

## Contrastmiddel voor MRI-scans

MRI staat voor Magnetic Resonance Imaging. Deze techniek wordt in ziekenhuizen gebruikt voor onderzoek aan bijvoorbeeld bloedvaten. Soms gebruikt men voor het maken van een MRI-scan het contrastmiddel OMNISCAN™. Dit wordt in de bloedbaan geïnjecteerd.

figuur 1

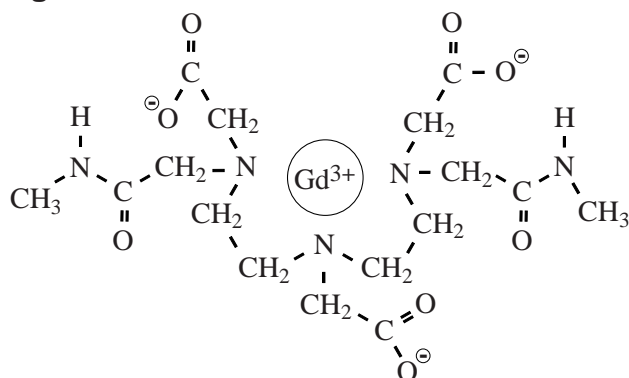


OMNISCAN™ bevat gadodiamide. Dit is een verbinding van het element gadolinium (Gd). In die verbinding komen  $Gd^{3+}$  ionen voor. Door de magnetische eigenschappen van  $Gd^{3+}$  ionen geeft de MRI-scan een betere afbeelding. In de natuur komt de isotoop Gd-158 het meest voor.

- 3p 1 Hoeveel protonen, neutronen en elektronen bevat een  $Gd^{3+}$  ion met massagetal 158? Noteer je antwoord als:  
 aantal protonen: ... aantal neutronen: ... aantal elektronen: ...

In een gadodiamide-deeltje is een  $Gd^{3+}$  ion ingekapseld door een organisch deeltje. Zie figuur 2 voor een structuur van een gadodiamide-deeltje.

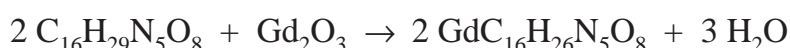
figuur 2



Gadodiamide is goed oplosbaar in water. De gadodiamide-deeltjes blijven in de oplossing intact en vallen niet uiteen tot ionen.

- 2p 2 Leg uit op microniveau, aan de hand van figuur 2, dat gadodiamide goed oplosbaar is in water.

Gadodiamide kan worden bereid uit gadolinium(III)oxide via de volgende reactie:



- 2p 3 Leg uit, aan de hand van formules in de reactievergelijking, of deze reactie een zuur-basereactie is.

Vrije  $\text{Gd}^{3+}$  ionen zijn giftig voor mens en dier. De LD50 voor muizen is  $42 \text{ mg kg}^{-1}$ .  $\text{Gd}^{3+}$  ionen in gadodiamide-deeltjes zijn veel minder giftig. De LD50 van  $\text{Gd}^{3+}$  ionen in gadodiamide verschilt een factor 100 met de LD50 van vrije  $\text{Gd}^{3+}$  ionen.

- 2p 4 Geef de LD50 (voor muizen) van  $\text{Gd}^{3+}$  ionen in gadodiamide.

Voor de mens wordt als veilige dosering van gadodiamide de grens van  $0,1 \text{ mmol per kg}$  lichaamsgewicht aangehouden. Hierop is de onderstaande doseringskaart voor OMNISCAN™ gebaseerd.

#### doseringskaart voor volwassenen

|                      |    |    |    |    |    |     |
|----------------------|----|----|----|----|----|-----|
| lichaamsgewicht (kg) | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| volume (mL)          | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20  |

Met een berekening kan worden aangetoond dat bij een dosering die op de doseringskaart is vermeld, de veiligheidsgrens niet wordt overschreden.

- 3p 5 Geef de berekening voor een persoon van 60 kg. Maak hierbij gebruik van:
- de molaire massa van gadodiamide is  $574 \text{ g mol}^{-1}$ ;
  - informatie uit het etiket in figuur 1.

Men verwacht dat het gebruik van gadodiamide toeneemt. Omdat gadodiamide via de urine wordt uitgescheiden, zal het gehalte aan gadodiamide in afvalwater toenemen.

Dit kan voor milieuproblemen zorgen omdat gadodiamide niet in een rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) wordt afgebroken.

In een laboratorium werd onderzocht of gadodiamide kan worden verwijderd uit een oplossing door middel van de scheidingsmethode adsorberen. De conclusie was dat verwijdering niet lukt met deze scheidingsmethode.

