

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Gebruik zo nodig het informatieboek Binas of ScienceData.

Dit examen bestaat uit 34 vragen.

Voor dit examen zijn maximaal 77 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.



Toiletpapier wordt bio-ethanol

Een rioolwaterzuiveringsinstallatie zuivert rioolwater voordat het in het oppervlaktewater wordt geloosd. Het rioolwater ondergaat daarbij een reinigungsstap om cellulosevezels te verwijderen die afkomstig zijn uit toiletpapier. Cellulosevezels lossen namelijk slecht op in water en zijn lastig afbreekbaar. Bovendien kunnen deze vezels nuttig worden gebruikt als grondstof voor de brandstof bio-ethanol.

- 2p 1 Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef de naam van de scheidingsmethode die kan worden toegepast om de cellulosevezels te verwijderen uit het rioolwater.
 - Geef aan op welk verschil in eigenschap deze methode berust.

De slechte oplosbaarheid van cellulosevezels in water wordt onder meer veroorzaakt doordat cellulosemoleculen onderling stevig zijn gebonden door middel van waterstofbruggen. Op de uitwerkbijlage zijn fragmenten van twee cellulosemoleculen in structuurformule weergegeven.

- 2p 2 Teken op de uitwerkbijlage twee waterstofbruggen die de twee cellulosemoleculen met elkaar verbinden.
Geef de waterstofbruggen weer met stippelijntjes (•••).

In deze opgave worden twee processen (A en B) vergeleken waarmee cellulose uit toiletpapier kan worden omgezet tot bio-ethanol.

In proces A wordt cellulose met stoom verhit bij een temperatuur van 700 °C. Hierbij ontstaat een mengsel van gassen. Nadat verontreinigingen zijn verwijderd, blijft syngas over. Syngas is een mengsel van waterstof en koolstofmono-oxide. Dit syngas wordt vervolgens door bacteriën in een waterige omgeving via reactie 1 en reactie 2 omgezet.



Hierbij wordt alle CO_2 die in reactie 1 ontstaat, bij reactie 2 gebruikt. Daardoor komt de totale reactie neer op de omzetting van syngas tot uitsluitend ethanol ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$) en water. De vergelijking van de totale reactie kun je opstellen door beide reacties in de juiste verhouding bij elkaar op te tellen.

- 3p 3 Voer de volgende opdrachten uit:
- Tel beide reacties in de juiste verhouding bij elkaar op.
 - Laat zien dat in de totale reactie uitsluitend ethanol en water ontstaan **en** vereenvoudig je vergelijking.



Proces B maakt gebruik van een samenwerking tussen een bacterie en een gist. Bij een temperatuur van 30 °C zorgt de bacterie voor de omzetting van cellulose met water tot onder andere het sacharide cellotriose (C₁₈H₃₂O₁₆). De gist zet vervolgens cellotriose om tot ethanol en CO₂ volgens reactie 3.



De productie van ethanol volgens reactie 3 heeft een lage atoomeconomie.

- 2p **4** Bereken de atoomeconomie voor de productie van ethanol volgens reactie 3.

Proces A en proces B kunnen met elkaar worden vergeleken volgens de uitgangspunten van de groene chemie. Een nadeel van proces B is de lage atoomeconomie van de productie van ethanol in reactie 3. Toch zijn er ook uitgangspunten die in het voordeel van proces B uitvallen.

- 1p **5** Geef een uitgangspunt van de groene chemie dat in het voordeel uitvalt van proces B ten opzichte van proces A. Licht je antwoord toe.
- Kies uit de uitgangspunten: 6, 8, 9 en 12.
 - Gebruik Binas-tabel 97F of ScienceData-tabel 38.6.



Koeien boeren methaan op

Koeien stoten gemiddeld 13 gram methaan per liter melk uit. Deze uitstoot heeft een even groot ongewenst effect op het klimaat als 1,24 kilogram koolstofdioxide.

- 1p 6 Geef de naam van dit ongewenste effect.

Methaan ontstaat door reacties die plaatsvinden tijdens de spijsvertering bij de koe. Als een koe gras eet, komt dit gras terecht in de maag die de pens wordt genoemd. Gras bevat cellulose. In de pens van een koe leven verschillende soorten micro-organismen die cellulose door hydrolyse afbreken tot onder meer monosachariden en disachariden. Op de uitwerkbijlage is de vergelijking van de hydrolyse van het uiteinde van een cellulosemolecuul onvolledig weergegeven.

