan is gevormd, is  $\frac{2}{5} \cdot 1,381 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} = 0,5524 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$ . [1p]  
 1 mol pyrodruivenzuur heeft een massa van  $88,1 \text{ g}$  (gegeven). Dus zodra de omzetting van glucose stopt door een te hoge concentratie van zuurstof in de reactor, is  $0,5524 \cdot 10^{-3} \text{ mol L}^{-1} \cdot 88,1 \text{ g mol}^{-1} = 4,87 \cdot 10^{-2} \text{ g L}^{-1}$  pyrodruivenzuur ontstaan. [1p]
- 3p** **3**
  
 ook toegestaan:  

$$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\left[\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ | & | \\ \text{C}=\text{C}-\text{CH}_2 \end{array}\right]_6\text{CH}_2-\text{C}(=\text{O})\text{OH}$$
- zuurgroep en hoofdketen van 22 koolstofatomen* [1p], *eerste C=C tussen C3 en C4 met C1 in  $CH_3$ -groep* [1p], *zes maal cis-( $CH=CH-CH_2$ ) en rest van structuur* [1p]
- 5p** **4** De gemiddelde massa van 1 mol algenolie is  $884 \text{ g}$  (gegeven).  
 Dus  $500 \text{ g}$  algenolie komt overeen met  $\frac{500 \text{ g}}{884 \text{ g mol}^{-1}} = 0,5656 \text{ mol}$ .  
 Volgens de molverhouding in de reactievergelijking in de opgave kan uit 1 mol triglyceride 3 mol biodiesel ontstaan, dus uit  $0,5656 \text{ mol}$  triglyceride ontstaat maximaal  $3 \cdot 0,5656 = 1,697 \text{ mol}$  biodiesel [1p] (gegeven: met gemiddelde molaire massa van  $296 \text{ g mol}^{-1}$ ).  
 Dit komt overeen met  $1,697 \text{ mol} \cdot 296 \text{ g mol}^{-1} = 5,023 \cdot 10^2 \text{ g}$ . [1p]  
 De dichtheid van biodiesel is  $0,874 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3} = 0,874 \cdot 10^3 \text{ g L}^{-1}$ .  
 $5,023 \cdot 10^2 \text{ g}$  biodiesel heeft dan een volume van  $\frac{5,023 \cdot 10^2 \text{ g}}{0,874 \cdot 10^3 \text{ g L}^{-1}} = 0,5747 \text{ L}$ . [1p]  
 Er wordt  $0,392 \text{ L}$  biodiesel gevormd, dus het rendement is  $\frac{0,392 \text{ L}}{0,5747 \text{ L}} \cdot 100\% = 68,2\%$ . [1p] 3 significante cijfers [1p]



R10 en S10 een stofstroom van 1 [1p], stofstroom van 2 [1p], stofstroom van 3 en 4 [1p]

### Gerolsteiner®

- 3p 6  $\text{Ca}_x\text{Mg}_{(1-x)}\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow x \text{Ca}^{2+} + (1-x) \text{Mg}^{2+} + 2 \text{HCO}_3^-$   
links van pijl  $\text{H}_2\text{O}$  en  $\text{CO}_2$  (of  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) en rechts van pijl  $\text{HCO}_3^-$  [1p], links van pijl  $\text{Ca}_x\text{Mg}_{(1-x)}\text{CO}_3$  en rechts van pijl  $\text{Ca}^{2+}$  en  $\text{Mg}^{2+}$  [1p], elementbalans bij juiste formules [1p]
- 2p 7 symbool: Th [1p]  
aantal neutronen: 144 [1p]  
 ${}^4\text{He}$  bevat 2 protonen (atoomnummer) en 2 neutronen (vormen samen massagetel 4). Evenzo bevat  ${}^{238}\text{U}$  92 protonen en  $238 - 92 = 146$  neutronen. Het ontstane deeltje heeft dus  $92 - 2 = 90$  protonen en  $146 - 2 = 144$  neutronen. Deze zware isotoop van Th is zelf ook radioactief, maar met een veel kleinere halfwaardetijd dan  ${}^{238}\text{U}$  (Binas 25A).
- 1p 8 massaspectrometrie  
Met massaspectrometrie worden op grond van massa's verschillen zichtbaar gemaakt. De piek van  ${}^4\text{He}$  zal groter zijn en op een andere plaats in het massaspectrum liggen dan die van  ${}^3\text{He}$ . De hoogte van de pieken is een directe maat voor het aantal deeltjes.
- 2p 9 In Gerolsteiner geldt:  $\frac{{}^3\text{He}}{{}^4\text{He}} = \frac{3 \cdot 10^{-11}}{4 \cdot 10^{-6}} = 7,5 \cdot 10^{-6}$  [1p]  
In de natuur en dus ook in neerslag geldt:  $\frac{{}^3\text{He}}{{}^4\text{He}} = \frac{1,4 \cdot 10^{-4}}{100} = 1,4 \cdot 10^{-6}$   
In Gerolsteiner is de verhouding  ${}^3\text{He} : {}^4\text{He}$  groter dan in de natuur, dus zal deze verhouding (deels) in de dieper gelegen aardlagen zijn ontstaan. [1p]
- 3p 10   
Bij de centrale atomen in  $\text{H}_2\text{O}$  en  $\text{CO}_2$  mag de partiële lading als  $2\delta-$  respectievelijk  $2\delta+$  worden weergegeven.  
Lewisstructuren met bindingshoeken [1p], partiële ladingen [1p], interactie aangegeven [1p]

- 3p 11 De evenwichtsvoorwaarde voor evenwicht 1 (zie opgave)  $K_z = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}$  geldt voor beide soorten spuitwater. [1p] Omdat het aantal mg  $\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$  per L (en dus ook de concentratie) in beide soorten water vrijwel gelijk is, wordt een verschil in pH veroorzaakt door het verschil in  $[\text{HCO}_3^-(\text{aq})]$ . Die concentratie is in Gerolsteiner Sprudel ongeveer honderdmaal groter. [1p] Omdat  $K_z$  een constante is, zal  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  in Gerolsteiner Sprudel ongeveer honderdmaal kleiner (moeten) zijn en de pH dus hoger. [1p]  
*Een honderdmaal kleinere  $[\text{H}_3\text{O}^+]$  leidt tot een pH-waarde die ongeveer 2 hoger ligt, want  $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$ .*

### Glyfosaat

- 4p 12 Voorbeeld van een juist antwoord:

Voor het evenwicht  $\text{HGlyf}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Glyf}^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+$  geldt de evenwichtsvoorwaarde:

$$K_z = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{Glyf}^{2-}]}{[\text{HGlyf}^-]} = 2,5 \cdot 10^{-6} \quad [1p]$$

$$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] = 7,00 \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-7,00} = 1,00 \cdot 10^{-7} \quad [1p]$$

$$\text{Substitutie in de evenwichtsvoorwaarde geeft: } \frac{[\text{Glyf}^{2-}]}{[\text{HGlyf}^-]} = \frac{2,5 \cdot 10^{-6}}{1,00 \cdot 10^{-7}} = 25 \quad [1p]$$

Dus voor elk ion  $\text{HGlyf}^-$  zijn er 25 ionen  $\text{Glyf}^{2-}$  aanwezig.

$$\text{Het percentage HGlyf}^- \text{ bedraagt } \frac{1}{1+25} \cdot 100\% = 3,8\%. \quad [1p] \text{ (2 significante cijfers)}$$

- 1p 13  $\text{HPO}_4^{2-}$

- 2p 14 Twee mogelijke antwoorden:



*H-atoom aan C2 of C3 gebonden [1p], positieve lading en rest van formule [1p]*

	CP4	EPSPS
base op coderende streng	C	G
base op matrijsstreng	G	C

*basen op coderende streng [1p], basen op matrijsstreng [1p]*

- 2p 16 Voorbeelden van een juist antwoord:

- Als het een zuur-basereactie zou zijn, ontstaat er  $\text{H}_2\text{O}$  uit  $\text{OH}^-$ . [1p] Het is dus een redoxreactie. [1p]
- Het ontstaan van  $\text{H}_2$  uit  $\text{OH}^-$  is alleen mogelijk als er elektronen worden overgedragen. [1p] Het is dus een redoxreactie. [1p]

- 4p **17** De massa van 1 mol  $\text{Na}_2\text{C}_4\text{H}_5\text{NO}_4$  is:  $2 \cdot 22,99 + 4 \cdot 12,01 + 5 \cdot 1,008 + 14,01 + 4 \cdot 16,00 = 45,98 + 48,04 + 5,04 + 14,01 + 64,00 = 177,07$  g (Binas 99).  
De massa van 1 mol NaOH is 39,997 g (Binas 98). [1p]
- $8,3 \cdot 10^3$  kg of  $8,3 \cdot 10^6$  g DSIDA komt overeen met  $\frac{8,3 \cdot 10^6 \text{ g}}{177,07 \text{ g mol}^{-1}} = 4,69 \cdot 10^4$  mol. [1p]
- Volgens de reactievergelijking (zie figuur 2 in opgave) is 2 mol NaOH nodig voor 1 mol DSIDA. Voor  $4,69 \cdot 10^4$  mol is dan  $2 \cdot 4,69 \cdot 10^4 = 9,38 \cdot 10^4$  mol NaOH nodig, overeenkomend met  $9,38 \cdot 10^4 \text{ mol} \cdot 39,997 \text{ g mol}^{-1} = 375 \cdot 10^4 \text{ g} = 3,75 \cdot 10^3 \text{ kg}$ . [1p]
- Het rendement van de reactie in figuur 2 is echter niet 100%, maar 86,4% (gegeven). Om toch de gewenste hoeveelheid DSIDA te verkrijgen, zal dus meer NaOH moeten worden toegevoegd:  $\frac{100}{86,4} \cdot 3,75 \cdot 10^3 \text{ kg} = 4,3 \cdot 10^3 \text{ kg NaOH}$  [1p] (2 significante cijfers)

### Lithium-luchtbatterij

- 2p **18** *Op microniveau:*  
De atoommassa's van aluminium en lithium zijn respectievelijk 26,98 en 6,941 u (Binas 99). De massa van aluminium is dus per atoom  $\frac{26,98}{6,941} = 3,887$  keer zo groot. [1p]  
Bij levering van elektrische energie staat aluminium drie elektronen af per atoom en lithium slechts één. Lithium staat dus een factor 3 minder energie af per atoom, maar heeft een meer dan drie keer zo kleine massa. Lithium heeft dus een (iets) hogere ladingsdichtheid dan aluminium. [1p]
- Op macroniveau:*  
De molaire massa's van aluminium en lithium zijn respectievelijk 26,98 en 6,941 g (Binas 99). Bij stroomlevering staat 1 mol (26,98 g) aluminium 3 mol elektronen af.  
De ladingsdichtheid van Al is dus  $\frac{3}{26,98} = 0,111$  (mol elektronen per gram). [1p]  
Bij stroomlevering staat 1 mol (6,941 g) lithium 1 mol elektronen af.  
De ladingsdichtheid van Li is dus  $\frac{1}{6,941} = 0,144$  (mol elektronen per gram).  
Lithium heeft dus een hogere ladingsdichtheid dan aluminium. [1p]  
*Omdat het verschil in ladingsdichtheid niet erg groot is, is het aannemelijk dat er nog andere redenen zijn om voor het ene metaal of het andere te kiezen. Denk aan reactiviteit, beschikbaarheid en veiligheid (lithium is brandgevaarlijk).*

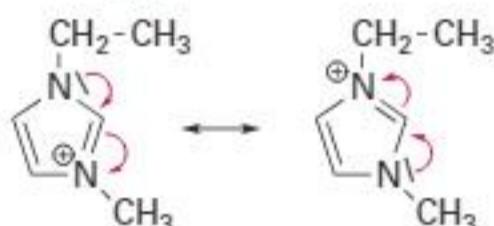
- 2p **19** *Mogelijke antwoorden:*  
De lithiumelektrode is bij stroomlevering de negatieve elektrode [1p], want:
  - bij de halfreactie van Li ontstaan elektronen.
  - de lithiumatomen laten hun valentie-elektronen achter op de elektrode.
  - lithium is de reducteur.*het noemen van een van de bovenstaande toelichtingen* [1p]
- 2p **20**  $\text{O}-\bar{\text{O}}^\ominus$  of  $\overset{\ominus}{\text{O}}-\bar{\text{O}}$   
De lewisstructuur van  $\text{O}_2^-$  vertoont een oneven aantal elektronen.  
Hier is dus sprake van een radicaal en die zijn altijd erg reactief.  
*De bovenstaande lewisstructuren zijn gelijkwaardige grensstructuren die in elkaar over kunnen gaan en daardoor het radicaal enigszins kunnen stabiliseren:*  $\begin{array}{c} \text{:}\ddot{\text{O}}\cdots\ddot{\text{O}}^\ominus \\ \longleftrightarrow \\ \overset{\ominus}{\text{O}}\cdots\ddot{\text{O}} \end{array}$  lewisstructuur [1p], conclusie [1p]

## 3p 21 Voorbeeld van een juist antwoord:

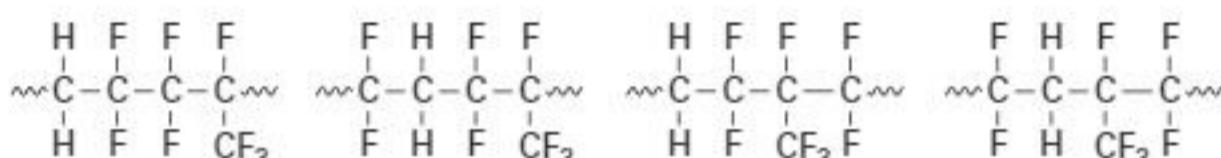
Het zijn de zure restgroepen in de peptideketens die in basisch milieu een negatieve lading kunnen dragen (door afsplitsing van een  $\text{H}^+$ -ion). De  $\text{Mn}^{2+}$ -ionen kunnen zich aan deze negatieve ionen binden (als ionbinding). [1p]  
Door de vervanging van de aminozuren K en N door E (glutaminezuur, zie Binas 67H1), komen er meer  $\text{HOOC}$ -groepen in de restgroepen van de peptideketen. [1p]  
Peptideketen B zal dus de meeste  $\text{Mn}^{2+}$  kunnen binden. [1p]

## 2p 22 Door de vereenvoudigde structuurformule voluit te schrijven als lewisstructuur wordt zichtbaar dat de meeste atomen acht elektronen om zich heen hebben. Alleen de H-atomen hebben twee elektronen.