- 2p 6 Beschrijf in grote lijnen hoe een experiment kan worden uitgevoerd om te onderzoeken of gadodiamide uit een oplossing kan worden verwijderd met behulp van Norit<sup>®</sup>-poeder als adsorptiemiddel.

In tabel 1 staan gemiddelden van een aantal metingen van het  $Gd^{3+}$  gehalte.

**tabel 1**

| locatie                                 | rivier-<br>water | uitstroom van<br>rioolwaterzuivering<br>(wordt geloosd op het<br>oppervlaktewater) | afvalwater<br>ziekenhuizen |
|---|------------------|--|----------------------------|
| $Gd^{3+}$ gehalte<br>( $\mu g L^{-1}$ ) | 0,2              | 1,1  | 100                        |

Hoewel nog geen methode bestaat om gadodiamide uit afvalwater te verwijderen, wordt bij RWZI's al nagedacht over de wijze waarop de eventuele verwijdering kan worden uitgevoerd. Een chemisch technoloog stelt voor om de urine van mensen bij wie gadodiamide is gebruikt, apart te verzamelen en daaruit het gadodiamide te verwijderen.

- 2p 7 Geef een argument dat de chemisch technoloog kan noemen waarom het effectiever is om gadodiamide te verwijderen uit de apart verzamelde urine dan uit rioolwater. Motiveer je antwoord.

## 'Drogen' van witte olieverf

Olieverf wordt al eeuwen gebruikt voor het maken van schilderijen. Olieverf wordt gemaakt door pigmentkorrels te mengen met een vloeibaar bindmiddel. Pigmentkorrels geven kleur aan de verf. Loodwit,  $\text{Pb}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$ , is een wit pigment dat vroeger veel werd gebruikt. Loodwit kan worden opgevat als een mengsel van de zouten lood(II)carbonaat en lood(II)hydroxide. Uit de formule van loodwit kan de molverhouding van deze twee loodzouten worden afgeleid.

- 2p 8 Geef de formules van deze twee loodzouten en geef de molverhouding waarin ze voorkomen in loodwit.  
 Noteer je antwoord als volgt:  
 formule lood(II)carbonaat: ...  
 formule lood(II)hydroxide: ...  
 molverhouding lood(II)carbonaat : lood(II)hydroxide = ... : ...

Een veelgebruikt bindmiddel in olieverf is lijnolie. Lijnolie is een vloeibaar mengsel van triglyceriden. Triglyceriden zijn tri-esters van glycerol en vetzuren. De koolwaterstofgedeeltes van de vetzuren in lijnolie bevatten veel C=C bindingen. In tabel 1 staat de gemiddelde vetzuursamenstelling van lijnolie.

**tabel 1**

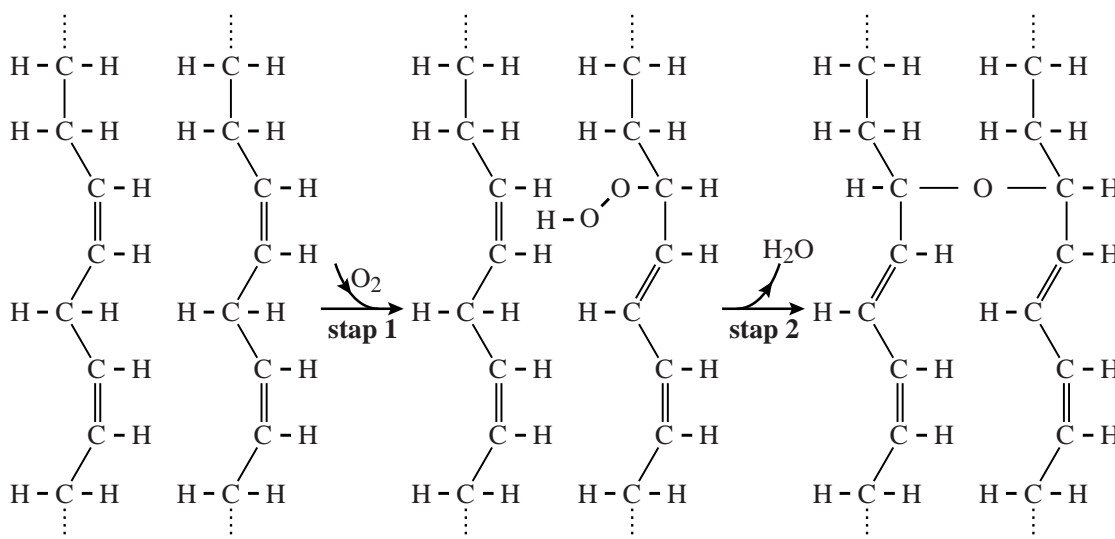
| gemiddelde vetzuursamenstelling van lijnolie |                               |                                 |
|--|-------------------------------|---------------------------------|
| vetzuur                                      | koolwaterstof-gedeelte        | aantal per 100 vetzuurmoleculen |
| palmitinezuur                                | $-\text{C}_{15}\text{H}_{31}$ | 5                               |
| stearinezuur                                 | $-\text{C}_{17}\text{H}_{35}$ | 2                               |
| oliezuur                                     | $-\text{C}_{17}\text{H}_{33}$ | 16                              |
| linolzuur                                    | $-\text{C}_{17}\text{H}_{31}$ | 15                              |
| $\alpha$ -linoleenzuur                       | $-\text{C}_{17}\text{H}_{29}$ | 62                              |