- 3p 7 Maak op de uitwerkbijlage de reactievergelijking compleet van de hydrolyse van cellulose.
- Laat hierbij één disacharidemolecuul afsplitsen.
 - Gebruik structuurformules.

Een aantal soorten micro-organismen die in de pens leven, voorzien in hun energiebehoefte door de afbraak van de monosacharide glucose. Een voorbeeld hiervan is de reactie waarbij glucose en water worden omgezet tot azijnzuur, koolstofdioxide en waterstof.

- 4p 8 Geef de vergelijking van deze reactie in molecuulformules. Neem aan dat per molecuul glucose twee moleculen azijnzuur ontstaan.

De waterstof die in de pens ontstaat, wordt met behulp van het enzym MCR, dat in bepaalde micro-organismen voorkomt, vrijwel meteen omgezet tot methaan. Hierbij treedt reactie 1 op.



Methaan neemt in de pens van de koe een groot volume in.

- 4p 9 Bereken het volume in liters methaan dat gemiddeld per dag in een koe ontstaat. **Geef de uitkomst in het juiste aantal significante cijfers.** Gebruik hierbij de volgende gegevens:
- In een koe wordt gemiddeld per dag 165 gram H_2 omgezet tot CH_4 volgens reactie 1.
 - 1,0 mol methaan heeft (in een koe) een volume van 25 liter.



Koeien boeren methaan op of laten scheten van methaan, waardoor methaan in de lucht terechtkomt. Men kan de hoeveelheid methaan die een koe met boeren uitstoot, laten afnemen door aan het voer een kleine hoeveelheid van de stof 3-NOP toe te voegen.

Door de aanwezigheid van 3-NOP wordt het enzym MCR minder werkzaam.

- 1p **10** Geef een mogelijke verklaring voor het effect van 3-NOP op de werking van MCR.

In een onderzoek werd aangetoond dat 3-NOP in pensvloeistof (maagsap) langzaam maar volledig wordt omgezet tot het onschadelijke propaan-1,3-diol.

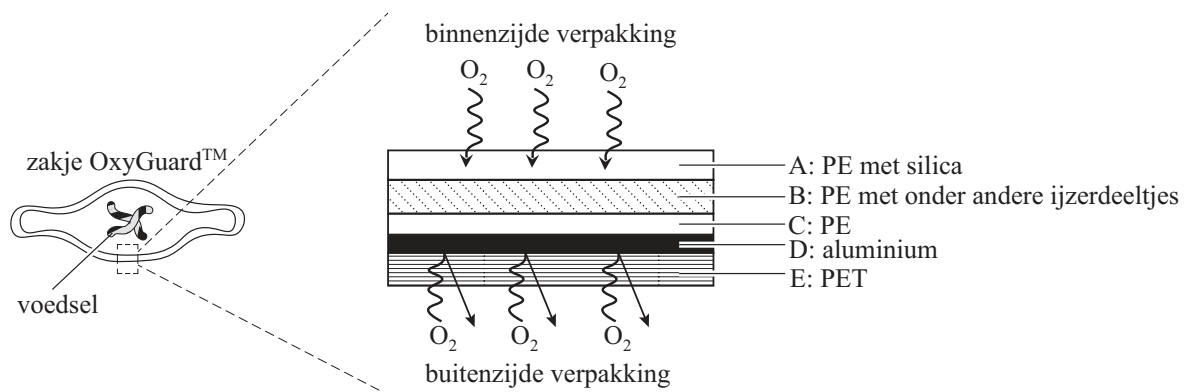
- 2p **11** Geef de structuurformule van propaan-1,3-diol.