Het N-atoom met de methylgroep deelt vier elektronenparen met de naburige atomen. [1p] Een neutraal N-atoom heeft vijf elektronen om zich heen (Binas 99). Het genoemde N-atoom heeft een elektron minder om zich heen dan een neutraal stikstofatoom. De formele lading op dit N-atoom is dus  $1+$ . [1p]  
*Een getekende lewisstructuur met de pluslading op het juiste N-atoom levert ook 2 punten op.*  
*Dit ion kan ontstaan, omdat de afgebeelde structuur slechts één van de mogelijke grensstructuren is.*  
*De lading verdeelt zich namelijk over twee plekken:*



## 3p 23 Mogelijke structuurformules (noem er één):



hoofdketen van vier C-atomen [1p], zijgroep  $\text{CF}_3$  en overige F-atomen weergegeven [1p], uiteinden [1p]

## 2p 24 Voorbeeld van een juist antwoord:

Het copolymer bevat geen zijgroepen die dwarsverbindingen (crosslinks) kunnen vormen. [1p] Het is dus een thermoplast, die door sputtigieten in de juiste vorm kan worden gebracht. [1p]

## 4p 25 De massa van 1 mol lithium bedraagt 6,941 g, dus 45 g Li komt overeen met

$\frac{45 \text{ g}}{6,941 \text{ g mol}^{-1}} = 6,48 \text{ mol}$ . Volgens de reactievergelijking (zie opgave) kan hoogstens de helft hiervan, dus 3,24 mol, aan  $\text{Li}_2\text{O}_2$  ontstaan. [1p] Bij de vorming hiervan is de maximaal ontstane chemische energie  $3,24 \text{ mol} \cdot 6,43 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1} = 2,08 \cdot 10^6 \text{ J}$ . [1p]

De nuttige energie bij een rendement van 70% is  $\frac{70}{100} \cdot 2,08 \cdot 10^6 \text{ J} = 1,5 \cdot 10^6 \text{ J}$ . [1p]

2 significante cijfers [1p]

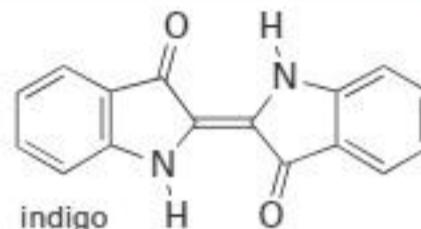
## Examen 2023-II

Tenzij anders vermeld, is er sprake van standaardomstandigheden:  
 $T = 298\text{ K}$  en  $p = p_0$ .

### Indigo

Jaarlijks worden drie miljoen spijkerbroeken geproduceerd, die zijn gekleurd met het blauwe pigment indigo (zie figuur hiernaast).

Indigo wordt door extractie gewonnen uit de indigoplant. Indigo is slecht oplosbaar in water, met een maximale oplosbaarheid van  $1,0\text{ mg L}^{-1}$ .



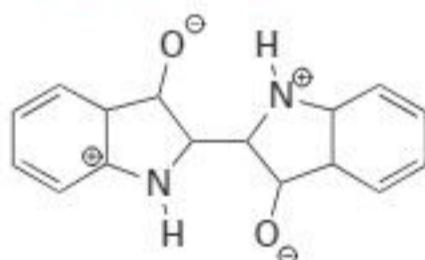
- 2p 1 Bereken de oplosbaarheid van indigo in water in  $\text{mol L}^{-1}$ .

Een molecuul indigo is vlak. Dit kan alleen worden verklaard als alle mogelijke grensstructuren worden meegenomen in de redenering.

Op basis van de gegeven figuur zou de conclusie moeten zijn dat een indigo-molecuul niet vlak is.

- 2p 2 Leg uit dat de structuur in deze figuur niet vlak is. Gebruik hierbij de VSEPR-theorie. Van indigo zijn veel grensstructuren mogelijk. De O-atomen hebben hierbij telkens een negatieve formele lading. De positieve formele ladingen kunnen daarbij op elk atoom in de beide vijfringen terechtkomen. In de bijlage bij vraag 3 is de lewisstructuur van zo'n grensstructuur onvolledig weergegeven. In deze lewisstructuur zijn de formele ladingen geplaatst, maar ontbreekt een aantal elektronenparen.
- 3p 3 Maak in de bijlage de lewisstructuur compleet met de ontbrekende bindende en niet-bindende elektronenparen.

#### bijlage bij vraag 3



De slechte oplosbaarheid van indigo kan worden verklaard vanuit de structuur van het molecuul. Er spelen hierbij twee factoren een rol:

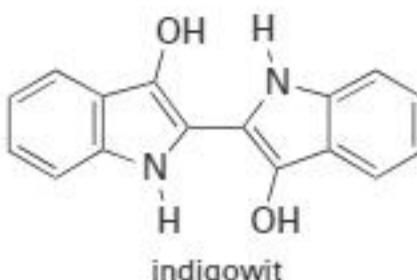
- 1 Er bestaan onderlinge interacties tussen atomen/atoomgroepen binnen een molecuul indigo, waardoor deze atomen/atoomgroepen minder goed interacties met watermoleculen kunnen aangaan.
- 2 Delen van het molecuul kunnen alleen zwakke interacties aangaan met watermoleculen.

- 2p 4 Geef aan welke atomen/atoomgroepen onderlinge interacties aangaan, zoals bedoeld bij factor 1.

Noteer je antwoord als volgt:

- atomen/atoomgroepen: ...
- interactie: ...

Indigo wordt na extractie uit de indigoplant eerst met een reductor omgezet tot het oplosbare indigowit (zie figuur hiernaast). Opgelost indigowit wordt tijdens het verven van katoen opgezogen door de katoenvezels.



- 2p 5 Leid de halfreactie van de omzetting van indigo tot indigowit af.  
Gebruik hierbij molecuulformules.

Tijdens het drogen komen de vezels in contact met zuurstof uit de lucht en wordt indigowit weer omgezet tot indigo. Op deze manier wordt indigo bij het drogen wasbestendig 'gesloten' in de vezels.

Omdat plantaardig indigo duur is en te weinig beschikbaar, bestaan vele industriële manieren om indigo te produceren uit niet-hernieuwbare grondstoffen. Deze productiemethodes zijn vaak sterk vervuilend.

Het wetenschappelijk team van John Dueber heeft onderzocht hoe textiel kan worden gekleurd met indigo door gebruik te maken van genetisch gemodificeerde *E. coli*-bacteriën. Het doel was hierbij om in de bacteriën de vorming van indigo net zo te laten verlopen als in de plant.

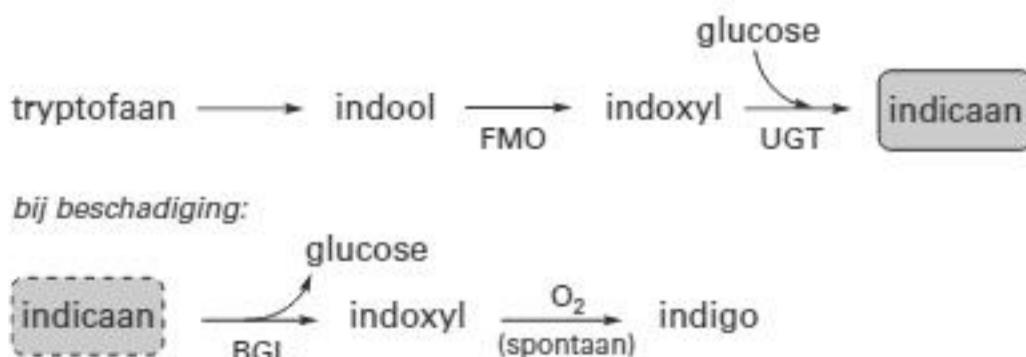
Als eerste werd het actieve centrum van één van de betrokken enzymen (het enzym UGT) in de plant onderzocht.

De onderzoekers vermoedden dat een histidine-eenheid in het enzym UGT een rol speelt bij de koppeling van glucose aan indoxylof. Om dit te onderzoeken vervingen de onderzoekers, door genetische modificatie van het DNA, deze histidine-eenheid door een alanine-eenheid. Deze vervanging maakte het enzym UGT inderdaad inactief.

- 2p 6 Geef aan welke twee nucleïnebasen in de coderende streng van het DNA zijn vervangen voor deze aanpassing in het enzym UGT.  
Noteer je antwoord als volgt:  
Nucleïnebase ... is vervangen door ...  
Nucleïnebase ... is vervangen door ...

Onderstaand is de vorming van indigo in de plant schematisch weergegeven.

Drie betrokken enzymen zijn met de afkortingen FMO, UGT en BGL aangegeven.



In het blad van de indigoplant wordt indool door het enzym FMO omgezet tot indoxylof. In aanwezigheid van het enzym UGT wordt indoxylof vervolgens geheel omgezet tot indicaan. Het gevormde indicaan wordt opgeslagen.

Bij beschadiging van de bladeren komt het enzym BGL vrij dat indicaan omzet tot indoxylof, waaruit vervolgens indigo ontstaat.

Het enzym UGT bevindt zich op een andere plaats in de cel, waardoor UGT het gevormde indoxylof in deze situatie niet kan omzetten.

De onderzoekers kweekten enkele stammen van *E. coli*. In deze stammen waren wel of niet genen van de indigoplant overgebracht.

In de tabel in de bijlage bij vraag 7 is te zien welke experimenten zijn uitgevoerd. Bij elk experiment bevatte de voeding glucose en tryptofaan. Tryptofaan wordt door *E. coli* van nature omgezet tot indool.

De bacteriën hebben geen genen voor de aanmaak van het enzym BGL.

Om toch blauwkleuring mogelijk te maken, werd aan sommige bacteriekweken het enzym BGL toegevoegd.

Niet in alle experimenten werd blauwkleuring door de vorming van indigo waargenomen.

- 2p 7 Geef in de tabel voor elk experiment aan of blauwkleuring door de vorming van indigo optreedt.  
Gebruik onder andere de eerder vermelde schematische vorming van indigo.

### bijlage bij vraag 7

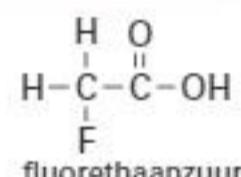
experiment	1	2	3	4
<b>stam bevat het gen voor FMO</b>	nee	ja	ja	ja
<b>stam bevat het gen voor UGT</b>	nee	nee	ja	ja
<b>enzym BGL toegevoegd</b>	nee	nee	nee	ja
<b>blauwkleuring</b>	wel/niet	wel/niet	wel/niet	wel/niet

## Gifblaar

In Zuid-Afrika groeit de gifblaar, een plant die giftig is voor veel dieren. In 1944 slaagde de Zuid-Afrikaanse onderzoeker Marais erin de gifstof fluorethaanzuur uit deze plant te isoleren.

Om de molecuulformule van de gifstof te bepalen, gebruikte Marais onder andere een element-analyse.

Bij een van de proeven werd hiervoor het fluorethaanzuur met behulp van een calciumhydroxide-oplossing omgezet tot de geconjugeerde base fluorethanoaat. Bij indampen ontstond hieruit calciumfluorethanoaat.



- 1p 8 Geef de verhoudingsformule van het gevormde calciumfluorethanoaat.

Marais bepaalde ook de LD<sub>50</sub>-waarde van fluorethaanzuur bij konijnen door ze gedroogde bladeren van de gifblaar te voeren.

De LD<sub>50</sub>-waarde is de dosis waarbij 50% van de dieren die eraan zijn blootgesteld, sterft. Deze dosis bedroeg 0,40 mg fluorethaanzuur per kg lichaamsgewicht. Het blad van de gifblaar bevat gemiddeld 90 µg F per g gedroogd blad. Dit fluor is uitsluitend aanwezig in fluorethaanzuur.

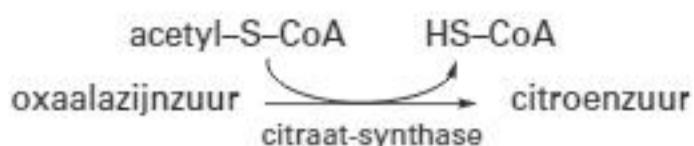
- 4p 9 Bereken bij hoeveel gram vers blad van de gifblaar de LD<sub>50</sub>-waarde voor een konijn wordt overschreden.

**Geef de uitkomst in het juiste aantal significante cijfers.**

Gebruik hierbij de volgende gegevens:

- Een konijn weegt gemiddeld 2,0 kg.
- Een vers blad van de gifblaar bevat 85 massaprocent water. Bij het drogen is uitsluitend water uit het blad verdampd.

De Engelse onderzoeker R.A. Peters heeft rond 1950 baanbrekend onderzoek gedaan naar de biochemische werking van fluorethaanzuur. Hij ontdekte dat de citroenzuurcyclus niet meer functioneert in cellen waaraan fluorethaanzuur is toegevoegd. Hieronder is een gedeelte van de gewone citroenzuurcyclus schematisch weergegeven.



Acetyl-S-CoA is ontstaan door een condensatiereactie van co-enzym A (HS-CoA) met ethaanzuur. Een SH-groep van co-enzym A wordt hierbij omgezet tot een zogeheten thio-estergroep. Een thio-estergroep is vergelijkbaar met een gewone estergroep, waarin het enkelgebonden O-atoom is vervangen door een S-atoom. Peters ontdekte dat fluorethaanzuur de plaats inneemt van ethaanzuur in de citroenzuurcyclus, waardoor fluoracetyl-S-CoA wordt gevormd.

In de volgende stap van de citroenzuurcyclus wordt fluoracetyl-S-CoA door het enzym citraat-synthase met oxaalazijnzuur omgezet tot fluorcitroenzuur ( $C_6H_7FO_7$ ).

**2p 10** Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef de structuurformule van fluoracetyl-S-CoA.  
Gebruik hierbij de aanduiding –S-CoA.
- Geef de structuurformule van fluorcitroenzuur.  
Gebruik hierbij Binas-tabel 68C of ScienceData-tabel 13.9.e.

Na de vorming van fluorcitroenzuur treden in het actieve centrum van het enzym aconitase de volgende processen na elkaar op:

- stap 1: Een molecuul fluorcitroenzuur wordt omgezet tot een molecuul water en een molecuul fluor-*cis*-aconietzuur.
- stap 2: Vervolgens roteert het molecuul fluor-*cis*-aconietzuur  $180^\circ$  in het actieve centrum.<sup>1)</sup>
- stap 3: Daarna wordt het molecuul fluor-*cis*-aconietzuur met een molecuul water omgezet tot een molecuul *trans*-hydroxyaconietzuur.

Het *trans*-hydroxyaconietzuur kan niet meer loskomen uit het actieve centrum, waardoor de stofwisseling van een dier dat de plant eet, wordt ontregeld.

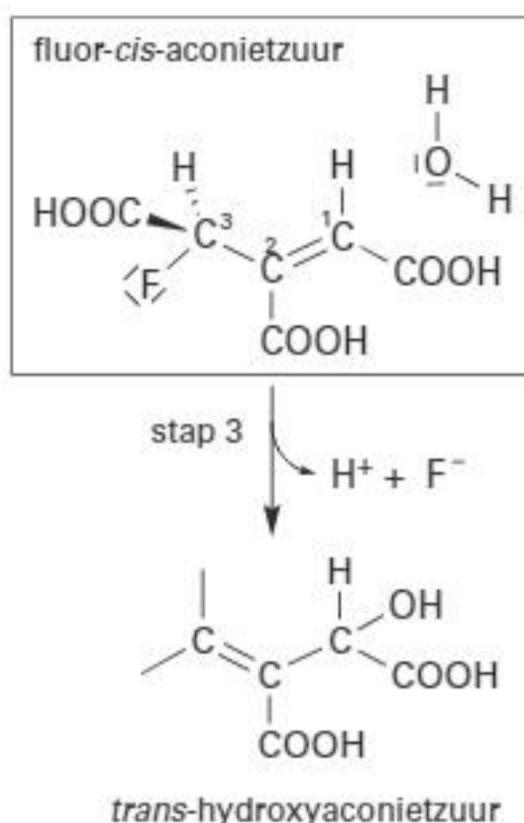
In een molecuul *trans*-hydroxyaconietzuur staan de COOH-groepen in een *trans*-configuratie ten opzichte van elkaar.

In de bijlage bij vraag 11 is de omzetting van fluor-*cis*-aconietzuur volgens stap 3 onvolledig weergegeven.