- 2p 9 Geef de structuurformule van het triglyceride waarin uitsluitend het vetzuur  $\alpha$ -linoleenzuur is veresterd. Geef het koolwaterstofgedeelte van het vetzuur weer zoals in tabel 1.
- 3p 10 Bereken het gemiddelde aantal C=C bindingen per triglyceridemolecuul in lijnolie.  
 Maak hierbij gebruik van:  
 – tabel 1;  
 – Binas-tabel 67G2 of ScienceData-tabel 13.2 g.

Het uitharden van olieverf wordt ook wel ‘drogen’ genoemd. Onder invloed van (uv-)licht reageren hierbij C=C bindingen met zuurstof. Bij dit proces ontstaan geleidelijk steeds meer crosslinks.

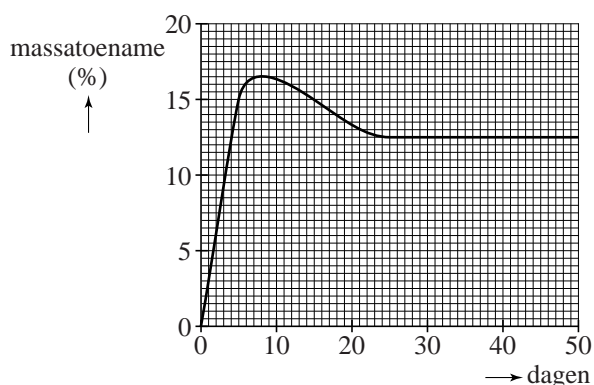
In figuur 1 is de uitharding schematisch weergegeven.

figuur 1



Het volledig uitharden van verf die op basis van lijnolie is gemaakt, kan een flink aantal dagen duren. Een producent van olieverf heeft onderzoek gedaan aan de uitharding. Bij dat onderzoek werd onder andere de verandering van de massa van lijnolie tijdens het uitharden gevolgd. In diagram 1 is het resultaat weergegeven van een onderzoek aan een laagje olieverf met een dikte van 0,254 mm. Deze olieverf was samengesteld uit lijnolie en het witte pigment titaan(IV)oxide. Dit pigment wordt tegenwoordig gebruikt in plaats van het giftige loodwit.

diagram 1



- 2p 11 Leg uit dat het toenemen van de massa in de eerste acht dagen én het afnemen van de massa in de volgende dagen verklaard kunnen worden met behulp van het uithardingsproces dat in figuur 1 is weergegeven.

- 2p 12 Laat met behulp van een berekening zien dat op dag 50 de massa per mol triglyceriden 109 g groter is dan de massa op dag 0.
- Maak gebruik van diagram 1.
  - De gemiddelde molaire massa van de triglyceriden bedraagt  $873 \text{ g mol}^{-1}$ .
  - De massa van titaan(IV)oxide mag worden verwaarloosd.
- 2p 13 Bereken het aantal mol crosslinks per mol triglyceriden op dag 50. Ga ervan uit dat:
- op dag 50 de massa per mol triglyceriden 109 g groter is dan de massa op dag 0;
  - er geen andere reacties optreden dan in figuur 1;
  - stap 1, waarin zuurstof reageert, en stap 2, waarin water ontwijkt, volledig verlopen;
  - er op dag 0 geen crosslinks aanwezig waren.