Zuurstofvanger

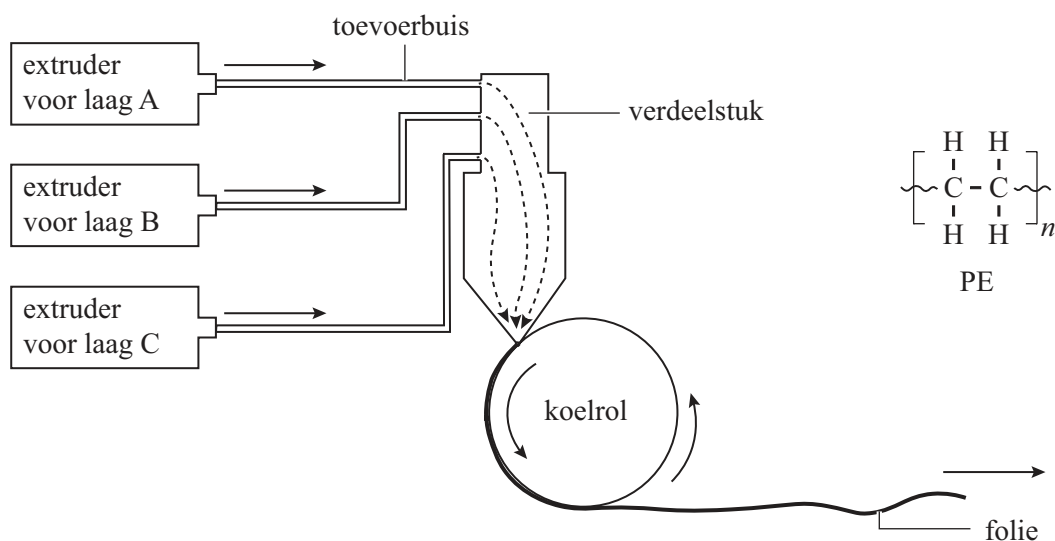
Om voorverpakt voedsel lange tijd te kunnen bewaren, is het belangrijk dat er zo weinig mogelijk zuurstof in de verpakking aanwezig is. Daarom is OxyGuard™ ontwikkeld: een verpakkingsmateriaal dat in staat is om zuurstof in de verpakking 'weg te vangen' en zuurstof buiten de verpakking erbuiten te houden. OxyGuard™ is opgebouwd uit verschillende lagen poly-etheen (PE), een laag aluminium en een laag poly-ethyleentereftalaat (PET). In figuur 1 is deze opbouw vereenvoudigd weergegeven.

figuur 1



Laag A, B en C (figuur 1) zijn gemaakt van PE. Deze lagen van PE worden gemaakt door extruderen met drie extruders. Hierna volgt een proces waarbij de gesmolten lagen door een verdeelstuk gaan en er een folie ontstaat die uit drie lagen bestaat. Figuur 2 toont deze processen en de structuurformule van PE.

figuur 2



2p 12 Leg uit dat PE verwerkt kan worden door extruderen. Gebruik in je uitleg de structuurformule van PE.



Laag B bevat behalve PE onder andere ijzerdeeltjes, waardoor deze laag de zuurstof die in de verpakking zit, kan 'wegvangen' volgens reactie 1.

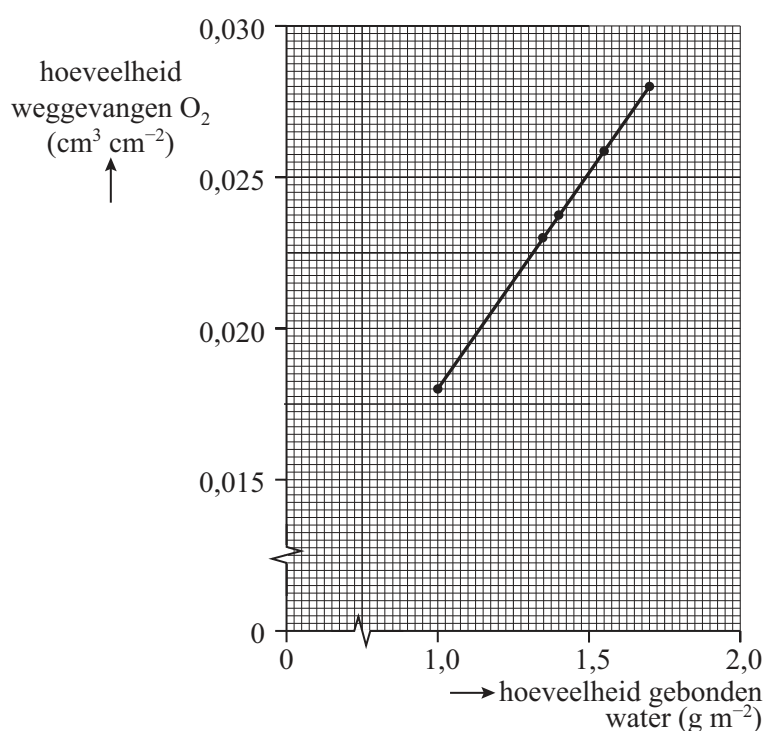


Deze reactie verloopt bij lage vochtigheid zeer langzaam. Daarom bevat laag A silica (SiO_2). Silica is nodig om water aan laag A te laten binden om zo reactie 1 in laag B te versnellen. PE zelf kan namelijk geen water binden.