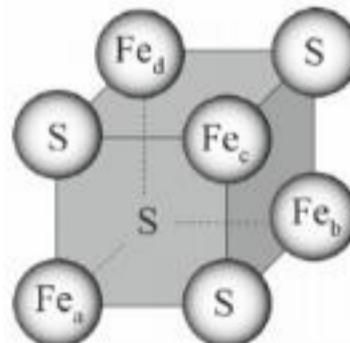
1) De auteurs achten het niet aannemelijk, dat de beschreven draaiing  $180$  graden zal bedragen.

- 2p 11 Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef in het omkaderde deel met pijlen weer hoe elektronenparen worden verplaatst.
  - Teken de ontbrekende atomen/atoomgroepen in *trans*-hydroxyaconietzuur.

bijlage bij vraag 11



In het actieve centrum van aconitase is een kubusvormig cluster met de formule  $\text{Fe}_4\text{S}_4^{2+}$  gebonden aan de peptideketen. Hiernaast is dit cluster schematisch weergegeven, waarbij ladingen zijn weggelaten. Het cluster  $\text{Fe}_4\text{S}_4^{2+}$  is opgebouwd uit ijzerionen en sulfide-ionen. De ladingen van de aanwezige ijzerionen en de sulfide-ionen wijken niet af van de gebruikelijke ladingen.



- 2p 12 Geef voor elke ionsoort die in het cluster aanwezig is de lading en het aantal deeltjes.

De ijzerionen  $\text{Fe}_c$  en  $\text{Fe}_d$  zijn gebonden aan de peptideketen van aconitase via cysteïne-eenheden. Hierbij is de S–H binding vervangen door een S–Fe binding. De cysteïne-eenheden die binden aan  $\text{Fe}_c$  en  $\text{Fe}_d$  maken deel uit van het peptidefragment ~Cys–Gly–Pro–Cys~.

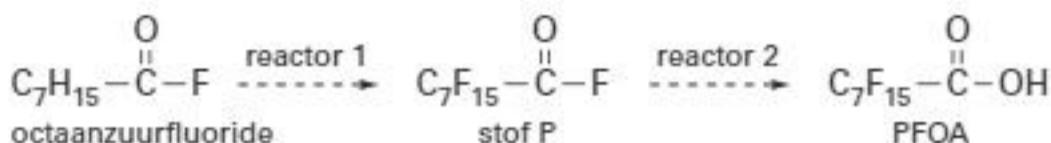
- 4p 13 Teken dit peptidefragment. Gebruik hierbij structuurformules.
- Het cluster hoef je niet te tekenen.
  - Geef de bindingen die het peptidefragment heeft met de ijzerionen  $\text{Fe}_c$  en  $\text{Fe}_d$  weer als –S–Fe.

## PFOA

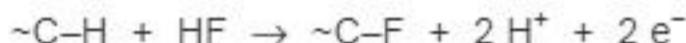
Teflon™ wordt onder andere gebruikt voor anti-aanbakpannen. Het is een polymeer van tetrafluoretheen.

- 2p 14 Geef de vergelijking voor de vorming van polytetrafluoretheen uit tetrafluoretheen. Gebruik hierbij structuurformules.

Bij de productie van Teflon™ wordt perfluoroctaanzuur (PFOA) gebruikt als hulpstof. PFOA ( $C_7F_{15}COOH$ ) behoort tot de zogenoemde poly- en perfluoralkylstoffen (PFAS). Deze groep stoffen wordt toegepast in allerlei industriële processen en producten. PFOA wordt geproduceerd uit octaanzuurfluoride in twee reactoren. De omzettingen in deze reactoren zijn hieronder vereenvoudigd weergegeven.



Reactor 1 is een elektrochemische cel. Aan de positieve elektrode treedt een halfreactie op, waarbij telkens een waterstofatoom van octaanzuurfluoride wordt vervangen door een fluoratoom.



- 4p 15 Bereken de ladingsoverdracht in coulomb wanneer  $3,0 \cdot 10^2$  g octaanzuurfluoride wordt omgezet tot stof P.

**Geef de uitkomst in het juiste aantal significante cijfers.**

Gebruik hierbij onder andere de volgende gegevens:

- De molaire massa van octaanzuurfluoride is  $146 \text{ g mol}^{-1}$ .
- 1,00 mol elektronen heeft een lading van  $9,65 \cdot 10^4 \text{ C}$ .

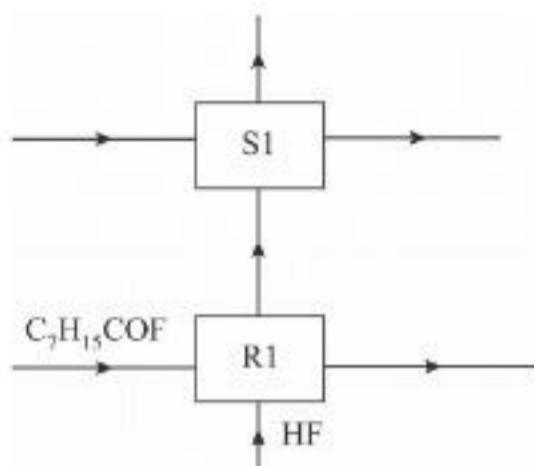
De omzetting van octaanzuurfluoride tot PFOA is vereenvoudigd en onvolledig met een blokschema weergegeven in de bijlage bij vraag 17.

- In reactor 1 (R1) reageren octaanzuurfluoride en HF. Aan de positieve elektrode wordt stof P gevormd en aan de negatieve elektrode wordt waterstof gevormd uit  $\text{H}^+$ -ionen.
  - Waterstof verlaat R1 samen met een lage concentratie HF. De waterstof wordt in scheidingsruimte 1 (S1) gescheiden van HF met behulp van water.
  - Als alle octaanzuurfluoride heeft gereageerd, wordt stof P doorgevoerd naar reactor 2 (R2). Hier reageren stof P en water volledig tot PFOA en HF, die als afzonderlijke stofstromen de reactor verlaten.
- De instroom in R1 is in de bijlage al volledig gegeven.

- 2p 16 Leg uit welke scheidingsmethode wordt gebruikt in S1.

- 4p 17 Maak het blokschema in de bijlage compleet.
- Teken R2.
  - Teken ontbrekende pijlen en noteer ontbrekende stoffen bij alle pijlen.  
Je hoeft hierbij geen rekening te houden met hergebruik van stoffen.

**bijlage bij vraag 17**

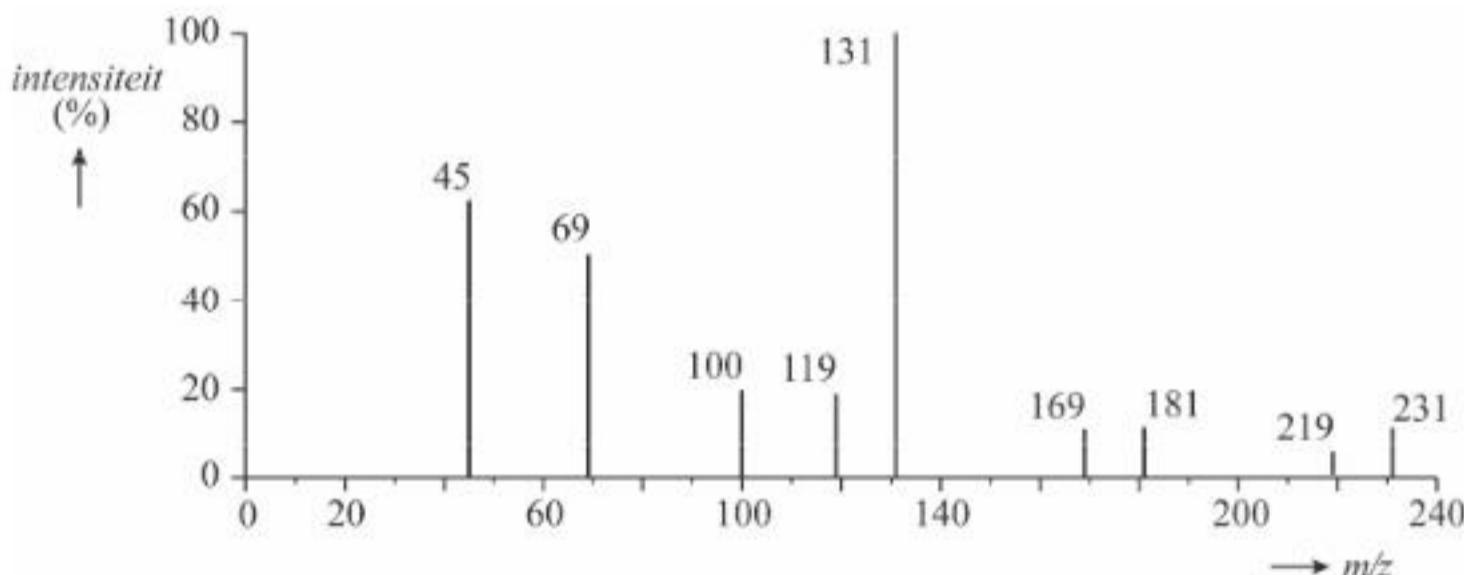


PFOA is een zwak zuur met een  $K_z$ -waarde van  $3,2 \cdot 10^{-3}$ . PFOA is daarom in water vooral aanwezig in de vorm van de geconjugeerde base  $C_7F_{15}COO^-$ . Dit  $PFOA^-$  is goed oplosbaar in water.

- 4p 18 Bereken hoeveel procent van PFOA aanwezig is als  $C_7F_{15}COOH$  in water met pH = 7,00.

Wetenschappelijk onderzoek heeft aangetoond dat PFOA een risico vormt voor de gezondheid en het milieu. Het gebruik van PFOA is in Nederland sinds 2020 verboden voor consumentenproducten. Omdat PFOA slecht afbreekbaar is, is deze stof nog wel aanwezig in ons milieu.

Voor de bepaling van de hoeveelheid PFOA in water of grond wordt onder andere gebruikgemaakt van massaspectrometrie. Een deel van het massaspectrum van PFOA ( $414 \text{ g mol}^{-1}$ ) is hieronder weergegeven.



Bij de gebruikte techniek neemt een molecuul PFOA een elektron op. Het gevormde  $[C_7F_{15}COOH]^-$  fragmenteert vervolgens.

Uit het massaspectrum kan worden opgemaakt dat bij de fragmentatie van PFOA onder andere enkele malen hetzelfde neutrale fragment Y wordt afgesplitst. Zo is het fragment behorend bij de piek van  $m/z = 181$  ontstaan uit het fragment behorend bij de piek van  $m/z = 231$ .

- 2p 19 Leid de molecuulformule van het neutrale fragment Y af.

## Vonkremmers

Bij hoogspanningsschakelaars en windturbines ontstaan er soms grote vonken als de stroom wordt in- en uitgeschakeld. Deze vonken geven storingen op het elektriciteitsnet en kunnen apparatuur beschadigen.

Daarom zitten de contactpunten van dergelijke schakelaars in een behuizing die gevuld is met een vonkremmend gas.

Een vonkremmend gas heeft een hoge doorslagspanning, dat is de spanning waarbij geleiding optreedt (bij bepaalde druk).

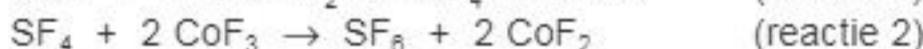
De geleiding treedt op omdat bij hoge spanning gasmoleculen ( $X$ ) bij de contactpunten geïoniseerd raken volgens  $X(g) + e^- \rightarrow X^+(g) + 2e^-$ . Bij lage druk is de doorslagspanning hoog.

- 2p 20** Leg uit dat bij lage druk de doorslagspanning hoog is. Gebruik hierbij begrippen uit het botsende-deeltjes-model.

Een veel toegepast vonkremmend gas is zwavelhexafluoride ( $SF_6$ ). Dit gas wordt industrieel geproduceerd uit de elementen zwavel en fluor (proces 1).

Fluor ( $F_2$ ) is een giftig en agressief gas. Onderzoekers hebben daarom een andere syntheseroute ontwikkeld (proces 2). De reacties van proces 2 verlopen bij aanzienlijk lagere temperatuur dan bij proces 1.

In proces 2 treden drie reacties op:



In proces 2 wordt netto geen  $\text{CoF}_3$  verbruikt.

De vormingswarmte van  $\text{SF}_6$  is  $-12,25 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ .

- 4p 21** Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef de totaalvergelijking van proces 2.
- Bereken de reactiewarmte van proces 2 per mol  $\text{SF}_6$ .

In een brochure staat: 'Dit alternatieve proces voldoet beter aan de uitgangspunten van groene chemie dan het standaard industriële proces.'

- 2p 22** Geef één argument voor en twee argumenten tegen deze stelling.

Noteer je antwoord als volgt:

Voor: ...

Tegen: ...

Tegen: ...

Zwavelhexafluoride is niet giftig, maar het is wel een sterk broeikasgas. Het is mogelijk om zwavelhexafluoride in hoogspanningsschakelaars te vervangen door andere stoffen, zoals Novec™ 4710 ( $\text{C}_4\text{F}_7\text{N}$ ).

Deze stof wordt in enkele stappen gemaakt. In het totale proces zijn de beginstoffen hierbij methylpropaanzuur, HF en  $\text{NH}_3$ .

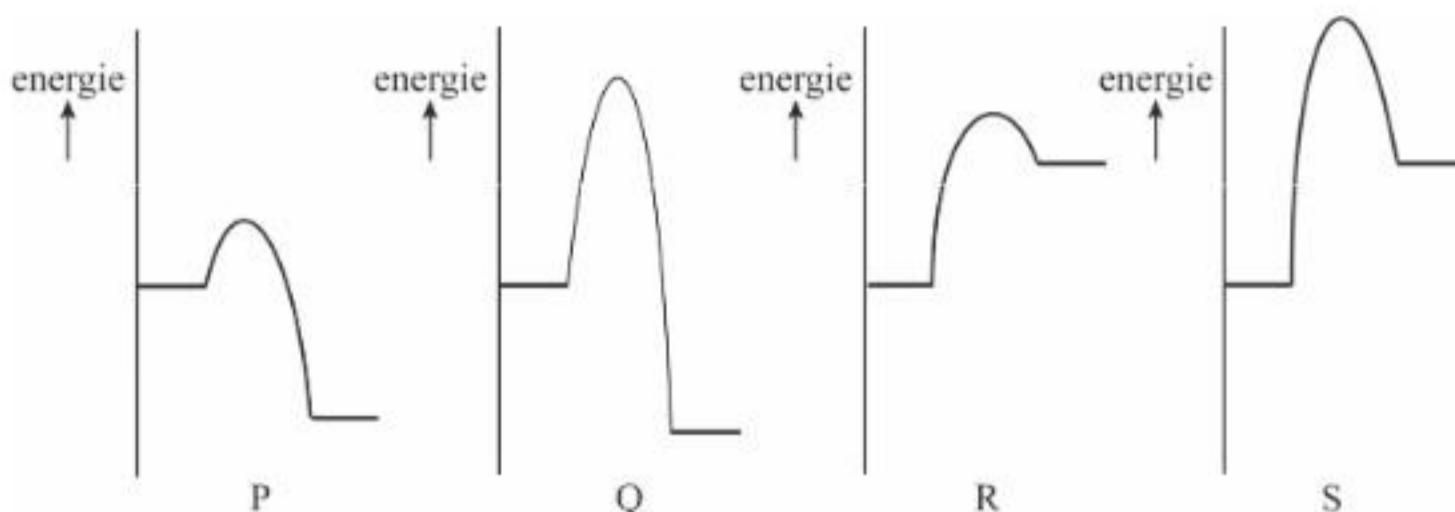
De andere stoffen die worden gevormd, zijn waterstof en water.