## Alginaat

Onder ‘moleculair koken’ wordt verstaan: het toepassen van wetenschap bij voedselbereiding in de keuken. Alginaat wordt in de moleculaire keuken gebruikt om bolletjes te maken die op kaviaar lijken en gevuld zijn met een vloeistof. Bij het doorbijten van de bolletjes komt de vloeistof vrij in de mond. Dat zorgt voor een bepaalde smaaksensatie. Marije wil haar vrienden verrassen met ‘limonadekaviaar’. Zij vindt op internet het volgende recept:

### Recept moleculair koken: limonadekaviaar

1. Los 3,0 gram calciumchloride op in 130 mL water.
2. Los 4,0 gram natriumalginaatpoeder op in 120 mL water.
3. Meng de natriumalginaatoplossing met limonadesiroop in de volumeverhouding 1 : 2.
4. Zuig een deel van het mengsel op met een pipet en druppel het in de calciumchloride-oplossing.
5. Schep na ongeveer 30 seconden de ‘kaviaar’ eruit.

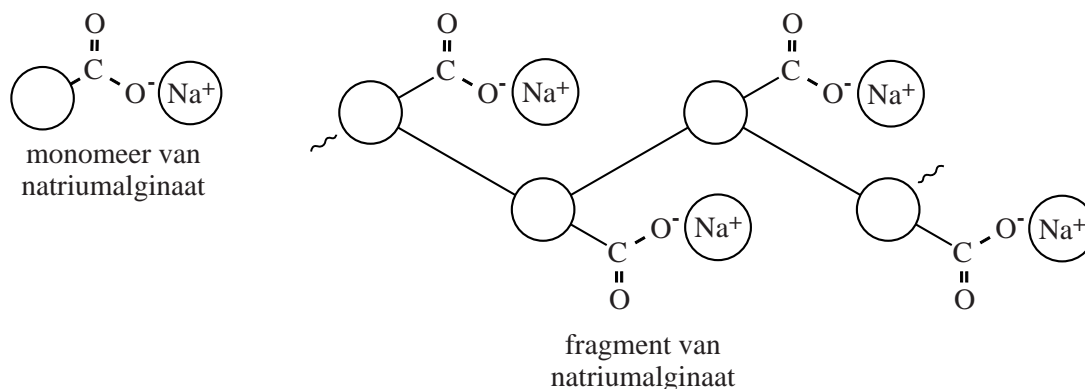


*Naar: [moleculairkoken.net/kooktechnieken-kaviaar](http://moleculairkoken.net/kooktechnieken-kaviaar)*

Bij het oplossen van calciumchloride worden ionbindingen verbroken. Er worden ook nieuwe bindingen gevormd.

- 2p 14 Tussen welke deeltjes worden nieuwe bindingen gevormd bij het oplossen van calciumchloride?  
 Noteer je antwoord als volgt:  
 Er worden nieuwe bindingen gevormd tussen ..... en .....

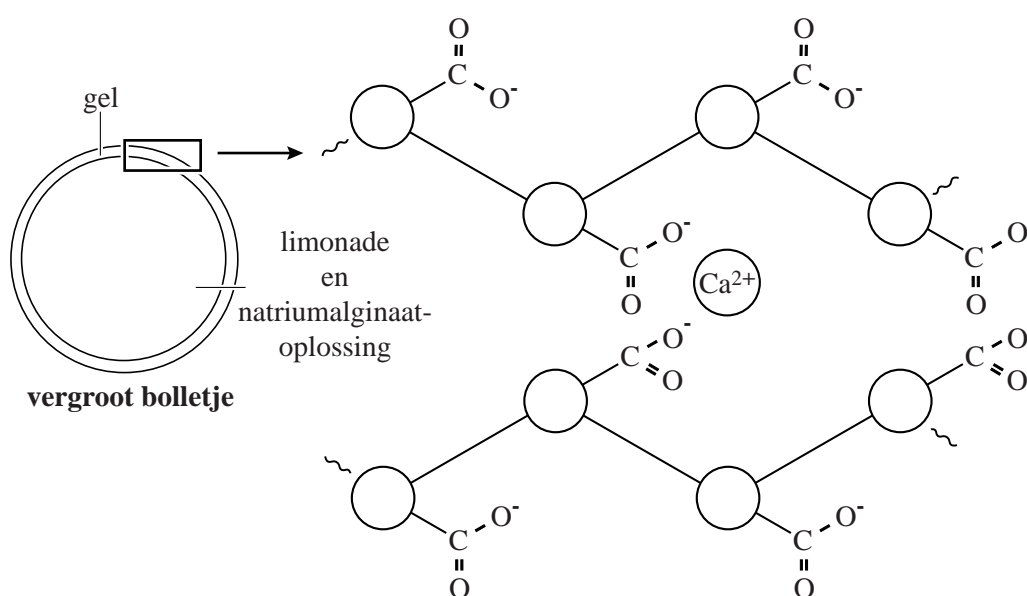
Natriumalginaat is een natuurlijk polysaccharide met de formule  $\text{Na}_n(\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_6)_n$ . Het monomeer van natriumalginaat heeft dezelfde basisstructuur als glucose, met in plaats van een  $-\text{CH}_2\text{OH}$  groep een  $-\text{COO}^- \text{Na}^+$  groep. Hieronder zijn het monomeer waaruit natriumalginaat is opgebouwd en een fragment van natriumalginaat schematisch weergegeven:



