

Examen VWO

**2022**

tijdvak 1  
maandag 16 mei  
13.30 - 16.30 uur

**scheikunde**

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Dit examen bestaat uit 24 vragen.

Voor dit examen zijn maximaal 64 punten te behalen.

Voor elk vraagnummer staat hoeveel punten met een goed antwoord behaald kunnen worden.

Als bij een vraag een verklaring, uitleg, berekening of afleiding gevraagd wordt, worden aan het antwoord meestal geen punten toegekend als deze verklaring, uitleg, berekening of afleiding ontbreekt.

Geef niet meer antwoorden (redenen, voorbeelden e.d.) dan er worden gevraagd.

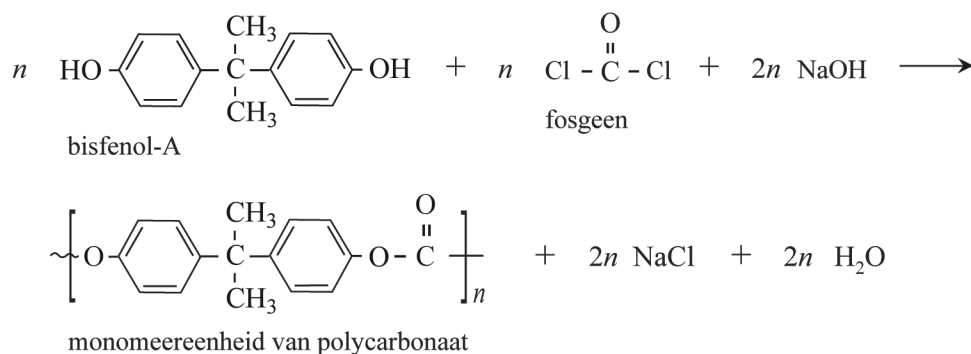
Als er bijvoorbeeld twee redenen worden gevraagd en je geeft meer dan twee redenen, dan worden alleen de eerste twee in de beoordeling meegeteld.

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.

**tabel**

stof	molaire massa (g mol <sup>-1</sup> )
bisfenol-A	228
fosgeen	98,9
NaOH	40,0
monomeereenheid polycarbonaat	254
NaCl	58,4
H <sub>2</sub> O	18,0

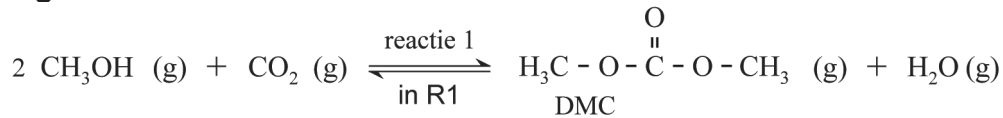
Dit productieproces heeft een rendement van 92%.

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.

Op de uitwerkbijlage bij vraag 7 is het blokschema van het nieuwe proces onvolledig weergegeven. 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  $\text{CH}_3\text{OH} (\text{g})$  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.

Op de uitwerkbijlage 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.

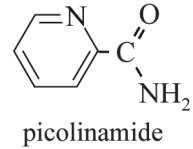
3p **3** Laat zien welke invloed de katalysator heeft op reactie 1, door op de uitwerkbijlage in beide energiediagrammen de ontbrekende energieniveaus met bijbehorende bijschriften te tekenen.

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  $\text{CO}_2$  en methanol wordt als twee aparte stofstromen gerecirculeerd naar R1. De overige stoffen worden gescheiden in afzonderlijke stromen, te weten DMC, cyanopyridine en picolinamide. In R1 ontstaan ook  $\text{NH}_3$  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.