- 2p 13 Leg uit dat de stof PE geen water kan binden. Gebruik in je uitleg de structuurformule van PE.

De hoeveelheid water die per m^2 verpakkingsmateriaal gebonden is, heeft invloed op de hoeveelheid zuurstof die weggevangen kan worden. In figuur 3 staat dit verband in een diagram weergegeven.

figuur 3



Onderzoekers maakten een rechthoekig zakje uit 2 stukjes van 6,5 bij 7,75 cm van het verpakkingsmateriaal Oxyguard™. Nadat het zakje was gevuld met een droog voedingsmiddel en was afgesloten, bevond zich nog $13,4 \text{ cm}^3$ lucht in het zakje. De lucht bevatte 20,9 volumeprocent zuurstof.

- 4p 14 Voer de volgende opdrachten uit:
- Bereken het volume zuurstof in cm^3 in de $13,4 \text{ cm}^3$ lucht in het zakje.
 - Laat met een berekening zien of het verpakkingsmateriaal al deze zuurstof kan wegvangen. Gebruik figuur 3 en het gegeven dat het gebruikte verpakkingsmateriaal $1,40 \text{ g m}^{-2}$ gebonden water bevatte. **Noteer de afgelezen waarde in drie significante cijfers.**



Laag D en E van OxyGuard™ dienen ter versteviging. Laag D, gemaakt van aluminium, laat geen zuurstof van buitenaf door. Laag E bestaat uit het ketenpolymeer PET. De ketens van PET zijn hydrofoob. PET en aluminium zijn beide niet poreus. Toch kan PET wel zuurstofmoleculen doorlaten en aluminium (Al) niet.

- 2p **15** Leg uit waarom aluminium geen zuurstofmoleculen kan doorlaten en PET wel. Gebruik in je uitleg de relevante bindingstypen. Noteer je antwoord als volgt:
bindingstype PET: ...
bindingstype Al: ...
uitleg: ...

Verpakkingen van OxyGuard™ kunnen na gebruik niet worden verwerkt tot nieuwe verpakkingen van OxyGuard™.

- 1p **16** Geef een reden waarom dat zo is.



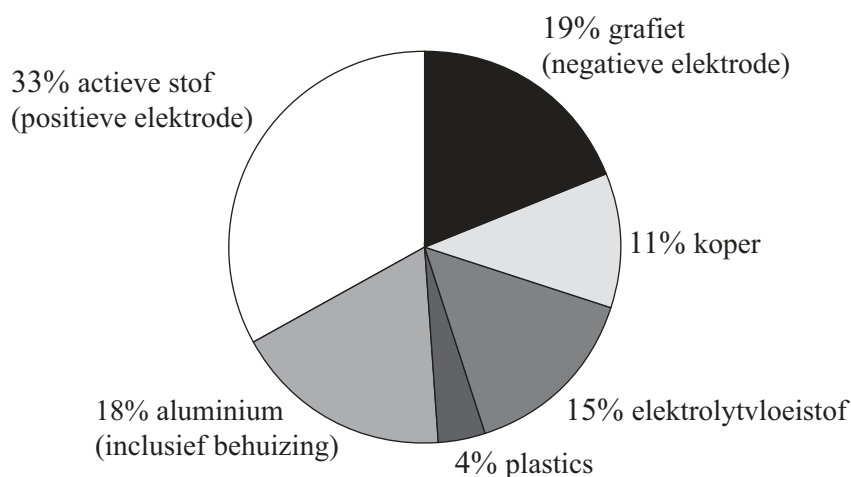
Lithium-ion-accu's recyclen

In steeds meer elektrische voertuigen zitten lithium-ion-accu's (LIA's). Daardoor neemt ook het afval van afgedankte LIA's toe. Afgedankte LIA's moeten apart ingezameld worden. De elektrolytvloeistof bevat namelijk de stof LiPF_6 , die gemakkelijk reageert met water. Bij deze reactie ontstaan lithiumfluoride en de giftige stoffen waterstoffluoride (HF) en fosforylfluoride (POF_3).

- 3p 17 Geef de vergelijking van deze reactie van LiPF_6 met water.

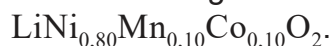
De ingezamelde LIA's kunnen worden gerecycled, om zo min mogelijk metalen verloren te laten gaan. Figuur 1 toont de samenstelling van een bepaald type LIA met aluminium behuizing.

figuur 1



De positieve elektrode van dit type LIA bevat een actieve stof met lithium-ionen, nikkel-ionen, mangaan-ionen en kobalt-ionen.