Bij het oplossen van natriumalgiinaat in water komen natriumionen en algiinaationen vrij.

- 3p 15 Geef de vergelijking voor het oplossen van natriumalgiinaat in water. Gebruik de formule  $\text{Na}_n(\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_6)_n$  voor natriumalgiinaat en de formule  $(\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_6)_n^{n-}$  voor algiinaationen.

Wanneer het mengsel van natriumalgiinaat en limonadesiroop in de calciumchloride-oplossing wordt gedruppeld (stap 4), vormt zich meteen een dun laagje zogenoemde gel rondom de druppeltjes. De gel bestaat uit algiinaationen die door calciumionen als een soort crosslinks zijn verbonden.



Voor de smaaksensatie is het van belang dat de bolletjes niet te laat uit de calciumchloride-oplossing worden geschept (stap 5).

Wanneer te lang wordt gewacht, is de vloeistof binnen in de bolletjes namelijk ook omgezet tot een gel.

- 2p 16 Geef een mogelijke verklaring voor dit verschijnsel.

Marije leest op internet dat calciumchloride een beetje bitter smaakt en dat in plaats van calciumchloride ook het smaakloze calciumlactaat gebruikt kan worden. Calciumlactaat heeft de formule  $\text{Ca}(\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3)_2$ .

- 3p 17 Bereken hoeveel gram calciumlactaat Marije in 130 mL water moet oplossen om een oplossing te krijgen waarin de molariteit van de calciumionen hetzelfde is als in het recept. Neem hierbij aan dat het volume van beide oplossingen 130 mL is.



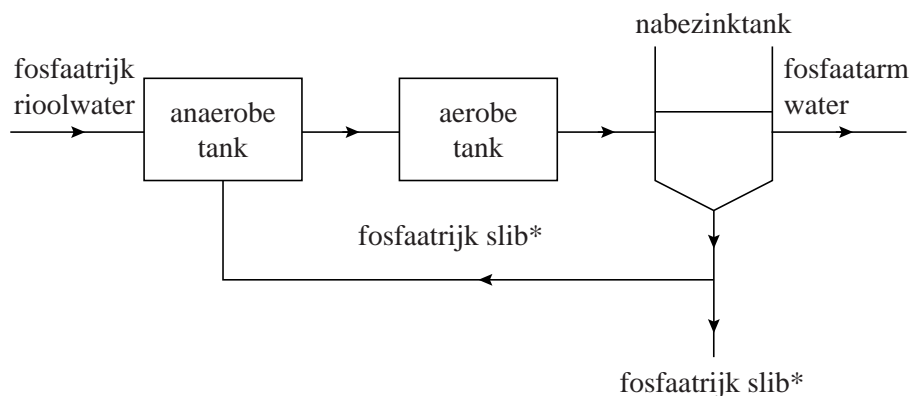
## Bio-P

Te veel fosfaat in oppervlaktewater leidt tot een afname van de waterkwaliteit. Een van de oorzaken is het uitspoelen van (kunst)mest vanaf landbouwgrond.

- 1p 18 Geef de naam van de vakterm waarmee deze afname van de waterkwaliteit wordt aangeduid.

Rioolwater bevat ook fosforverbindingen die veelal worden aangeduid als fosfaat. In een rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) wordt rioolwater gezuiverd. De gezuiverde uitstroom van een RWZI wordt geloosd op het oppervlaktewater. In steeds meer RWZI's wordt fosfaat biologisch verwijderd met het zogenoemde Bio-P proces. In figuur 1 is dit continuproces schematisch weergegeven.