Bij de omzettingen blijft het koolstofskelet gelijk, maar wordt de COOH-groep omgezet tot een CN-groep.

- 4p 23** Geef de vergelijking voor deze vorming van Novec™ 4710.

Gebruik hierbij structuurformules voor de koolstofverbindingen.

In experimenten met zuiver Novec™ 4710 werd de spanning op de contactpunten zo hoog opgevoerd, dat er toch een elektrische ontlading plaatsvond in de schakelaar. Het bleek dat hierbij ontleding van Novec™ 4710 tot de elementen optreedt. Deze reactie treedt pas op bij zeer hoge waarden van de toegevoerde energie. De vormingswarmte van Novec™ 4710 is  $-33 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ . Onderstaand zie je enkele mogelijke energiediagrammen van deze omzetting.



- 2p 24** Leg uit welk energiediagram het best past bij de ontleding van Novec™ 4710 tot de elementen.

Een standaard schakelaar bevat 60 kg zuiver SF<sub>6</sub>. In een praktijkproef konden vergelijkbare vonkremmende resultaten worden bereikt door een gasmengsel van stikstof en Novec™ 4710 te gebruiken met daarin 20,8 kg Novec™ 4710.

De mate waarin een stof bijdraagt aan het versterkt broeikaseffect wordt uitgedrukt in de GWP (global warming potential). De GWP van een stof is gedefinieerd als het opwarmingsvermogen van 1,0 kg van de stof in vergelijking met 1,0 kg CO<sub>2</sub>, berekend over een periode van 100 jaar.

Om te berekenen welke winst er wordt gehaald met het oog op het broeikaseffect, gaat men uit van een situatie waarbij alle gas uit de schakelaar ontsnapt. Hierbij wordt de bijdrage aan het broeikaseffect omgerekend naar overeenkomende massa CO<sub>2</sub>-uitstoot.

De GWP-waarde van SF<sub>6</sub> is 22 800 terwijl Novec™ 4710 een GWP-waarde van slechts 2100 heeft.

- 2p 25** Bereken met hoeveel procent de bijdrage aan het broeikaseffect daalt in de praktijkproef.

 Je kunt dit examen nakijken met de uitwerkingen hierna óf online op [mijnexamenbundel.nl](https://mijnexamenbundel.nl). Je ziet dan je totaalscore en je score per onderwerp. Deze worden bewaard.



## Hints bij examen 2023-II<sup>1)</sup>

- 1 Welk gegeven mis je nog bij deze molberekening?
- 2 Welke omringing leidt tot een platte structuur en welke tot een ruimtelijke?
- 3 Vergelijk deze onvolledige grensstructuur met de structuurformule van indigo.
- 4 Je hebt maar weinig keus bij het kiezen van de groepen die interactie kunnen hebben.
- 5 Indigo is de oxidator bij de reactie van indigo tot indigowit ( $C_{16}H_{12}O_2N_2$ ).
- 6 Zoek in Binas 71G naar de verschillen in de codons voor histidine en alanine.
- 7 Bij de experimenten zijn geen planten betrokken en bij experiment 1 alleen *E. coli*, glucose en tryptofaan. Welke stof is noodzakelijk voor de vorming van indigo?
- 9 Vergelijk het fluorgehalte in het konijn bij de LD50 van fluorethaanzuur met het fluorgehalte in vers blad van de gifblaar.
- 10 De structuurformules van acetyl-S-CoA en citroenzuur staan beide in Binas 68C.
- 11 Leid de verschuiving van de elektronen af uit de plek waar de OH-groep komt.
- 12 Wat zijn de normale ionen van S en Fe?
- 13 Teken als eerste het gegeven peptidefragment in structuurformules (met Binas 67H1).
- 14 Ga uit van  $n$  moleculen tetrafluoretheen die aaneenrijgen.
- 15 Hoe vaak verloopt halfreactie 1 om één molecuul van stof P te maken? Ga daarna over op de molverhouding tussen stof P en het aantal betrokken elektronen.
- 16 De hulpstof water is een aanwijzing voor de gebruikte scheidingsmethode.
- 17 Hierbij is het noodzakelijk om de tekst voorafgaand aan vraag 16 opnieuw te lezen.
- 18 Gebruik de evenwichtsvoorwaarde van PFOA en vul hier de waarde van  $[H_3O^+]$  in.
- 19 Welk neutraal fragment zou vaker afgesplitst kunnen worden uit  $[C_7F_{15}COOH]^-$ ?
- 20 Wat is op microniveau het kenmerk van lage (gas)druk?
- 21 Alle vormingswarmten van de stoffen in de totaalreactie van proces 2 zijn bekend.
- 22 Beginstoffen hebben ook invloed op het 'groene karakter' van een proces.
- 23 Bij de productie van Novec™ 4710 zijn alle H-atomen van methylpropaanzuur vervangen door F-atomen.
- 24 Gebruik de begrippen endo- of exotherm en activeringsenergie.
- 25 Druk de GWP van zowel de  $SF_6$  in de standaardschakelaar als die van Novec™ 4710 in de alternatieve schakelaar uit in kg  $CO_2$ .

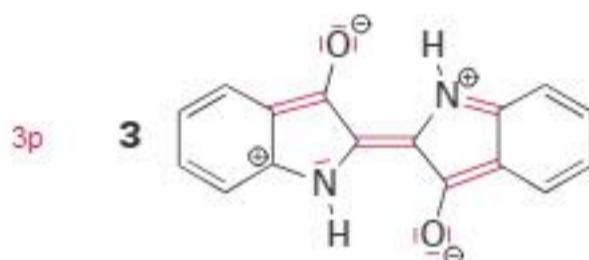
1) De 1-puntsvragen (hier vraag 8) krijgen geen hint.

## Uitwerkingen bij examen 2023-II

### Indigo

- 2p 1 Uit de (gegeven) structuurformule van indigo volgt de molecuulformule  $C_{16}H_{10}O_2N_2$ . De massa van 1 mol indigo is  $16 \cdot 12,01 + 10 \cdot 1,008 + 2 \cdot 16,00 + 2 \cdot 14,01 = 262$  g. [1p] De (gegeven) oplosbaarheid van indigo van  $1,0 \text{ mg L}^{-1}$  komt dus overeen met  $\frac{1,0 \cdot 10^{-3} \text{ g L}^{-1}}{262 \text{ g mol}^{-1}} = 3,8 \cdot 10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$ . [1p] (2 significante cijfers)

- 2p 2 Voorbeeld van een juist antwoord:  
De twee stikstofatomen hebben drie enkele bindingen (met naburige atomen) en bovendien een vrij elektronenpaar. [1p] Daar hoort een tetraëdrische omringing bij (en die is niet vlak). [1p]  
*Alle C-atomen hebben twee enkele bindingen en ook een dubbele binding met andere atomen. Dat betekent een omringingsgetal 3 en daar hoort een vlakke structuur bij.*



*niet-bindende elektronenparen [1p], bindende elektronenparen in een van de ringsystemen en centrale C=C binding [1p], bindende elektronenparen in andere ringsysteem en rest van structuurformule [1p]*

- 2p 4 atomen/atoomgroepen: H-atomen van NH-groep met (aan C) dubbelgebonden O [1p]  
interactie: waterstofbruggen [1p]  
*Het noemen van een (intramoleculaire) ion-dipoolbinding tussen een negatief geladen O-atoom en een NH-groep was ook toegestaan (zie uitwerking 3).*

- 2p 5  $C_{16}H_{10}N_2O_2 + 2 H_2O + 2 e^- \rightarrow C_{16}H_{12}N_2O_2 + 2 OH^-$   
*links van pijl  $H_2O$  en  $e^-$  [1p], links van pijl  $C_{16}H_{10}N_2O_2$  en rest van vergelijking [1p]*

- 2p 6 1. Nucleïnebase C (voor histidine) is vervangen door G. [1p]  
2. Nucleïnebase A (voor histidine) is vervangen door C. [1p]  
*In Binas 71G is af te lezen dat histidine met het (m)RNA wordt gecodeerd door de codons CAU of CAC. Alle codons die voor alanine coderen, beginnen met de base G. De tweede base voor histidine is steeds A, die voor alanine steeds C.*

2p 7

	experiment	1	2	3	4
stam bevat het gen voor FMO	nee	ja	ja	ja	
stam bevat het gen voor UGT	nee	nee	ja	ja	
enzym BGL toegevoegd	nee	nee	nee	ja	
blauwkleuring	niet	wel	niet	wel	

*Indigo kan alleen ontstaan uit indoxyl (zie figuur onder vraag 6). Bij experiment 1 stopt de reactie bij indool. Bij experiment 2 wordt wel indoxyl gevormd. Bij experiment 3 gaat de reactie door tot indicaan, maar stopt daar. Bij experiment 4 zijn alle benodigde stoffen aanwezig die ook in de indigoplant voorkomen.*  
*experiment 1 en 2 [1p], experiment 3 en 4 [1p]*

**Gifblaar**1p 8  $\text{Ca}(\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_2\text{F})_2$ *Gebonden calcium is altijd aanwezig als  $\text{Ca}^{2+}$ -ion.*

4p 9 Voorbeeld van een juist antwoord:

De LD<sub>50</sub>-waarde voor konijnen bedraagt 0,40 mg per kg (gegeven). Als een konijn met een massa van 2,0 kg dan  $2 \cdot 0,40 \text{ mg} = 0,80 \text{ mg} = 8,0 \cdot 10^{-4} \text{ g}$  fluorethaanzuur binnen krijgt, wordt de LD<sub>50</sub>-waarde bereikt. De molecuulmassa van fluorethaanzuur is:

$$2 \cdot 12,01 + 3 \cdot 1,008 + 2 \cdot 16,00 + 19,00 = 78,04 \text{ u.}$$

Het fluorgehalte per gram bij LD<sub>50</sub> is:

$$\frac{19,00}{78,04} \cdot 8,0 \cdot 10^{-4} \text{ g} = 1,95 \cdot 10^{-4} \text{ g F.}$$

Per gram bevat het gedroogde blad van de gifblaar 90 µg =  $9,0 \cdot 10^{-5} \text{ g F}$  (gegeven),

$$\text{dus } 1 \text{ g van het verse blad met } 85\% \text{ water bevat } \frac{15}{100} \cdot 9,0 \cdot 10^{-5} \text{ g} = 1,35 \cdot 10^{-5} \text{ g F.}$$

Om het fluorgehalte van de LD<sub>50</sub> te bereiken, zal een konijn van 2,0 kg moeten eten:

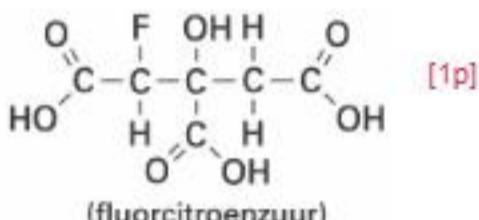
$$\frac{1,95 \cdot 10^{-4}}{1,35 \cdot 10^{-5}} = 14 \text{ g van het verse blad van de gifblaar.}$$

[1p] 2 significante cijfers [1p]

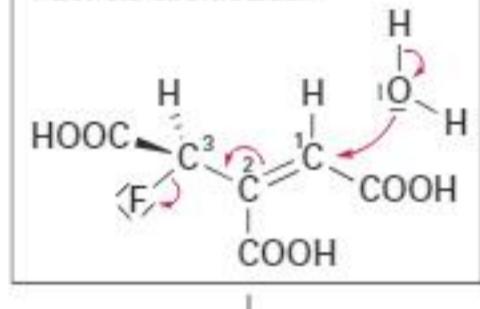
*Je kunt ook beginnen met massaberekening van fluorethaanzuur in 1 gram vers blad.*

2p 10  $\begin{array}{c} \text{H} & \text{O} \\ | & || \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{S}-\text{CoA} \\ | \\ \text{F} \end{array}$  [1p]

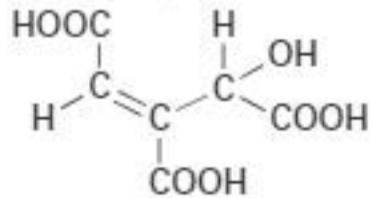
(fluoracetyl-S-CoA)



2p 11 fluor-cis-aconietzuur



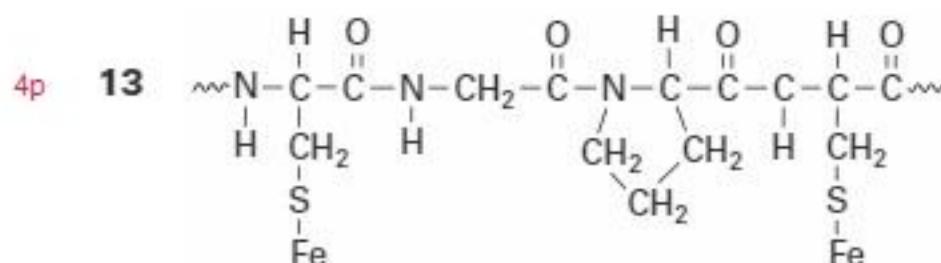
stap 3



trans-hydroxyaconietzuur

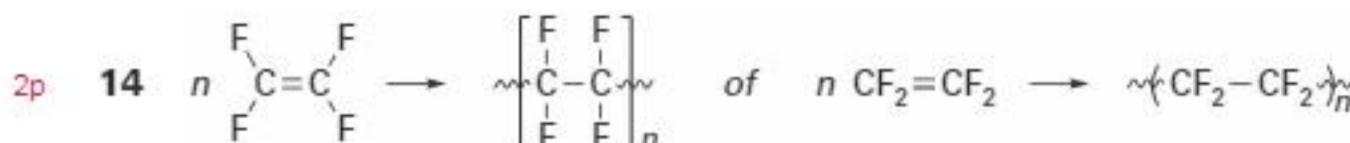
(rode) pijlen in kader [1p], COOH-groepen in transpositie in onderste figuur [1p]

2p 12 De (gebruikelijke) ionen van zwavel zijn  $\text{S}^{2-}$ -ionen. Van ijzer zijn de ionen  $\text{Fe}^{2+}$  en  $\text{Fe}^{3+}$  bekend. [1p] De vier zwavelionen in  $\text{Fe}_4\text{S}_4^{2+}$  hebben dus een gezamenlijke lading van 8-. Uit de lading 2+ van het cluster volgt dan dat de vier ijzerionen gezamenlijk een lading 10+ moeten hebben. Dat is alleen te bereiken, wanneer er twee  $\text{Fe}^{2+}$ - en twee  $\text{Fe}^{3+}$ -ionen aanwezig zijn in  $\text{Fe}_4\text{S}_4^{2+}$ . [1p]



twee peptidebindingen [1p], twee  $-S-Fe$  bindingen [1p], overige delen van restgroepen [1p], begin en einde van peptideketen aangegeven en rest van structuurformule [1p]