De verhoudingsformule kan als volgt worden genoteerd:



- 2p 18 Bereken de molaire massa in gram per mol van $\text{LiNi}_{0,80}\text{Mn}_{0,10}\text{Co}_{0,10}\text{O}_2$.

Afgedankte LIA's zijn vaak nog deels opgeladen. Voordat de LIA's worden gerecycled, worden ze ontladen. Dit kan door ze in een oplossing van natriumchloride in water te leggen. Beide elektroden moeten contact maken met de oplossing.

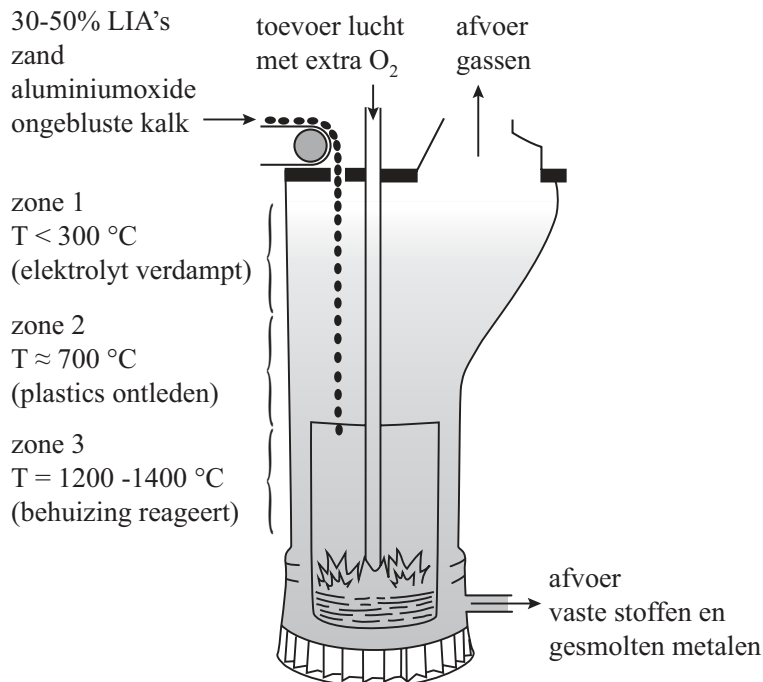
- 2p 19 Leg uit waarom de LIA niet ontladend in zuiver water, maar wel in water met opgelost natriumchloride. Verwerk in je uitleg het soort deeltjes dat hierbij een rol speelt.



Het Belgische bedrijf Umicore heeft een proces ontwikkeld om nikkel en kobalt terug te winnen uit LIA's. Dit proces maakt gebruik van een oven met drie temperatuurzones (vereenvoudigd weergegeven in figuur 2).

De LIA's worden samen met zand, aluminiumoxide en ongebluste kalk van bovenaf in de oven gebracht. In elke zone vindt een ander onderdeel van het recyclingproces plaats. De gassen die in zone 1, 2 en 3 ontstaan, stijgen op en worden verzameld voor verdere reiniging. Gedurende het verblijf in de oven zakken vaste stoffen en vloeistoffen naar beneden en komen ze in een steeds hetere omgeving.

figuur 2



Op de uitwerkbijlage staat een tabel over aluminium.

- 2p 20 Vul de vier ontbrekende gegevens aan in de tabel op de uitwerkbijlage **en** geef aan in welke fase de stof aluminium zich bevindt in zone 2. Gebruik figuur 2 en Binas-tabel 40a of ScienceData-tabel 8.1.



De hoge temperatuur in zone 3 wordt bereikt door de exotherme reactie tussen aluminium en zuurstof (reactie 1).



Op de uitwerkbijlage is het energiediagram van reactie 1 onvolledig weergegeven. In dit energiediagram ontbreekt het niveau van het reactieproduct.

- 3p 21 Voer op de uitwerkbijlage de volgende opdrachten uit:
- Bereken de reactiewarmte (ΔE) in J per 4 mol aluminium van reactie 1. Gebruik Binas-tabel 57 of ScienceData-tabel 9.2.
 - Teken in het energiediagram het ontbrekende energieniveau van aluminiumoxide, met bijschrift.
 - Geef ΔE op de juiste plaats in het energiediagram aan.