figuur 1



\* slib = waterige biomassa, bestaande uit o.a. bacteriën

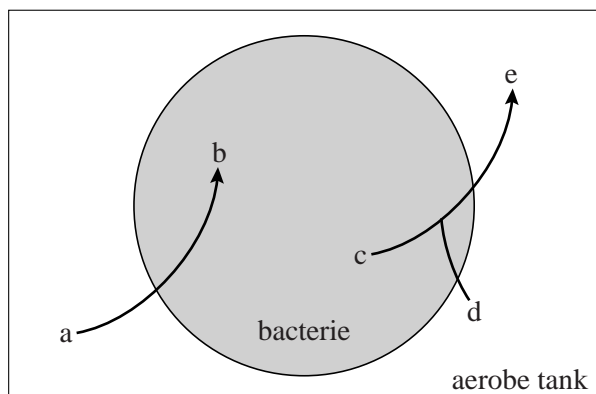
In het Bio-P proces wordt gebruikgemaakt van speciale bacteriën. Deze zetten fosfaat om tot polyfosfaat dat zij opslaan als energievoorraad. In het Bio-P proces zijn afwisselend anaerobe (zuurstofloze) en aerobe (zuurstofrijke) omstandigheden nodig.

In de anaerobe tank nemen de bacteriën koolstofverbindingen op uit het rioolwater, zetten die om tot polyhydroxybutyraat (PHB) en slaan het PHB op. Voor de omzetting van koolstofverbindingen tot PHB is energie nodig. De bacteriën halen deze energie uit de afbraak van polyfosfaat tot fosfaat. Het fosfaat wordt uitgescheiden en komt weer in het water terecht.

In de aerobe tank zetten de bacteriën PHB om tot koolstofdioxide en water. De energie die hierbij vrijkomt, gebruiken ze om zich te vermeerderen. Daardoor neemt het aantal bacteriën toe en dus ook de hoeveelheid slib.

De bacteriën in de aerobe tank nemen fosfaat op en zetten dit om tot polyfosfaat. De hoeveelheid fosfaat die hierbij wordt opgenomen, is veel groter dan door de bacteriën in de anaerobe tank is afgegeven.

De omzettingen die in de bacteriën in de aerobe tank plaatsvinden, zijn hieronder schematisch vereenvoudigd weergegeven:



- 2p **19** Geef de namen van de stoffen die bij de letters a tot en met e geplaatst moeten worden.

Maak een keuze uit:

fosfaat, koolstofdioxide + water, polyfosfaat, PHB, zuurstof.

Noteer je antwoord als volgt:

a: ...

b: ...

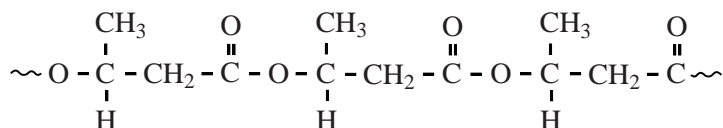
c: ...

d: ...

e: ...

- 2p **20** Leg uit, aan de hand van de informatie over het Bio-P proces, of de omzetting van polyfosfaat tot fosfaat een endotherm of een exotherm proces is.

PHB is een polyester. De structuurformule van een fragment van PHB is hieronder weergegeven:



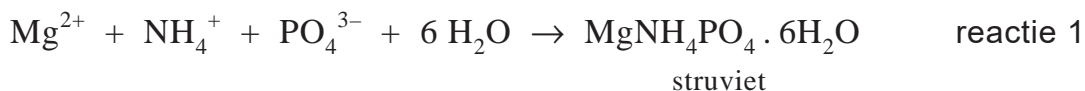
PHB kan worden beschouwd als een condensatiepolymeer dat is gevormd uit het monomeer  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_3$ .

- 2p 21 Geef de structuurformule van het monomeer  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_3$ .

Voor de omzetting van PHB tot koolstofdioxide en water is zuurstof nodig.

- 3p 22 Geef de vergelijking in molecuulformules van deze omzetting. Gebruik de formule  $(\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2)_{1000}$  voor PHB.

Een gedeelte van het fosfaatrijke slib wordt teruggevoerd naar de anaerobe tank (zie figuur 1). De rest van het slib wordt afgevoerd. In een aantal moderne RWZI's wordt deze rest gebruikt om fosfaat terug te winnen in de vorm van struviet ( $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), dat als kunstmest kan worden gebruikt. Na een aantal bewerkingen van het slib wordt een geconcentreerde oplossing van magnesiumchloride toegevoegd. De volgende reactie vindt dan plaats:



De vorming van struviet vindt plaats in een licht basisch milieu met een pH van 7,8.

- 2p 23 Bereken de  $[\text{OH}^-]$  in  $\text{mol L}^{-1}$  in een oplossing met  $\text{pH} = 7,8$  ( $T = 298 \text{ K}$ ).

Het slib bevat voldoende  $\text{NH}_4^+$  en water om alle fosfaat ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) om te zetten tot struviet. In een bepaalde RWZI wordt 2,5 ton struviet per dag gevormd volgens reactie 1.