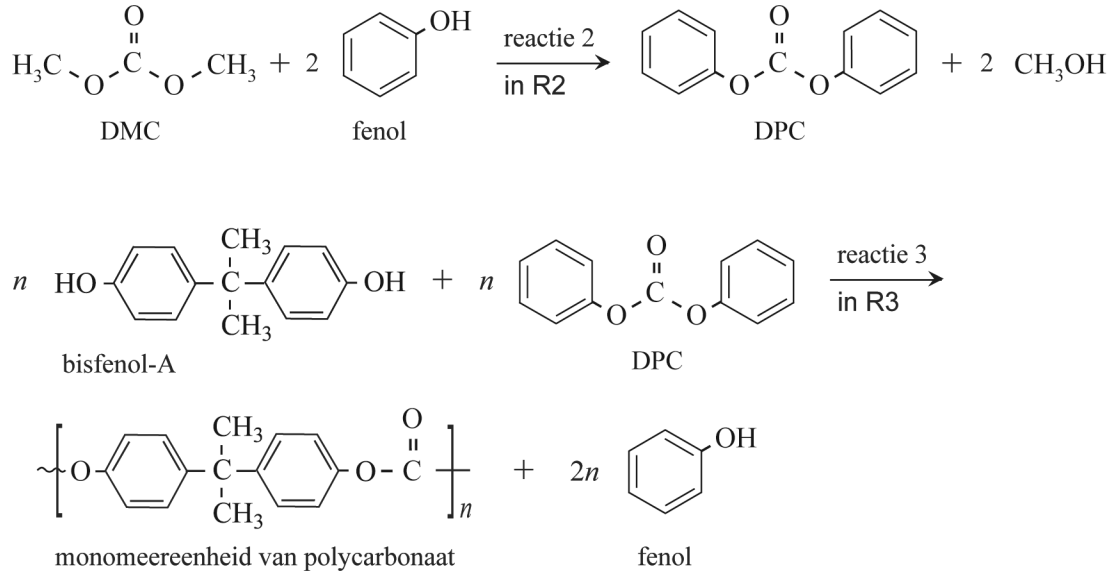
In R4 zijn de omstandigheden zo gekozen dat de reactieproducten als gescheiden stofstromen vrijkomen.

In het blokschema op de uitwerkbijlage ontbreken R4 en de stofstromen van cyanopyridine, picolinamide en water.

- 3p **7** Maak het blokschema op de uitwerkbijlage 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 tussen R1 en S1.
  - Geef de stoffen in het schema weer met de volgende cijfers:
    - 1 cyanopyridine
    - 2 picolinamide
    - 3 water

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.

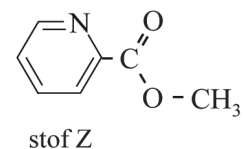
**figuur 3**



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 gerecicleerd naar R1. In een van de nevenreacties in R1 ontstaan ammoniak en stof Z.

De structuurformule van stof Z is hiernaast weergegeven.



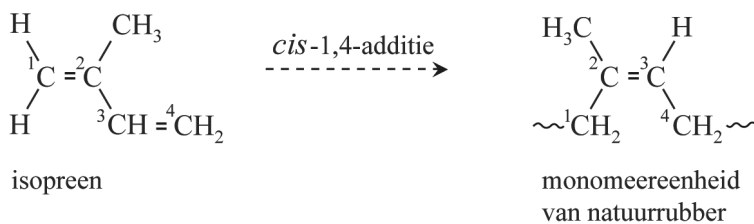
De stofstromen van methanol naar R1 zijn in het blokschema bij vraag 7 onvolledig weergegeven. Bij scheidingsprocessen treedt geen verlies van methanol op.

- 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-dieen). De vorming van natuurrubber uit isopreen is in figuur 1 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.

figuur 1

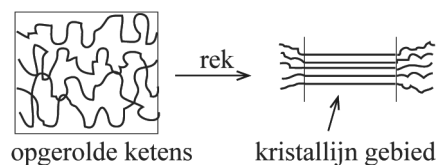


In autobanden wordt ook synthetisch poly-isopreen verwerkt. Bij de productie van synthetisch poly-isopreen worden polymeerketens gevormd waarbij de monomeer-eenheden op vier verschillende manieren in de keten zijn opgenomen. Behalve de *cis*-1,4-additie verlopen er namelijk ook andere additiereacties.

- 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 figuur 2 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 oprekken wordt gevormd kleiner.

figuur 2



- 2p 10 Voer de volgende opdrachten uit:
- Verklaar dat kristallijne gebieden zich kunnen vormen bij het oprekken van natuurrubber.
  - Verklaar dat bij synthetisch poly-isopreen het aandeel kristallijne gebieden bij het oprekken 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.