Aan de onderkant van de oven stroomt een mengsel van vaste stoffen (Li_2CO_3 en Al_2O_3) en een vloeibare legering van koper, kobalt en nikkel naar buiten. De vaste stoffen drijven op de vloeibare legering en kunnen gescheiden worden van de legering. Dit kan worden opgevat als bezinken.

- 1p 22 Geef aan op welk verschil in stofeigenschap de scheidingsmethode bezinken berust.

De legering van koper, kobalt en nikkel wordt vervolgens na enkele extractie-stappen gebruikt om nieuwe actieve stof voor de positieve elektrode te maken. Een voorbeeld van zo'n stap is een behandeling met zoutzuur. Hierbij reageert zoutzuur met kobalt tot waterstofgas en een oplossing met Co^{2+} -ionen en Cl^- -ionen.

- 3p 23 Geef de vergelijking van deze reactie van zoutzuur met kobalt.

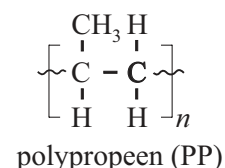


Plastic wordt olie

Amerikaanse onderzoekers hebben een nieuwe methode bedacht om moeilijk recyclebaar plasticafval om te zetten tot olie. Voor het testen van hun methode gebruikten de onderzoekers polypropreen (PP, zie figuur 1).

De onderzoekers gebruikten een proces waarin bij hoge temperatuur (380 - 450 °C) en hoge druk steeds 1,0 g van de vaste stof PP in een reactor in contact wordt gebracht met water. Het water reageert hierbij niet. Onder de genoemde omstandigheden in de reactor ontleden PP-moleculen tot kleinere moleculen. Het gebruikte batchproces bestaat uit de volgende stappen:

figuur 1



- stap 1: PP en water worden in een reactor gebracht. Door vervolgens de temperatuur en de druk te verhogen ondergaat PP diverse reacties.
- stap 2: De reactor wordt afgekoeld en de ontstane gassen worden afgevoerd. In de reactor ontstaat een mengsel van olie, water en een vaste stof. Deze vaste stof bestaat ook uit PP. Maar de gemiddelde molecuulmassa is lager dan het PP dat de reactor ingaat.
- stap 3: Het reactormengsel wordt in scheidingsruimte S1 gefiltreerd, waardoor de vaste stof wordt afgescheiden.
- stap 4: Het filtraat wordt in scheidingsruimte S2 verder gescheiden.

Op de uitwerkbijlage is dit proces gedeeltelijk weergegeven.

- 3p **24** Maak het blokschema op de uitwerkbijlage compleet.
- Teken de twee ontbrekende blokken van scheidingsruimten S1 en S2.
 - Teken de pijlen van de ontbrekende stofstromen.
 - Noteer de nummers van de onderstaande stoffen bij de juiste pijlen:
 - 1 gassen
 - 2 olie
 - 3 vaste stof
 - 4 water
 - Sommige nummers moet je meer dan één keer gebruiken.