- 3p 24 Bereken hoeveel kg magnesiumchloride-oplossing minstens per dag moet worden toegevoegd aan slib om het aanwezige fosfaat volledig om te zetten tot 2,5 ton struviet volgens reactie 1.

Maak gebruik van de volgende gegevens:

- Een ton is  $10^3 \text{ kg}$ .
- De molaire massa van struviet is  $245,41 \text{ g mol}^{-1}$ .
- De magnesiumchloride-oplossing bevat 32 massaprocent magnesiumchloride.
- De hoeveelheid  $\text{Mg}^{2+}$  die in slib voorkomt, mag worden verwaarloosd.

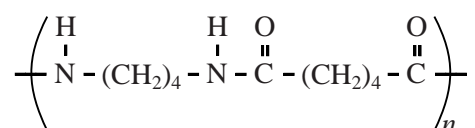
## Stanyl®

Stanyl is een sterke kunststof die pas bij hoge temperatuur smelt (295 °C). Dit maakt Stanyl geschikt als vervanger van metalen onderdelen in auto's en in elektronische apparatuur.

Stanyl is een copolymeer dat ontstaat door polycondensatie van twee soorten monomeren.

Een van deze twee is butaan-1,4-diamine,  $\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_4-\text{NH}_2$ .

Hieronder is de structuurformule van Stanyl schematisch weergegeven:



Bij de vorming van Stanyl via polycondensatie ontstaat water als bijproduct.

- 2p **25** Geef de structuurformule van het andere monomeer waaruit Stanyl wordt gevormd via de hierboven beschreven polymerisatie.

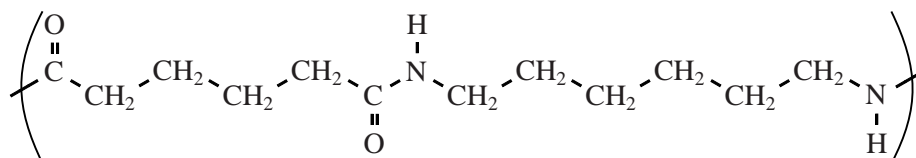
Het fragment dat in de structuurformule van Stanyl (zie hierboven) tussen de grote haken staat, wordt de repeterende eenheid genoemd.

De eigenschappen van een polymeer worden mede bepaald door de gemiddelde molecuulmassa van het polymeer. Een veelgebruikte Stanyl-soort heeft de gemiddelde molecuulmassa  $2,0 \cdot 10^4$  u.

- 2p **26** Bereken hoeveel repeterende eenheden gemiddeld voorkomen in een molecuul van deze Stanyl-soort.

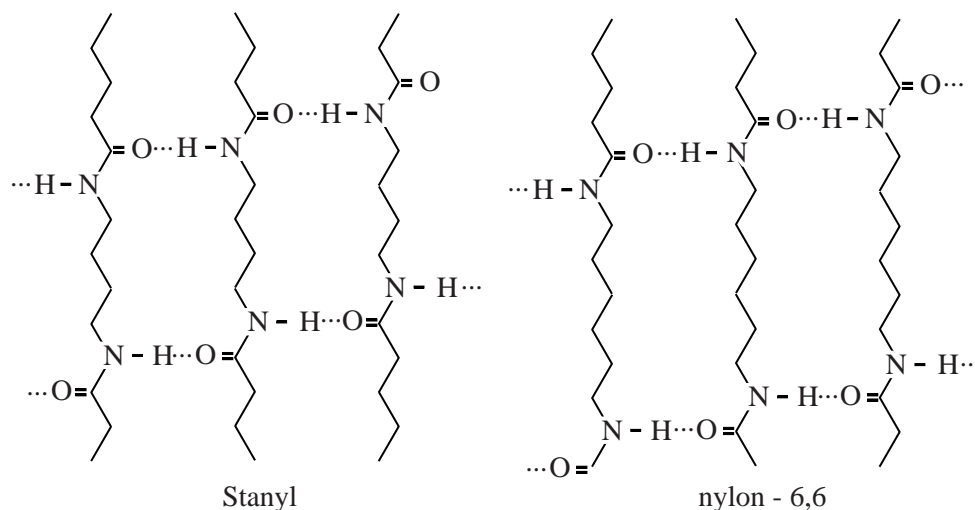
Stanyl is een zogenoemde nylon en is ontwikkeld als kunststof die steviger is en bij een hogere temperatuur kan worden toegepast dan het bekende nylon-6,6.