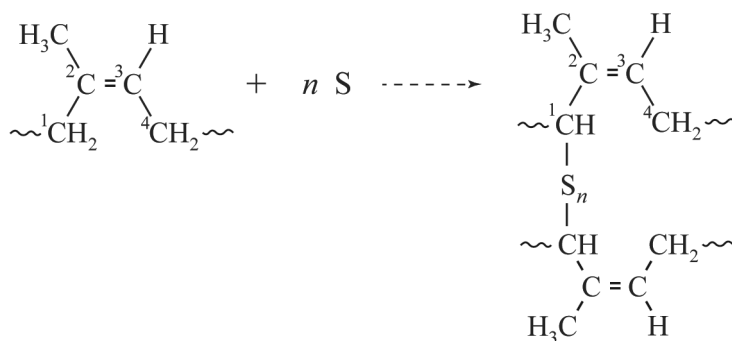
- 2p 11 Leg uit dat de aanwezigheid van kristallijne gebieden een autoband beter bestand tegen vervorming maakt. Gebruik hierbij begrippen op microniveau.

Behalve natuurrubber bevat een autoband ook SBR. SBR is een copolymeer 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 copolymeerketens 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 figuur 3 schematisch weergegeven.

**figuur 3**



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 op de uitwerkbijlage onvolledig weergegeven.

- 2p 13 Maak op de uitwerkbijlage de beide grensstructuren van het in het polymeer gevormde radicaal compleet.

**Ga verder op de volgende pagina.**

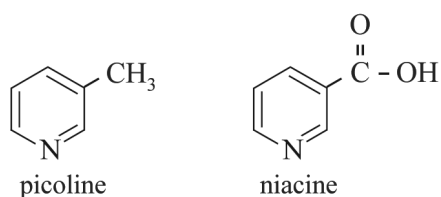


## Niacine

---

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**

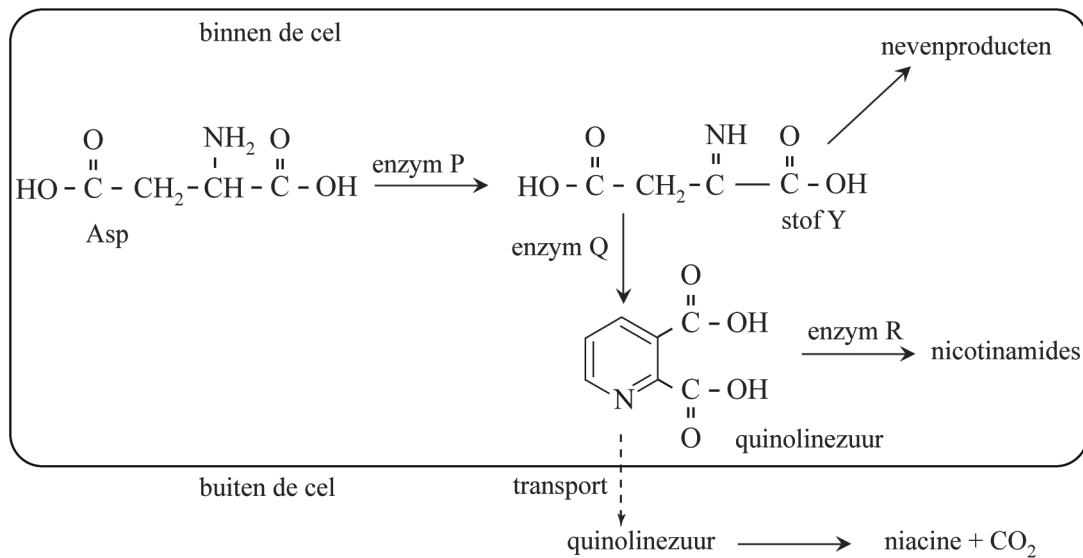


In de eerste stap wordt picoline gemaakt uit propanal, prop-2-enal en ammoniak. Prop-2-enal is een aldehyde met molecuulformule  $C_3H_4O$ . In deze reactie worden behalve picoline ook water en nog één andere stof gevormd.

- 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 nevenproducten. 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 moest veranderen om beide doelstellingen te realiseren. Op de uitwerkbijlage is deze tabel onvolledig weergegeven.