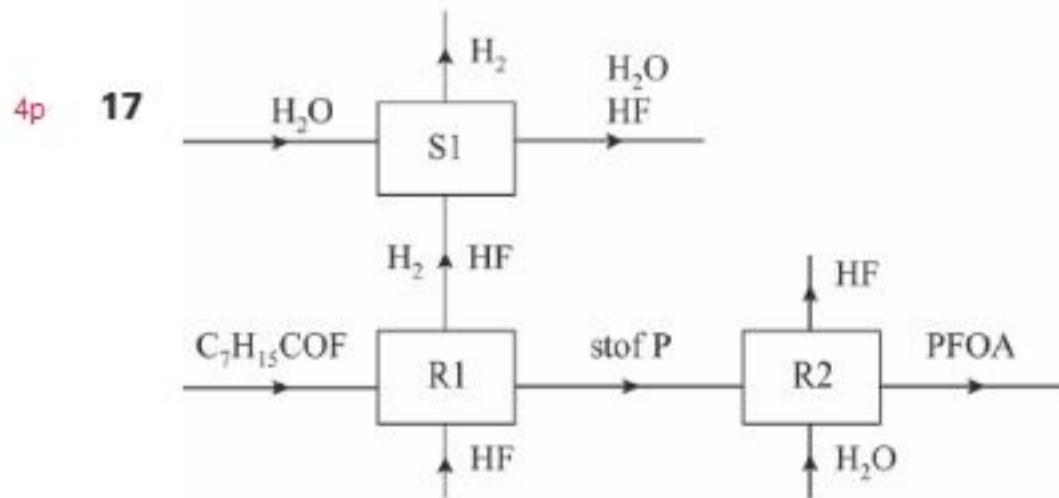
### PFOA



links van pijl tetrafluoretheen [1p], rechts van pijl polytetrafluoretheen en  $n$  op juiste plekken [1p]

- 4p 15 De massa van 1 mol octaanzuurfluoride is 146 g (gegeven), dus  $3,0 \cdot 10^2$  g hiervan komt overeen met  $\frac{3,0 \cdot 10^2 \text{ g}}{146 \text{ g mol}^{-1}} = 2,05 \text{ mol}$ . [1p] In elk octaanzuurfluoride-molecuul worden alle 15 H-atomen met HF vervangen door F-atomen. Bij 2,05 mol octaanzuurfluoride is dus nodig  $15 \cdot 2,05 \text{ mol} = 30,8 \text{ mol HF}$ . In de gegeven halfreactie 1 is de molverhouding tussen HF en vrijkomende elektronen 1 : 2, dus er komt  $2 \cdot 30,8 \text{ mol} = 61,6 \text{ mol}$  aan elektronen vrij. [1p] 1 mol elektronen heeft  $9,65 \cdot 10^4 \text{ C}$  als lading (gegeven), dus de ladingsoverdracht bedraagt hier  $61,6 \cdot 9,65 \cdot 10^4 \text{ C} = 5,9 \cdot 10^6 \text{ C}$ . [1p] 2 significante cijfers [1p]

- 2p 16 Waterstofmoleculen zijn apolair, terwijl HF uit dipoolmoleculen bestaat. [1p] Door extractie/extraheren met water wordt HF gescheiden van  $H_2$ . [1p] Je mag als uitleg ook alleen vermelden dat HF wel oplosbaar is in water en  $H_2$  niet.



R2 en stofstromen van stof P en PFOA [1p], stofstroom van  $H_2$  [1p], stofstroom van HF [1p], stofstroom van  $H_2O$  [1p]

- 4p 18 Het evenwicht van PFOA met zijn geconjugeerde base  $\text{PFOA}^-$  wordt beschreven met de evenwichtsvoorwaarde:  $K_z = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{PFOA}^-]}{[\text{PFOA}]} = 3,2 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \frac{[\text{PFOA}^-]}{[\text{PFOA}]} = \frac{3,2 \cdot 10^{-3}}{[\text{H}_3\text{O}^+]} \quad [1p]$
- $\text{pH} = 7,00 \Rightarrow [\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-7,00} = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ mol L}^{-1} \quad [1p]$
- Dus  $\frac{[\text{PFOA}^-]}{[\text{PFOA}]} = \frac{3,2 \cdot 10^{-3}}{1,00 \cdot 10^{-7}} = 3,2 \cdot 10^4 \quad [1p]$  Het percentage perfluor-octaanzuur in water van  $\text{pH} = 7,00$  bedraagt dus  $\frac{1}{3,2 \cdot 10^4 + 1} \cdot 100\% = 3,1 \cdot 10^{-3}\% \quad [1p]$
- De zuurgraad van het water kan alleen op pH = 7 uitkomen, als het PFOA in basisch water wordt gebracht. Bij het oplossen van PFOA in zuiver water zal de oplossing zuur worden ( $\text{pH} < 7$ ), omdat dan geldt:  $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{PFOA}^-]$ )*

- 2p 19 Als een fragment met  $m/z = 231$  uiteenvalt in een fragment met  $m/z = 181$  en een neutraal fragment Y, dan zal Y een massa hebben van  $231 - 181 = 50$  u.  $[1p]$
- Deze massa komt overeen met  $12$  u +  $2 \cdot 19$  u, dus de massa van het deeltje  $\text{CF}_2$ .  $[1p]$
- Met name het feit dat deze afsplitsing terug te vinden is op meerdere plekken in het massaspectrum (bv. van 181 naar 131), maakt een herhaalde afsplitsing van  $\text{CF}_2$  uit de lange gefluorideerde koolstofketen aannemelijk.*

### Vonkremmers

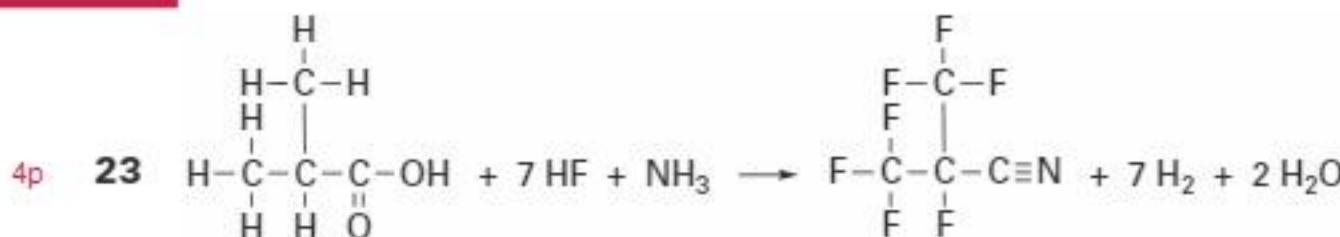
- 2p 20 Voorbeeld van een juist antwoord:
- Bij lage druk zijn er minder gasdeeltjes aanwezig / bewegen de gasdeeltjes verder van elkaar.  $[1p]$  De vrij bewegende elektronen (en/of de elektronen bij de contactpunten) zullen minder gauw een vonk kunnen geven, omdat de botsingskans met aanwezige gasdeeltjes kleiner is dan bij hogere druk.  $[1p]$
- 4p 21 Tel de drie reacties van proces 2 op (de rode molecuulformules zijn geen eindproducten):
- $$4 \text{KF} + \text{S} + 2 \text{Br}_2 \rightarrow \text{SF}_4 + 4 \text{KBr}$$
- $$\text{SF}_4 + 2 \text{CoF}_3 \rightarrow \text{SF}_6 + 2 \text{CoF}_2$$
- $$2 \text{CoF}_2 + \text{F}_2 \rightarrow 2 \text{CoF}_3$$



De reactiewarmte van proces 2 is  $\Delta E = \sum E_{\text{vorming reactieproducten}} - \sum E_{\text{vorming beginstoffen}} = E_{\text{vorming SF}_6} + E_{\text{vorming KBr}} - E_{\text{vorming KF}} = -12,25 \cdot 10^5 + 4 \cdot -3,94 \cdot 10^5 - 4 \cdot -5,67 \cdot 10^5 = (-12,25 - 15,76 + 22,68) \cdot 10^5 = -5,33 \cdot 10^5 \text{ J per mol SF}_6$ .

*links van pijl alleen juiste beginstoffen [1p], rechts van pijl alleen juiste producten en kloppend gemaakt [1p], absolute vormingswarmten en verwerking van coëfficiënten [1p], rest van berekening [1p]*

- 2p 22 Voorbeelden van argumenten voor:
- Het alternatieve proces kost minder energie / verloopt bij lagere temperatuur
  - Het alternatieve proces gebruikt minder van het giftige fluor.
- Voorbeelden van argumenten tegen:*
- Het alternatieve proces verloopt in meer stappen.
  - Het alternatieve proces geeft meer bijproducten / heeft een lagere atoomeconomie.
  - Het alternatieve proces gebruikt  $\text{Br}_2$ , dat ook een giftige stof is.
  - KF voor het alternatieve proces moet eerst (vervuilend) worden geproduceerd.
- De uitgangspunten van de groene chemie staan in Binas 97A.*
- één argument voor de stelling [1p], twee argumenten tegen de stelling [1p]*



*links van pijl koolstofskelet van methylpropaanzuur [1p], rest van methylpropaanzuur [1p], rechts van pijl formule van Novec™ 4710 [1p], links van pijl HF en NH<sub>3</sub> en rechts van pijl H<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O en kloppend gemaakt [1p]*

- 2p **24** De vormingswarmte van Novec™ 4710 is negatief, de ontleding hiervan zal dus endotherm verlopen. [1p]  
 De ontleding verloopt moeizaam / kost veel (activerings)energie. De ontleding verloopt dus volgens het energiediagram S. [1p]  
*Alleen de energiediagrammen R en S komen in aanmerking voor een endotherme reactie.*

- 2p **25** *Mogelijk antwoord:*  
 1,0 kg SF<sub>6</sub> geeft dezelfde bijdrage aan het broeikaseffect als 22800 kg CO<sub>2</sub>, dus de bijdrage van 60 kg SF<sub>6</sub> heeft hetzelfde effect als  $60 \cdot 22800 = 1,36 \cdot 10^6$  kg CO<sub>2</sub>.  
 Het opwarmingsvermogen van de schakelaar met 20,8 kg Novec™ 4710 zou hetzelfde zijn als dat van  $20,8 \cdot 2100 = 4,37 \cdot 10^4$  kg CO<sub>2</sub>. [1p]  
 Het laatste effect is slechts  $\frac{4,37 \cdot 10^4 \text{ kg}}{1,36 \cdot 10^6 \text{ kg}} \cdot 100\% = 3,2\%$  van de GWP dat door een standaardschakelaar kan worden veroorzaakt.  
 De daling door het gebruik van Novec™ 4710 zou dus een daling van  $100 - 3,2 = 97\%$  kunnen betekenen. [1p] (2 significante cijfers)  
*Het gaat hier dus om het volledig ontsnappen van al het gebruikte gas uit een (heel) grote schakelaar ten gevolge van een of andere calamiteit.*

Deel 2b

## Examen 2024-I

Oefenen met het examen van 2024-I.



**Bronvermelding**

*Een opsomming van de in dit examen gebruikte bronnen, zoals teksten en afbeeldingen, is te vinden in het bij dit examen behorende correctievoorschrift op [mijnexamenbundel.nl](http://mijnexamenbundel.nl).*

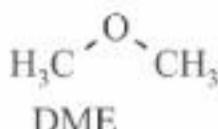
## Examen 2024-I

Tenzij anders vermeld, is er sprake van standaardomstandigheden:  
 $T = 298 \text{ K}$  en  $p = p_0$ .

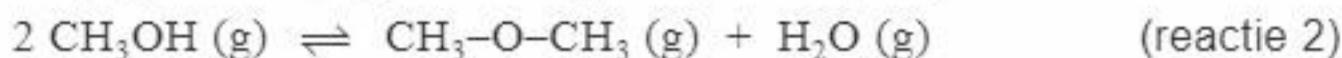
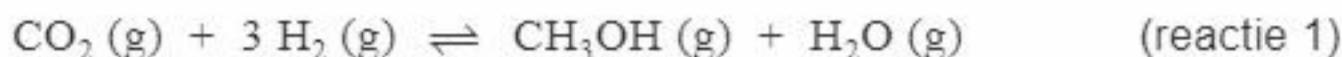
### DME uit koolstofdioxide

De stof methoxymethaan (DME, zie de figuur) staat in de belangstelling als brandstof. DME kan namelijk worden gemaakt op basis van uitsluitend koolstofdioxide en waterstof.

#### figuur



In een onderzoek is een voorstel voor een productieproces onderzocht. Dit proces is opgebouwd uit twee opeenvolgende reacties, die hieronder zijn weergegeven.



De vormingswarmte van DME bedraagt  $-1,84 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ .

- 4p 1 Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef de totaalvergelijking van de vorming van DME uit  $\text{CO}_2$  en  $\text{H}_2$ .
- Bereken de reactiewarmte van deze vorming van DME per mol DME.

Op de uitwerkbijlage bij vraag 4 staat een onvolledig blokschema van de productie van DME volgens het ontwerp van de onderzoekers.

In reactor 1 (R1) treedt reactie 1 op. In scheidingsruimte 1 (S1) wordt de stofstroom gescheiden die afkomstig is uit R1. Water met de bijproducten verlaat S1 aan de onderzijde.

Het methanol dat in R1 is gevormd, wordt doorgevoerd naar reactor 2 (R2). In R2 treedt reactie 2 op.

Zowel in R1 als in R2 heerst een hoge temperatuur. Hierdoor is in beide reactoren de reactiesnelheid hoog. Ook zijn hierdoor de insteltijden van de evenwichten kort.

De druk in beide reactoren is niet gelijk. In R1 moet de druk hoog worden gehouden voor een zo hoog mogelijk rendement.

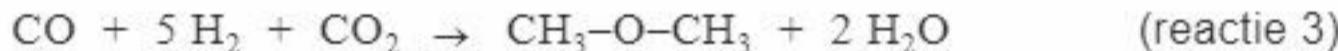
- 3p 2 Voer de volgende opdrachten uit:

- Geef de evenwichtsvoorwaarde van reactie 1.
- Leg uit dat in R1 de druk hoog moet worden gehouden voor een zo hoog mogelijk rendement.

Het mengsel dat afkomstig is uit R2 wordt in scheidingsruimte 2 (S2) gedestilleerd om het DME te scheiden van de rest van het mengsel. Het mengsel wordt in S2 gescheiden in drie fracties: DME, methanol en water.

- 2p 3 Leg uit dat DME het laagste kookpunt heeft van deze drie stoffen. Gebruik hierbij begrippen op microniveau.
- 3p 4 Maak het blokschema op de uitwerkbijlage compleet.
- Teken ontbrekende pijlen en noteer ontbrekende stoffen bij alle pijlen. Houd hierbij rekening met hergebruik van stoffen.
  - Neem aan dat in R2 geen bijproducten ontstaan.
  - Stoffen met een laag kookpunt komen in S2 hoger uit de destillatiekolom dan stoffen met een hoog kookpunt. Gebruik Binas-tabel 42 of ScienceData-tabel 8.3.

In een ander onderzoek is DME bereid volgens reactie 3.