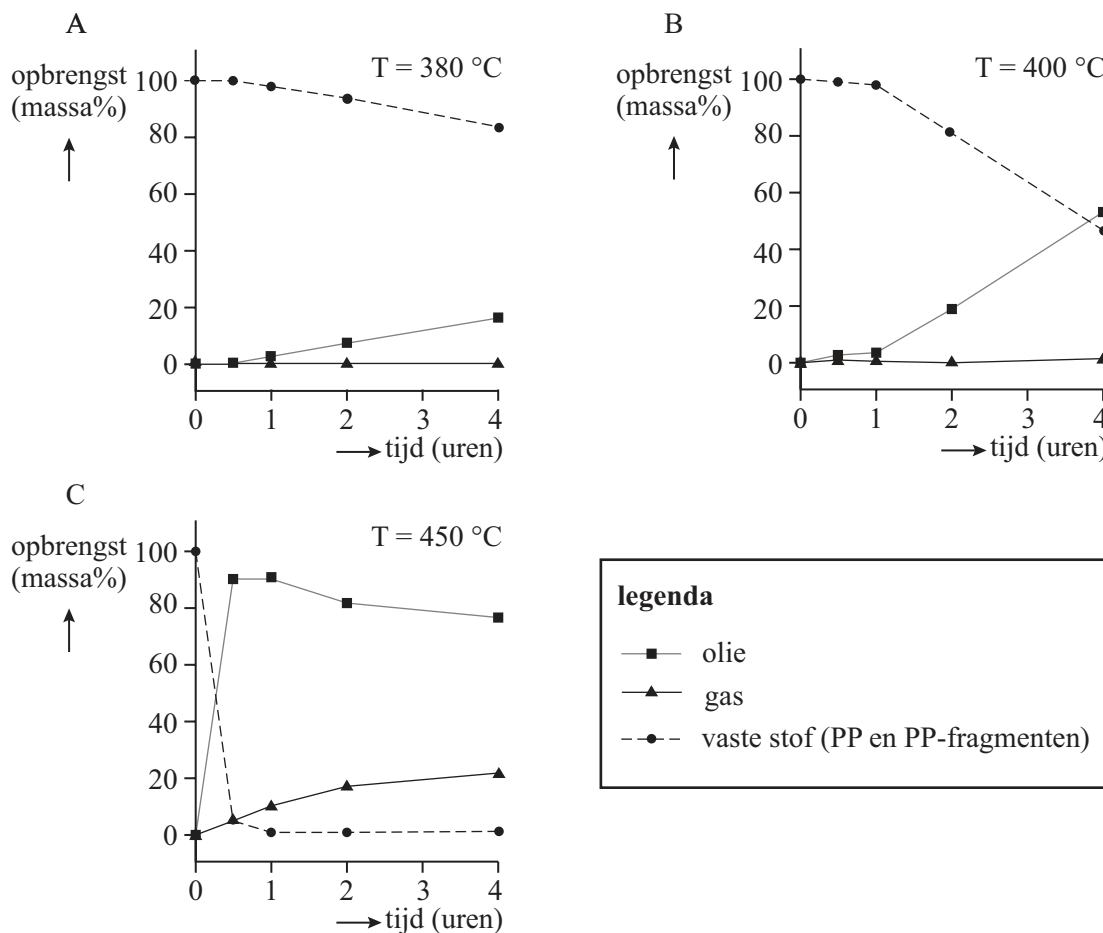
De onderzoekers wilden weten of de vaste stof (PP) die S1 verlaat, kan worden gebruikt om de olie-opbrengst te vergroten.

- 2p **25** Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef aan welke handeling(en) de onderzoekers moeten verrichten om te onderzoeken of de vaste stof gebruikt kan worden om de olie-opbrengst te vergroten.
 - Geef aan welk resultaat zou betekenen dat de vaste stof gebruikt kan worden om de olie-opbrengst te vergroten.



Om de invloed te onderzoeken van reactietemperatuur en reactietijd op de opbrengst en samenstelling van de reactieproducten, werden verschillende experimenten uitgevoerd bij temperaturen tussen 380 °C en 450 °C en reactietijden tussen 0,5 en 4 uur. Na afloop van elk experiment werd de opbrengst aan vaste stof, olie en gassen bepaald. In figuur 2 zijn de resultaten in drie diagrammen weergegeven.

figuur 2



- 3p **26** Verklaar aan de hand van het botsende-deeltjesmodel het verschil in olie-opbrengst tussen diagram A en B na een reactietijd van 4 uur.

Uit de resultaten in diagram C leiden de onderzoekers af dat bij 450 °C **en** een langere reactietijd een deel van de gevormde olie ontleedt.

- 2p **27** Leg dit uit aan de hand van diagram C.

Een bestanddeel van de ontstane olie is hexaan. Hexaan kan ontleden tot etheen en ethaan.

- 3p **28** Geef de reactievergelijking in molecuulformules voor de ontleding van hexaan waarbij uitsluitend de reactieproducten etheen en ethaan ontstaan.