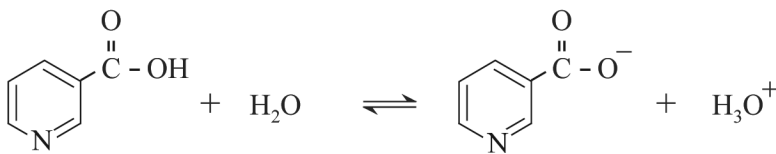
2p 15 Zet in de tabel op de uitwerkbijlage achter elk enzym een kruisje in de juiste kolom. Elke kolom moet hierbij één kruisje bevatten.

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  
CTGGGCCCAACCTCTCCTTAAATAACCATGCCA...

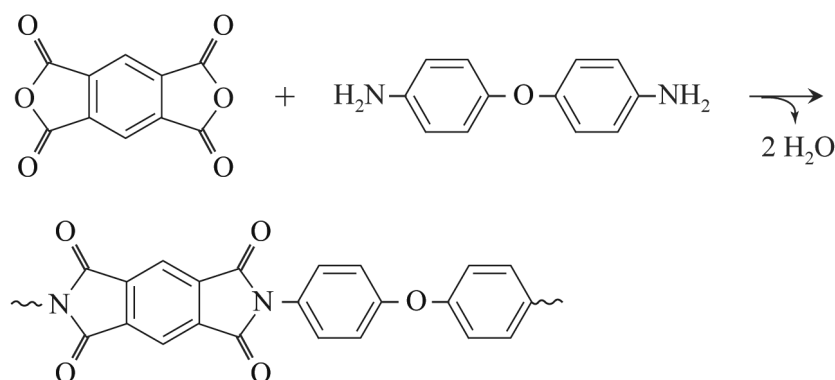
- 2p **19** Bepaal met behulp van figuur 4 het aantal aminozuureenheiten in de eiwitketen van het receptoreiwit.
- 4p **20** Teken met behulp van figuur 4 de structuurformule van het uiteinde van de eiwitketen van het receptoreiwit. Dit gedeelte moet bestaan uit de laatste twee aminozuureenheiten.

## Een pleister voor stroom

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



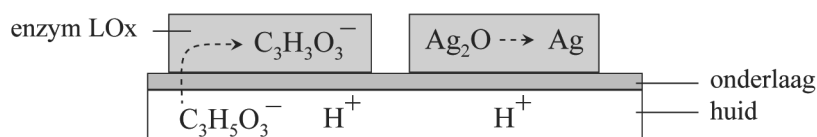
Op de uitwerkbijlage is het mechanisme van een van de stappen in de vorming van het polymeer onvolledig weergegeven.

- 2p 21 Maak op de uitwerkbijlage 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.

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



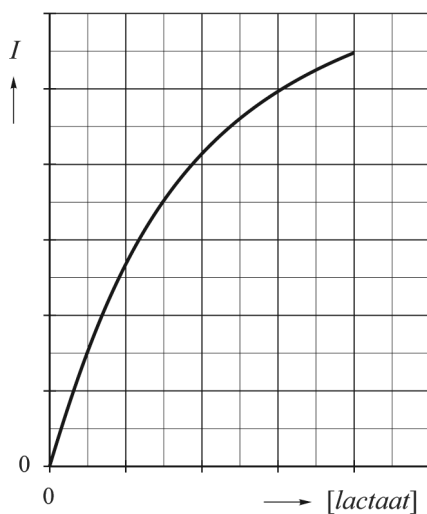
Tijdens lichamelijke inspanning ontstaat in de spieren melkzuur (2-hydroxypropaanzuur,  $C_3H_6O_3$ ). Een deel van het melkzuur wordt met het zweet uitgescheiden. In zweet bevinden zich hierdoor  $H^+$ -ionen en lactaat-ionen (de zuurrest-ionen van melkzuur).

Het enzym (LOx) maakt de omzetting van de lactaat-ionen naar  $C_3H_3O_3^-$ -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  $Ag_2O$  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  $1,2 \cdot 10^{-3} C$  per seconde getransporteerd. Een mol elektronen heeft een lading van  $9,65 \cdot 10^4 C$ .

- 4p 24 Bereken de massa in gram lactaat ( $C_3H_5O_3^-$ ) 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.**