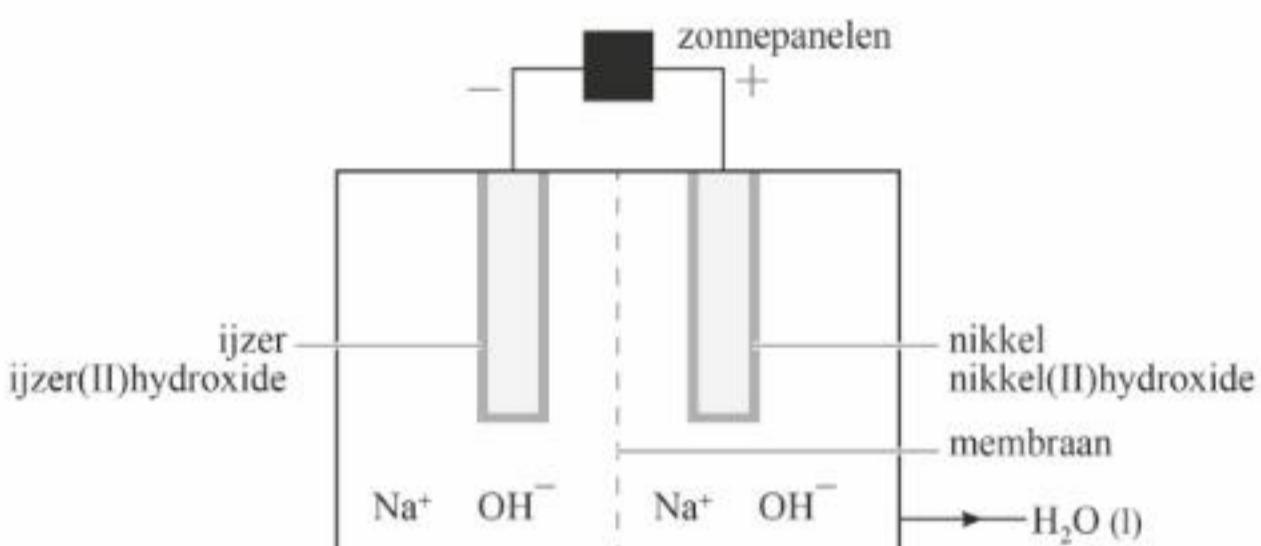
De beginstoffen worden gemengd volgens de verhoudingen die zijn weergegeven in reactie 3. In verschillende experimenten tijdens dit onderzoek lag het rendement tussen 51% en 63%.

- 3p 5 Voer de volgende opdrachten uit:
- Bereken de E-factor van reactie 3 bij een rendement van 63%. Beschouw water hierbij als afval.
  - Leg uit of deze E-factor de minimale of de maximale waarde was in dit onderzoek.

## Battolyser

Onderzoekers van de TU Delft hebben de battolyser ontwikkeld. De battolyser ontleent zijn naam aan twee functies: het is een oplaadbare batterij die kan worden gebruikt voor energieopslag en voor de elektrolyse van water. De vrijgekomen waterstof kan worden gebruikt als brandstof of als grondstof voor de productie van andere (brand)stoffen. In figuur 1 is de battolyser schematisch weergegeven voorafgaand aan het opladen.

**figuur 1**



Als de batterij wordt opgeladen, wordt aan de linker elektrode ijzer(II)hydroxide omgezet tot onder andere ijzer.

Aan de rechter elektrode wordt nikkel(II)hydroxide omgezet tot onder andere de vaste stof nikkel(III)oxidehydroxide,  $\text{NiO(OH)}$ .

De elektrolyt-oplossing is natronloog. Tijdens de elektrolyse bewegen alleen hydroxide-ionen door het membraan.

- 3p 6 Geef de vergelijkingen van de halfreacties die verlopen tijdens het opladen en geef de totaalvergelijking.  
 2p 7 Leg uit in welke richting de hydroxide-ionen het membraan passeren tijdens het opladen.

In een volledig opgeladen prototype van de battolyser werd 1,4 kg water gedurende 18 maanden geëlektoolyseerd.

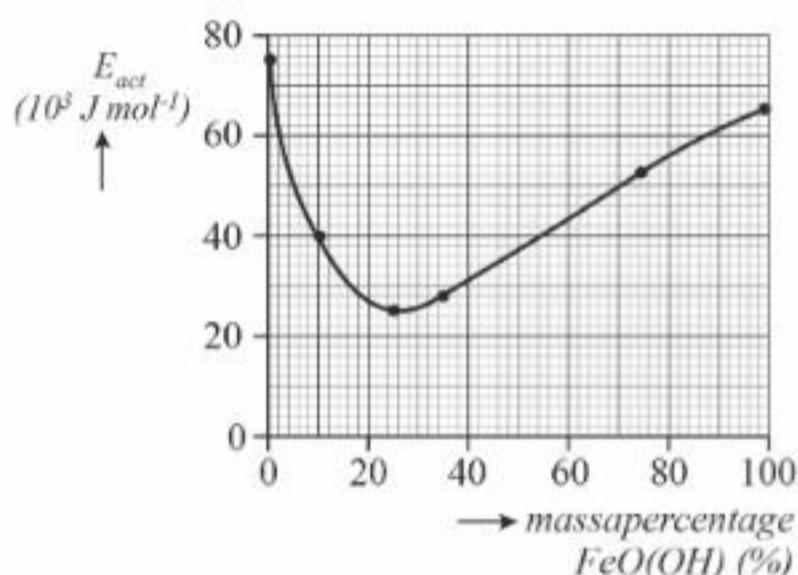
Per molecuul water dat wordt omgezet, worden twee elektronen getransporteerd. Neem aan dat tijdens dit proces alle toegevoerde lading is gebruikt voor de elektrolyse van water.

- 3p 8 Bereken de lading in coulomb die in die periode gemiddeld per seconde is getransporteerd.  
 Gebruik onder andere de volgende gegevens:  
 – Een mol elektronen heeft een lading van  $9,65 \cdot 10^4 \text{ C}$ .  
 – Een maand heeft gemiddeld 30 dagen.

De reactiesnelheid van deze elektrolyse van water bleek vooral te worden bepaald door de halfreactie die aan de rechter elektrode verloopt. Het bleek dat de reactiesnelheid veranderde als in het NiO(OH)-laagje op de rechter elektrode ook FeO(OH) aanwezig was. In het onderzoek is de activeringsenergie van de reactie bepaald, afhankelijk van het massapercentage FeO(OH) in het laagje.

In figuur 2 zijn de resultaten te zien van enkele experimenten.

**figuur 2**



- 2p 9 Leg uit bij welke waarde van het massapercentage FeO(OH) de reactiesnelheid het hoogst is.

Er zijn momenteel auto's verkrijgbaar die waterstof gebruiken als energiebron. Een van deze auto's heeft een tank met daarin maximaal 6,33 kg waterstof onder hoge druk. Onderzocht wordt of het mogelijk is om de risico's van het gebruik van waterstof te verminderen door de waterstof eerst om te zetten tot methaan zuur. Methaan zuur is een vloeistof die eenvoudig kan worden getankt en vervoerd. In een auto wordt het methaan zuur dan in een reactor omgezet tot waterstof volgens reactie 1.



De ontstane waterstof wordt vervolgens in een brandstofcel geleid om elektrische energie op te wekken.

Reactie 1 heeft een rendement van 90,0%. De dichtheid van methaan zuur is  $1,22 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ .

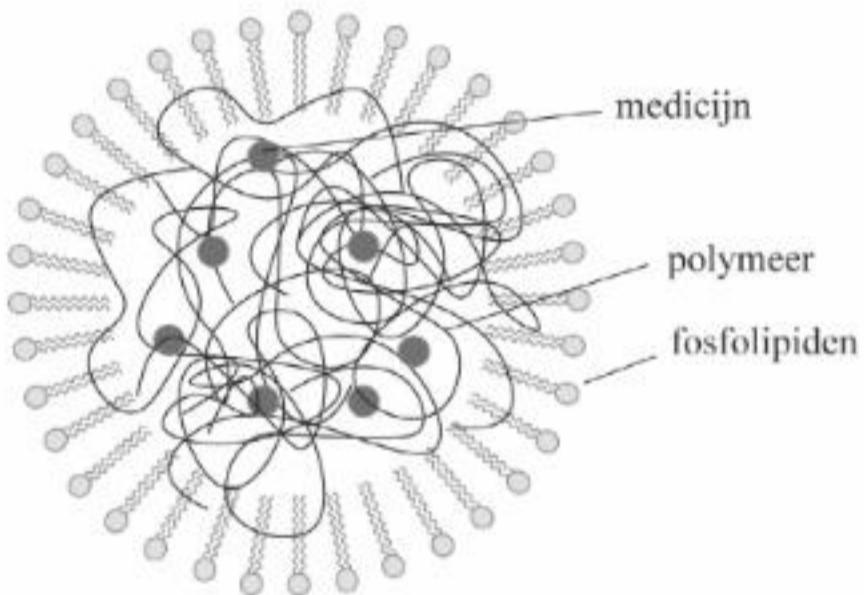
- 5p 10 Bereken het volume in liter methaan zuur dat nodig is om 6,33 kg waterstof te produceren.

**Geef je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.**

## Microbolletjes

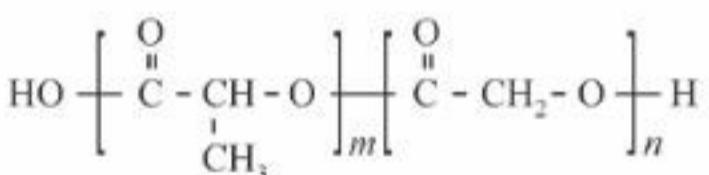
Sommige geneesmiddelen worden ingekapseld in microbolletjes van 0,1 tot 30  $\mu\text{m}$  grootte. In figuur 1 is zo'n microbolletje vereenvoudigd weergegeven. De buitenkant van dit microbolletje bestaat uit fosfolipiden. In dit microbolletje bevindt zich het geneesmiddel, ingekapseld in een specifiek polymer.

**figuur 1**



In het lichaam worden de fosfolipiden opgenomen. Daarna wordt het polymer langzaam afgebroken, zodat het geneesmiddel geleidelijk vrijkomt. In figuur 2 is het copolymer PLGA weergegeven. Dit is een van de weinige synthetische polymeren die zijn goedgekeurd voor deze toepassing. De monomeren van PLGA zijn melkzuur en glycolzuur. Dat zijn lichaamseigen stoffen die door het lichaam kunnen worden afgevoerd.

**figuur 2**



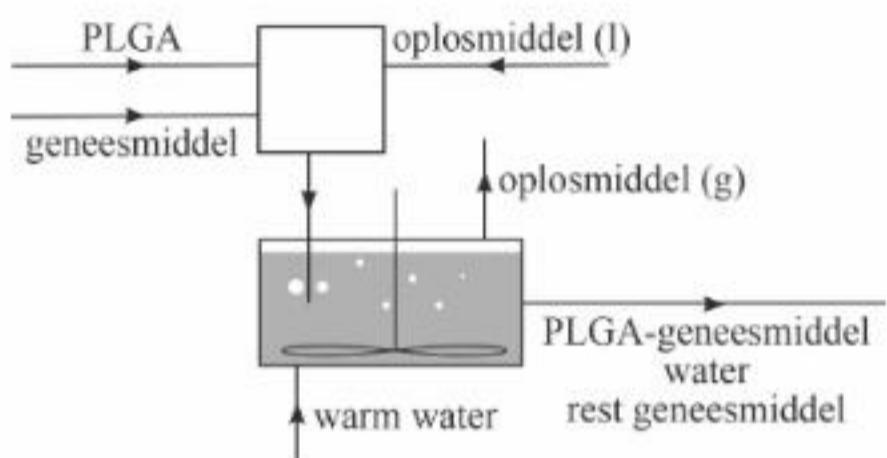
- 3p 11 Maak op de uitwerkbijlage de vergelijking van de volledige hydrolyse van PLGA compleet met de ontbrekende stoffen en coëfficiënten. Gebruik structuurformules voor de koolstofverbindingen.

Een gangbare methode om een geneesmiddel op te sluiten in PLGA verloopt in twee stappen:

- stap 1 Het PLGA en het geneesmiddel worden samen opgelost in een geschikt organisch oplosmiddel.
- stap 2 Onder hevig roeren wordt de oplossing geïnjecteerd in warm water.

In stap 2 ontstaat een suspensie van PLGA met daarin ingekapseld het geneesmiddel (PLGA-geneesmiddel). Het organisch oplosmiddel lost hierbij eerst in het water op, waarna het oplosmiddel snel verdampft en kan worden hergebruikt. Het gehele proces is schematisch weergegeven in figuur 3.

**figuur 3**



In stap 2 wordt het PLGA-geneesmiddel gescheiden van het organisch oplosmiddel en het oplosmiddel wordt gescheiden van water. Deze processen kunnen worden opgevat als scheidingsmethoden.

- 2p 12 Geef de namen van deze twee scheidingsmethoden.

De 'encapsulation efficiency' (EE) is een belangrijk criterium voor de bruikbaarheid van deze methode om een geneesmiddel in PLGA in te kapselen. De EE wordt uitgedrukt als het percentage van het gebruikte geneesmiddel dat uiteindelijk in het PLGA-geneesmiddel aanwezig is. De EE hangt af van de oplosbaarheid in water van zowel het geneesmiddel als het organisch oplosmiddel in stap 2.

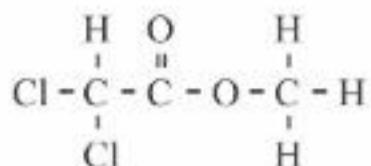
- 2p 13 Leg uit of de EE relatief hoog of relatief laag is als een geneesmiddel wordt gebruikt met een hoge wateroplosbaarheid.  
Neem aan dat het gebruikte oplosmiddel niet verandert.

Als oplosmiddel zijn dichloormethaan en tetrachloormethaan met elkaar vergeleken. De oplosbaarheid van deze stoffen in water verschilt. Dit heeft onder andere te maken met het gegeven dat de C–C1-binding een polaire atoombinding is.

- 3p 14 Leg uit, aan de hand van de microstructuur van beide oplosmiddelen, welk van de twee oplosmiddelen het best in water kan oplossen. Gebruik hierbij begrippen op microniveau.

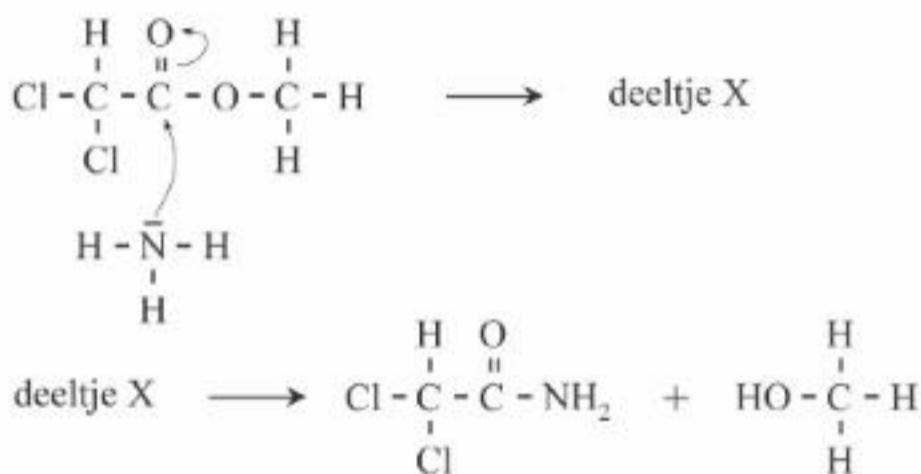
In 2005 heeft een onderzoeks groep een verbeterde methode gevonden voor het inkapselen van hydrofiele genees middelen in microbolletjes. Bij deze methode wordt ammoniak aan de waterfase toegevoegd. Als organisch oplosmiddel wordt DCEM (zie figuur 4) gebruikt.

**figuur 4**



DCEM is niet goed oplosbaar in water. In contact met een verdunne ammoniak-oplossing ondergaat DCEM echter een zogenaamde ammonolyse. Ammonolyse is vergelijkbaar met hydrolyse. Het mechanisme van deze ammonolyse is in figuur 5 onvolledig weergegeven. In de eerste stap van het mechanisme wordt uitsluitend deeltje X gevormd, dat daarna snel uiteenvalt.