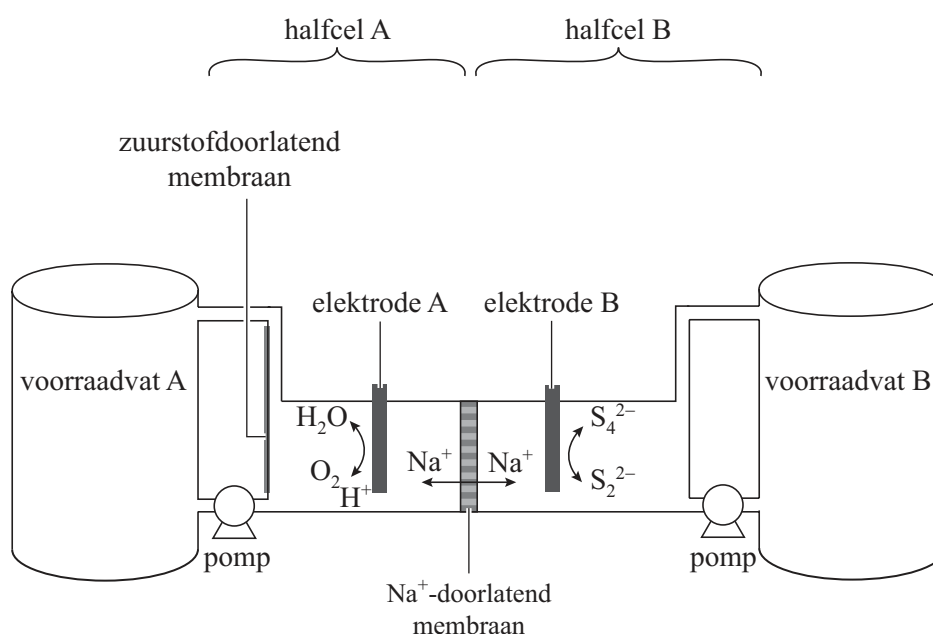
Ademende flowbatterij

Steeds meer elektrische energie wordt duurzaam opgewekt, bijvoorbeeld met behulp van zonnecellen. Hierdoor stijgt de vraag naar betaalbare opslag van energie. Een Amerikaans onderzoeksteam onder leiding van professor Chiang heeft daarom een 'flowbatterij' ontwikkeld op basis van goedkope stoffen zoals natriumpolysulfide (Na_2S_4).

- 2p 29 Geef het aantal protonen en elektronen in het S_4^{2-} -ion.
Noteer je antwoord als volgt:
aantal protonen: ...
aantal elektronen: ...

In figuur 1 is de flowbatterij schematisch weergegeven.

figuur 1



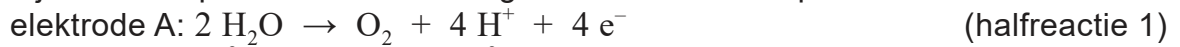
De twee halfcellen A en B zijn ieder verbonden met een voorraadvat en zijn van elkaar gescheiden door een membraan dat Na^+ -ionen doorlaat. Tijdens het gebruik van de flowbatterij worden de oplossingen uit de voorraadvaten langs de elektroden gepompt (de 'flow'). De elektroden reageren zelf niet mee. Wanneer de batterij nog niet is opgeladen, bevatten halfcel A en het daarop aangesloten voorraadvat A een oplossing van natriumsulfaat en zwavelzuur. Halfcel B en het daarop aangesloten voorraadvat B bevatten in niet opgeladen toestand een natriumpolysulfide-oplossing.



Om nevenreacties te voorkomen, wordt de pH in halfcel B verhoogd. Hiervoor is 3,0 M natriumhydroxide-oplossing gebruikt.

- 2p 30 Bereken de pH van de gebruikte natriumhydroxide-oplossing ($T = 298 \text{ K}$).

Tijdens het opladen treden de volgende halfreacties op:



- 1p 31 Geef de vergelijking van de totale reactie die optreedt tijdens het opladen van de flowbatterij.

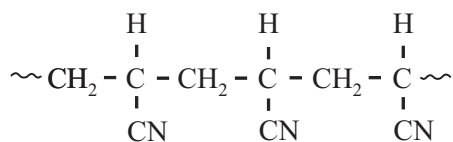
- 2p 32 Leg uit of de pH van de oplossing bij elektrode A door het opladen hoger of lager wordt.

Chiang stelt dat deze batterij als het ware zuurstof in- en uitademt.

- 2p 33 Leg uit of de batterij tijdens het leveren van energie zuurstof inademt of juist uitademt. Doe dit aan de hand van een gegeven uit de halfreacties.

Een van de halfcellen van de flowbatterij bevat een membraan waardoor zuurstof kan passeren. Dit membraan bestaat onder andere uit een poreuze koolstoflaag die is gemaakt door het polymeer PAN te verkolen. In figuur 2 is de structuurformule van een gedeelte uit het midden van een PAN-molecuul weergegeven. De bindingsstreepjes tussen het C-atoom en het N-atoom zijn niet weergegeven.

figuur 2



PAN

- 3p 34 Geef de structuurformule van het monomeer waaruit PAN is gevormd. Zorg dat ook de ontbrekende bindingsstreepjes tussen het C-atoom en het N-atoom zijn weergegeven.

Bronvermelding

Een opsomming van de in dit examen gebruikte bronnen, zoals teksten en afbeeldingen, is te vinden in het bij dit examen behorende correctievoorschrift.