De repeterende eenheid van nylon-6,6 is hieronder weergegeven:



De aantrekkingskracht tussen nylonmoleculen wordt grotendeels bepaald door waterstofbruggen tussen C=O groepen en NH groepen. In figuur 1 is schematisch weergegeven hoe ketens van Stanyl en nylon-6,6 door middel van waterstofbruggen aan elkaar gebonden zijn.

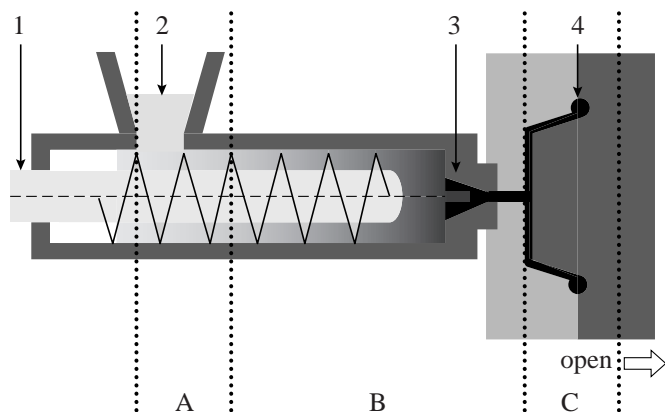
figuur 1



- 2p 27 Leg uit aan de hand van figuur 1, waarom Stanyl een hogere smeltemperatuur heeft dan nylon-6,6. Ga ervan uit dat Stanyl en nylon-6,6 dezelfde gemiddelde ketenlengte hebben.

Voorwerpen van Stanyl worden geproduceerd met behulp van de techniek spuitgieten. In figuur 2 is een schematische tekening weergegeven van een machine waarmee deze techniek wordt uitgevoerd.

figuur 2



Bij de vultrechter (2) worden Stanylkorrels in de spuitgietmachine gebracht. Deze korrels worden verwarmd en de ronddraaiende schroef (1) zorgt voor verplaatsing van Stanyl. Via de spuitmond (3) wordt Stanyl in een mal (4) geperst zodat het voorwerp in de gewenste vorm stolt.

De producent van Stanyl adviseert bepaalde temperaturen voor de drie zones die in figuur 2 zijn aangegeven.

Bij die temperaturen verloopt het spuitgieten optimaal.

De producent geeft de volgende temperatuurtrajecten voor de drie zones:

- 80 - 120 °C
- 280 - 320 °C
- 305 - 335 °C

Met behulp van het smeltpunt van Stanyl (295 °C) kan worden afgeleid welk temperatuurtraject bij welke zone hoort.

2p 28 Geef aan welk temperatuurtraject bij welke zone hoort.

Noteer je antwoord als:

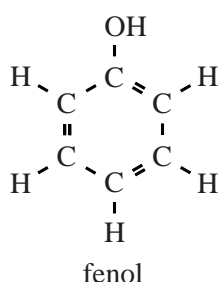
zone A: ...

zone B: ...

zone C: ...

## Bruin worden van appels

Waarom wordt een geschildte appel bruin? Nathalie zoekt het uit en vindt op de website van Food-info: De kleur wordt veroorzaakt door het bruine pigment melanine. Melanine wordt gevormd uit zogenoemde polyfenolen. Polyfenolen zijn stoffen die fenolgroepen bevatten. De structuurformule van fenol is hieronder weergegeven:



Sommige polyfenolen worden gevormd uit een bepaald aminozuur.

- 1p **29** Geef de naam van het aminozuur dat een fenolgroep bevat. Maak gebruik van Binas-tabel 67H1 of ScienceData-tabel 13.7 c.

De kleurreactie wordt gekatalyseerd door het enzym fenolase en kan als volgt vereenvoudigd worden weergegeven:



- 3p **30** Geef het energiediagram van reactie 1. Vermeld in het diagram de namen van de beginstoffen, de naam van het reactieproduct en geef de overgangstoestand aan. Ga ervan uit dat reactie 1 exotherm is.

De bruinkleuringsreactie vindt plaats doordat bij het snijden van appels plantencellen kapot gaan. Nathalie zoekt naar methodes om de bruinkleuring te voorkomen. Deze methodes berusten onder andere op de remming van de enzymwerking of het 'wegnemen' van zuurstof. Zo is bekend dat koelen en toevoegen van citroensap of suiker de bruinkleuring remmen. Nathalie gaat aan de slag. Ze snijdt appels in partjes en verdeelt ze in vier porties. In tabel 1 zijn haar experimenten samengevat.