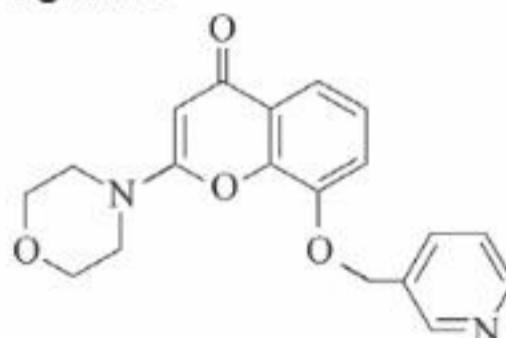
**figuur 5**



- 3p 15 Teken de lewisstructuur van deeltje X. Geef hierbij (de) formele lading(en) aan.

Veel genees middelen zijn zwakke basen of zwakke zuren. De oplosbaarheid in water van deze stoffen hangt daarom onder andere af van de pH. In figuur 6 is de structuurformule van een genees middel weergegeven. Deze stof is een zwakke base.

**figuur 6**

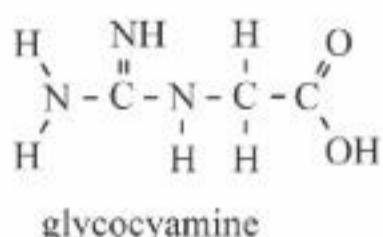


- 2p 16 Leg uit of bij lagere pH de oplosbaarheid in water van deze stof hoger of lager is.

## Creatine

Creatine speelt een belangrijke rol in de energiehuishouding van de spieren en de hersenen. In de biosynthese van creatine wordt onder invloed van het enzym AGAT eerst de stof glycocyamine (zie figuur 1) gevormd uit de aminozuren glycine en arginine.

**figuur 1**



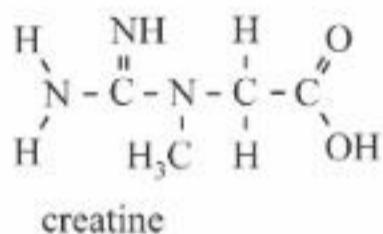
Bij de vorming van glycocyamine wordt het stikstofatoom van glycine aan een van de koolstofatomen in de restgroep van arginine gekoppeld. Hierbij ontstaat ook ornithine.

Ornithine is een aminozuur dat niet is vermeld in het informatieboek.

- 2p 17 Teken de structuurformule van ornithine.

De glycocyamine wordt vervolgens omgezet tot creatine (zie figuur 2) onder invloed van het enzym GAMT.

**figuur 2**



Op de uitwerkbijlage is weergegeven hoe een glycocyamine-deeltje in het actieve centrum van GAMT is gebonden. Bij de heersende pH hebben alle aanwezige carboxylgroepen een  $\text{H}^+$  afgestaan.

Tussen dit glycocyamine-deeltje en GAMT bestaan elektrostatische interacties. Door deze interacties (bindingstypen) heeft het glycocyamine-deeltje een bepaalde ruimtelijke oriëntatie, waardoor de omzetting tot creatine mogelijk wordt.

Neem aan dat vanderwaalsbindingen geen rol spelen in de oriëntatie van het glycocyamine-deeltje.

- 2p 18 Geef op de uitwerkbijlage met stippellijntjes twee interacties/bindingstypen aan tussen het glycocyamine-deeltje en GAMT.
- Nummer beide interacties.
  - Noteer in de tabel de naam van elke interactie.

Bij de omzetting van glycocyamine tot creatine wordt een methylgroep overgedragen van een deeltje SAM naar het deeltje glycocyamine. Op de uitwerkbijlage is het mechanisme van de omzetting van glycocyamine tot creatine onvolledig weergegeven. Het deeltje SAM is hierbij vereenvoudigd weergegeven.

- 2p 19 Voer de volgende opdrachten uit:

- Teken in het omkaderde gedeelte de niet-bindende elektronenparen, waarbij alle atomen voldoen aan de oktetregel.
- Geef met pijlen weer hoe elektronenparen worden verplaatst tijdens deze omzetting.

Creatine bevindt zich in spieren en de hersenen, om deze snel van energie te kunnen voorzien. Een gezonde man heeft in zijn lichaam gemiddeld een voorraad van 1,7 g creatine per kg lichaamsgewicht. Van deze voorraad wordt gemiddeld 1,9 massaprocent per dag uitgescheiden. Uit metingen is gebleken dat per dag 20 massaprocent van de uitgescheiden creatine rechtstreeks wordt opgenomen uit voeding. De rest wordt door het lichaam aangemaakt uit glycine en arginine (zie ook figuur 4).

- 5p 20 Bereken de massa in gram glycine die een gezonde man van 70 kg dagelijks moet omzetten om de hoeveelheid creatine op peil te houden.  
**Geef je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.**

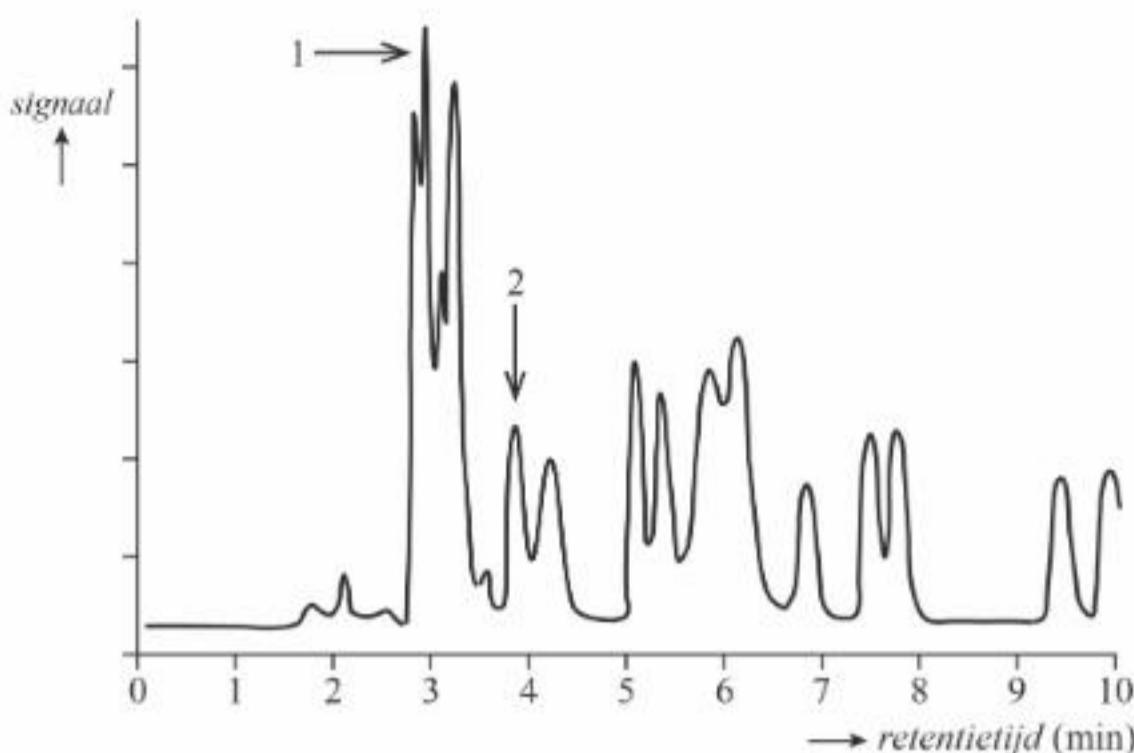
De aanmaak van creatine kan verstoord zijn doordat het enzym AGAT of het enzym GAMT niet functioneert of zelfs niet aanwezig is in het lichaam. Deze zeldzame erfelijke stofwisselingsziektes zijn bekend als AGAT-deficiëntie en GAMT-deficiëntie.

Een bepaalde GAMT-deficiëntie wordt veroorzaakt doordat het enzym een afwijkende vorm heeft. In de peptideketen van deze GAMT\* is op positie 44 een leucine-eenheid aanwezig waar in gezonde GAMT een arginine-eenheid aanwezig is. Op het afwijkend DNA wijkt hierbij maar één basenpaar af van gezond DNA.

De code voor de eerste aminozuur-eenheid van GAMT begint bij het basenpaar met nummer 1.

- 3p 21 Geef op de uitwerkbijlage de symbolen van het basenpaar waarin de genetische code voor gezonde GAMT verschilt van de code voor GAMT\* en geef het nummer van het afwijkende basenpaar.  
Gebruik Binas-tabel 71G of ScienceData-tabel 16.9.

Door de gehalten van glycocyamine en creatine te onderzoeken, kan worden onderzocht of er sprake is van een van beide ziektes. Bij de bepaling van het gehalte creatine wordt soms gebruikgemaakt van chromatografie. In een onderzoek is van een mengsel van bekende stoffen een chromatogram gemaakt. De stationaire fase was hierbij apolair. Dit chromatogram is in figuur 3 weergegeven.

**figuur 3**

In figuur 3 zijn met pijlen twee pieken aangegeven. Een van beide pieken is afkomstig van creatine en de andere van asparaginezuur.

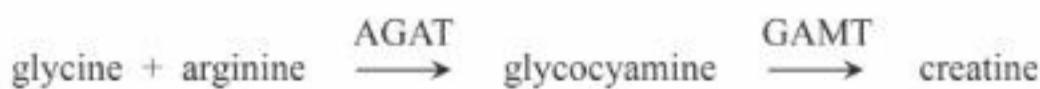
Van deze stoffen is in een ander experiment de verdelingscoëfficiënt  $K_v$  bepaald in een tweelagen-systeem van water en de hydrofobe vloeistof octaan-1-ol. De  $K_v$  is een maat voor de polariteit van een stof. Deze verdelingscoëfficiënt kan worden berekend met formule 1:

$$K_v = \frac{[\text{stof}]_{\text{octaan-1-ol}}}{[\text{stof}]_{\text{water}}} \quad (\text{formule 1})$$

De waarde van de  $K_v$  van creatine is  $6,3 \cdot 10^{-1}$  en die van asparaginezuur is  $1,3 \cdot 10^{-4}$ .

- 3p 22 Leg uit welke van de twee aangegeven pieken uit figuur 3 hoort bij creatine. Gebruik in je uitleg formule 1.

In figuur 4 is de aanmaak van creatine vereenvoudigd samengevat.

**figuur 4**

Op de uitwerkbijlage staan twee zinnen over de gehaltes van glycocyamine en creatine bij AGAT-deficiëntie en bij GAMT-deficiëntie.

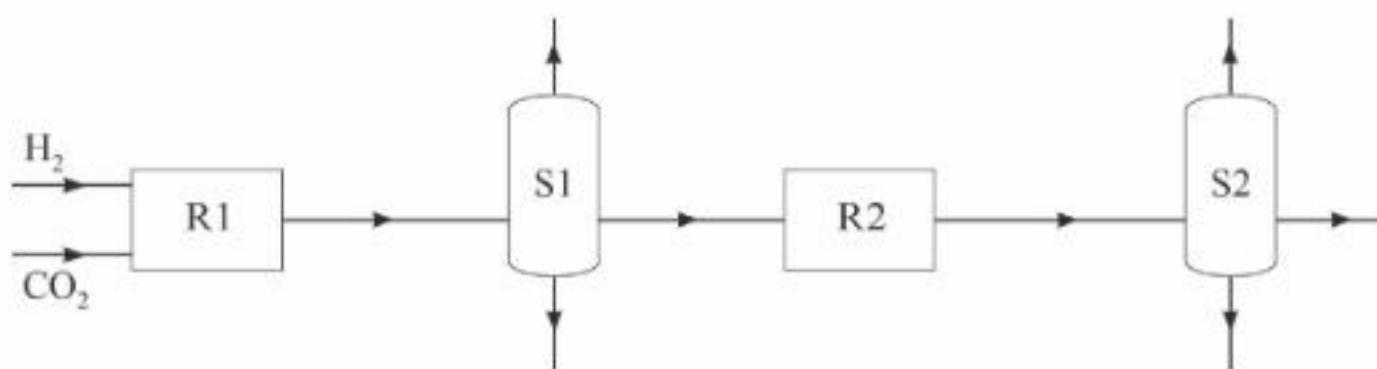
- 2p 23 Omcirkel in de zinnen op de uitwerkbijlage steeds de juiste mogelijkheden. Neem hierbij aan dat er geen andere processen invloed hebben op deze gehaltes.

 Wil je weten hoe je dit examen hebt gemaakt? Kijk het na met de antwoorden en uitwerkingen op [mijnexamenbundel.nl](https://mijnexamenbundel.nl). Je ziet dan je totaalscore en je score per onderwerp. Deze worden bewaard.

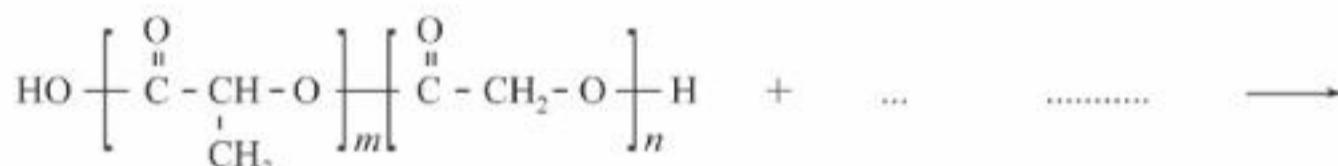


**Uitwerkbijlage bij de vragen 4, 11, 18, 19, 21 en 23**

4

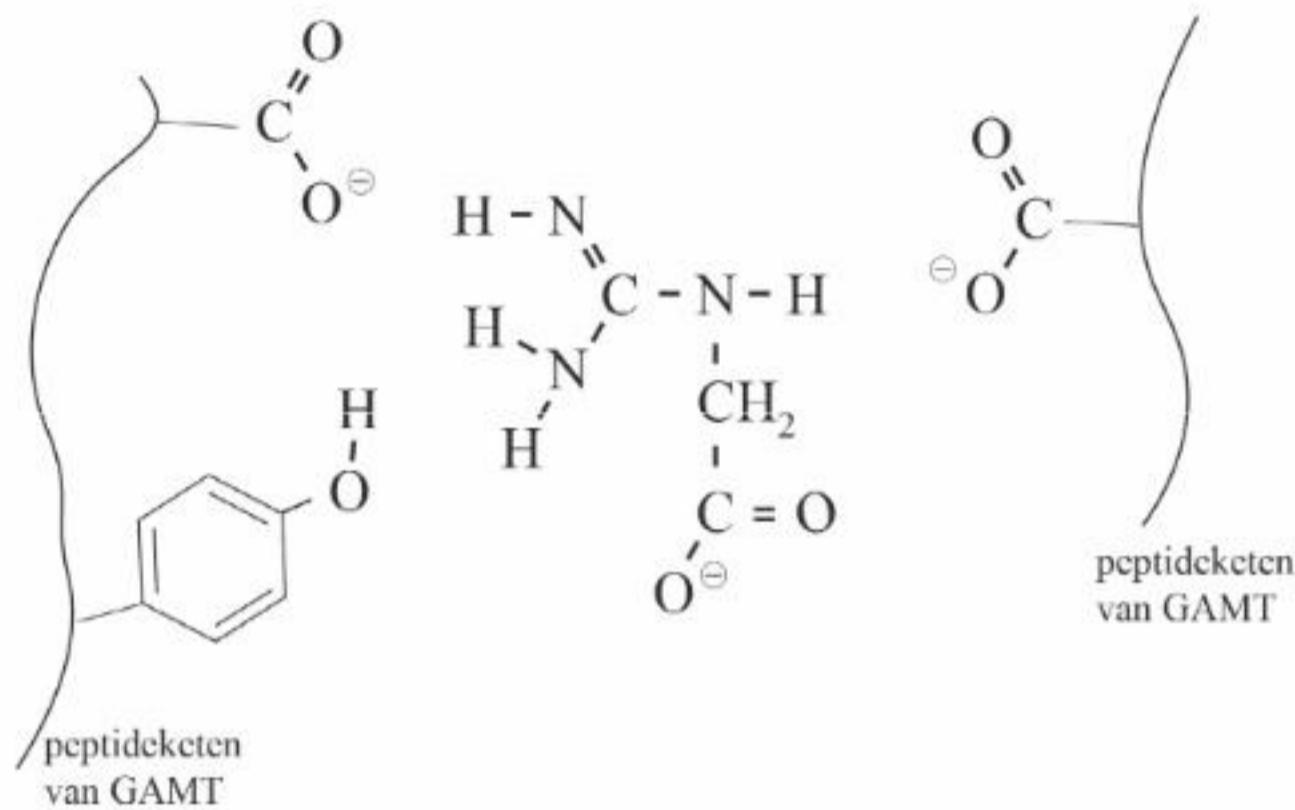


11



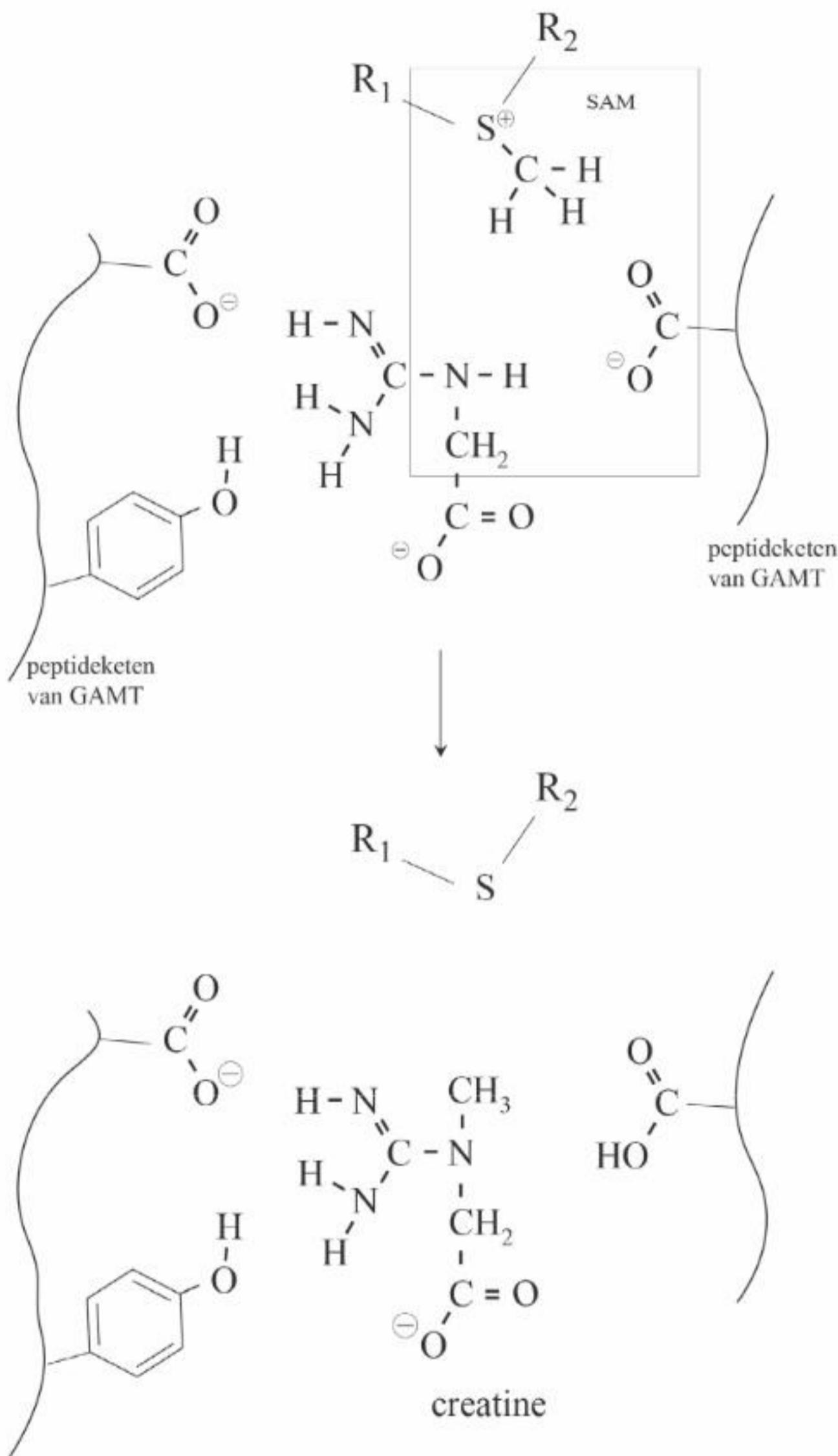
+

18



interactie 1	...
interactie 2	...

19



21

	gezonde GAMT	GAMT*
base op de coderende streng	...	...
base op de matrijsstreng	...	...
nummer van het afwijkende basenpaar	n.v.t.	

23

**Bij AGAT-deficiëntie:**

Het gehalte glycocyamine is lager dan gelijk aan hoger dan  
 het normale gehalte glycocyamine

en

het gehalte creatine is lager dan gelijk aan hoger dan  
 het normale gehalte creatine.

**Bij GAMT-deficiëntie:**

Het gehalte glycocyamine is lager dan gelijk aan hoger dan  
 het normale gehalte glycocyamine

en

het gehalte creatine is lager dan gelijk aan hoger dan  
 het normale gehalte creatine.



## Bijlagen

## Cijferbepaling

2021-I				2021-II				2022-I			
punten	cijfer	punten	cijfer	punten	cijfer	punten	cijfer	punten	cijfer	punten	cijfer
0	1,0	46	8,0	0	1,0	46	8,0	0	1,0	46	7,8
1	1,3	47	8,1	1	1,3	47	8,1	1	1,3	47	7,9
2	1,6	48	8,3	2	1,6	48	8,3	2	1,6	48	8,1
3	1,8	49	8,4	3	1,8	49	8,4	3	1,7	49	8,2
4	2,0	50	8,5	4	2,1	50	8,5	4	1,9	50	8,3
5	2,1	51	8,7	5	2,2	51	8,7	5	2,0	51	8,5
6	2,3	52	8,8	6	2,3	52	8,8	6	2,1	52	8,6
7	2,4	53	9,0	7	2,5	53	9,0	7	2,3	53	8,8
8	2,5	54	9,1	8	2,6	54	9,1	8	2,4	54	8,9
9	2,7	55	9,3	9	2,8	55	9,2	9	2,6	55	9,0
10	2,8	56	9,4	10	2,9	56	9,4	10	2,7	56	9,2
11	3,0	57	9,5	11	3,0	57	9,5	11	2,8	57	9,3
12	3,1	58	9,6	12	3,2	58	9,6	12	3,0	58	9,5
13	3,3	59	9,7	13	3,3	59	9,6	13	3,1	59	9,6
14	3,4	60	9,8	14	3,5	60	9,7	14	3,3	60	9,7
15	3,5	61	9,9	15	3,6	61	9,8	15	3,4	61	9,8
16	3,7	62	9,9	16	3,8	62	9,9	16	3,6	62	9,9
17	3,8	63	10,0	17	3,9	63	9,9	17	3,7	63	9,9
18	4,0			18	4,0	64	10,0	18	3,8	64	10,0
19	4,1			19	4,2			19	4,0		
20	4,3			20	4,3			20	4,1		
21	4,4			21	4,5			21	4,3		
22	4,5			22	4,6			22	4,4		
23	4,7			23	4,7			23	4,5		
24	4,8			24	4,9			24	4,7		
25	5,0			25	5,0			25	4,8		
26	5,1			26	5,2			26	5,0		
27	5,3			27	5,3			27	5,1		
28	5,4			28	5,4			28	5,2		
29	5,5			29	5,6			29	5,4		
30	5,7			30	5,7			30	5,5		
31	5,8			31	5,9			31	5,7		
32	6,0			32	6,0			32	5,8		
33	6,1			33	6,1			33	5,9		
34	6,3			34	6,3			34	6,1		
35	6,4			35	6,4			35	6,2		
36	6,5			36	6,6			36	6,4		
37	6,7			37	6,7			37	6,5		
38	6,8			38	6,8			38	6,6		
39	7,0			39	7,0			39	6,8		
40	7,1			40	7,1			40	6,9		
41	7,3			41	7,3			41	7,1		
42	7,4			42	7,4			42	7,2		
43	7,5			43	7,5			43	7,3		
44	7,7			44	7,7			44	7,5		
45	7,8			45	7,8			45	7,6		

Bedenk dat het toekennen van punten aan een antwoord enige deskundigheid vereist. De hier behaalde scores zijn dus vooral een indicatie hoeveel je op dit moment weet over dit vak.

## 2022-II

## 2023-I

## 2023-II

punten	cijfer										
0	1,0	46	8,2	0	1,0	46	7,5	0	1,0	46	7,7
1	1,3	47	8,3	1	1,3	47	7,6	1	1,3	47	7,8
2	1,6	48	8,5	2	1,5	48	7,7	2	1,5	48	8,0
3	1,9	49	8,6	3	1,6	49	7,9	3	1,6	49	8,1
4	2,1	50	8,7	4	1,7	50	8,0	4	1,8	50	8,2
5	2,3	51	8,9	5	1,9	51	8,2	5	1,9	51	8,4
6	2,5	52	9,0	6	2,0	52	8,3	6	2,0	52	8,5
7	2,6	53	9,2	7	2,2	53	8,4	7	2,2	53	8,7
8	2,7	54	9,3	8	2,3	54	8,6	8	2,3	54	8,8
9	2,9	55	9,4	9	2,4	55	8,7	9	2,5	55	8,9
10	3,0	56	9,5	10	2,6	56	8,8	10	2,6	56	9,1
11	3,2	57	9,6	11	2,7	57	9,0	11	2,7	57	9,2
12	3,3	58	9,6	12	2,8	58	9,1	12	2,9	58	9,4
13	3,5	59	9,7	13	3,0	59	9,2	13	3,0	59	9,5
14	3,6	60	9,8	14	3,1	60	9,4	14	3,2	60	9,6
15	3,7	61	9,9	15	3,2	61	9,5	15	3,3	61	9,8
16	3,9	62	9,9	16	3,4	62	9,7	16	3,5	62	9,9
17	4,0	63	10,0	17	3,5	63	9,8	17	3,6	63	9,9
18	4,2			18	3,7	64	9,9	18	3,7	64	10,0
19	4,3			19	3,8	65	9,9	19	3,9		
20	4,5			20	3,9	66	10,0	20	4,0		
21	4,6			21	4,1			21	4,2		
22	4,7			22	4,2			22	4,3		
23	4,9			23	4,3			23	4,4		
24	5,0			24	4,5			24	4,6		
25	5,2			25	4,6			25	4,7		
26	5,3			26	4,7			26	4,9		
27	5,5			27	4,9			27	5,0		
28	5,6			28	5,0			28	5,1		
29	5,7			29	5,2			29	5,3		
30	5,9			30	5,3			30	5,4		
31	6,0			31	5,4			31	5,6		
32	6,2			32	5,6			32	5,7		
33	6,3			33	5,7			33	5,8		
34	6,5			34	5,8			34	6,0		
35	6,6			35	6,0			35	6,1		
36	6,7			36	6,1			36	6,3		
37	6,9			37	6,2			37	6,4		
38	7,0			38	6,4			38	6,5		
39	7,2			39	6,5			39	6,7		
40	7,3			40	6,7			40	6,8		
41	7,5			41	6,8			41	7,0		
42	7,6			42	6,9			42	7,1		
43	7,7			43	7,1			43	7,2		
44	7,9			44	7,2			44	7,4		
45	8,0			45	7,3			45	7,5		

## Onderwerpregister

In het volgende schema wordt verwezen naar de nummers van vragen uit hoofdstukken en examens.

scheikunde	deel 1	deel 2a	
		2021-I	2021-II
Van atomen tot stoffen	hoofdstuk 1 1-30	1-3, 5, 16, 20, 23	5, 10, 11
Reacties en reactie- omstandigheden	hoofdstuk 2 1-35		1-4, 17, 19, 22
Zuur-basereacties	hoofdstuk 3 1-25	13, 15, 22	7, 18
Redoxreacties	Hoofdstuk 4 1-30	17-19	
Koolstofchemie	hoofdstuk 5 1-40	4, 6, 7	1, 6, 14, 15, 20, 21
Chemie van het leven (biochemie)	hoofdstuk 6 1-27	12, 14, 16, 21	8, 9
Chemische industrie en milieu	hoofdstuk 7 1-29	8-11	12, 13, 16
Analysemethoden en vaardigheden	hoofdstuk 8 1-27		23-26

## deel 2a (vervolg)

2022-I	2022-II	2023-I	2023-II
6	1-5, 8, 18	7, 9, 10, 18, 20	1-4, 8, 9, 12, 16
3, 4	1, 2, 4, 6, 9-11, 21, 22	1, 2, 17	20, 21, 24
17, 18	23	6, 11, 12, 16	8, 18
22, 24		16, 18, 19, 21, 25	5, 15
9-13, 14, 21	13-15, 19, 24, 25	14, 22-24	3, 10, 11, 14, 23
15, 19, 20, 23	20, 22	3, 12-15	6, 7, 10, 13
1-8, 16	7, 11, 12, 16, 17	4, 5	17, 22, 25
		8	19

## Aantekeningen

## Aantekeningen

## Aantekeningen

examen  
bundel®

Slim leren, zeker slagen



! Veel succes #  
met je examens!

Meer hulp nodig? Op [examenbundel.nl](http://examenbundel.nl)  
vind je alles om je optimaal voor te  
bereiden op je examens.

#ikgazekerslagen #geenexamenstress [examenbundel.nl](http://examenbundel.nl)

# examenbundel >

vwo Nederlands  
vwo Engels  
vwo Duits  
vwo Frans  
vwo Economie  
vwo Bedrijfseconomie  
vwo Maatschappijwetenschappen  
vwo Geschiedenis  
vwo Aardrijkskunde  
vwo Wiskunde A  
vwo Wiskunde B  
vwo Wiskunde C  
vwo Scheikunde  
vwo Biologie  
vwo Natuurkunde

## samengevat }

vwo Economie  
vwo Bedrijfseconomie  
vwo Maatschappijwetenschappen  
vwo Geschiedenis  
vwo Aardrijkskunde  
vwo Wiskunde A  
vwo Wiskunde B  
vwo Wiskunde C  
vwo Scheikunde  
vwo Biologie  
vwo Natuurkunde  
havo/vwo Nederlands 3F/4F  
havo/vwo Rekenen 3F

Tips, tricks en informatie die jou helpen bij het slagen voor je eindexamen vind je op examenbundel.nl! Nog meer kans op slagen? Volg ons ook op social media. #geenexamenstress



examenidioom + examenbundel + samengevat + zeker slagen! = #geenexamenstress

## examenidioom #

vwo Engels  
vwo Duits  
vwo Frans

## zeker slagen!

voor vmbo, havo én vwo



9 789006 373981