

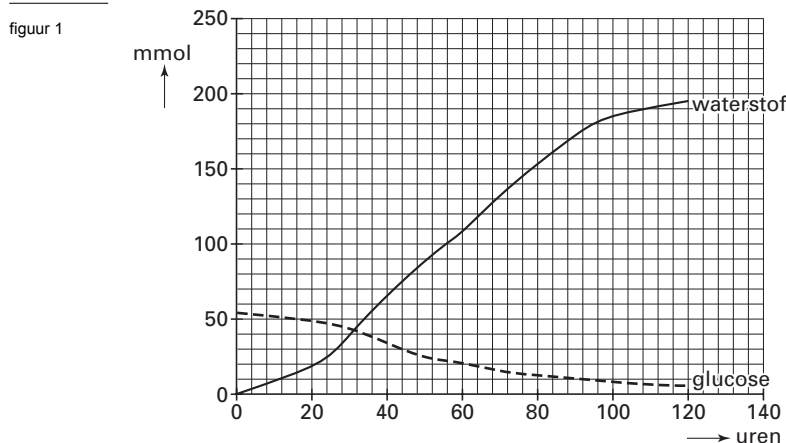
Voor dit examen zijn maximaal 68 punten te behalen; het examen bestaat uit 26 vragen.  
Voor elk vraagnummer is aangegeven hoeveel punten met een goed antwoord behaald kunnen worden.  
Bij dit examen hoort een informatieblad.

Als bij een vraag een verklaring, uitleg, berekening of afleiding vereist is, 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.

Koolstofdioxide draagt bij tot een versterkt broeikaseffect.

De hoeveelheid koolstofdioxide in de atmosfeer neemt langzaam maar zeker toe. De toename van de hoeveelheid koolstofdioxide door de jaren heen wordt voor een groot deel veroorzaakt door de verbranding van fossiele brandstoffen (steenkool, aardolie, aardgas) om energie op te wekken. Bij de verbranding van waterstof ontstaat geen koolstofdioxide. Daarom is waterstof een aantrekkelijk alternatief om als brandstof te worden gebruikt, vooral wanneer die waterstof uit biomateriaal is ontstaan. Daarom onderzoekt men de productie van waterstof uit biomateriaal. Bij dit onderzoek wordt als biomateriaal een oplossing van glucose ( $C_6H_{12}O_6$ ) gebruikt. Daarbij worden twee reactoren gebruikt. In reactor 1 worden glucose en water omgezet tot azijnzuur ( $CH_3COOH$ ), koolstofdioxide en waterstofgas. Deze reactie verloopt onder invloed van speciaal geselecteerde bacteriën. De hoeveelheid glucose die wordt omgezet in reactor 1 en de hoeveelheid waterstof die daarbij ontstaat, zijn nauwkeurig gemeten. De resultaten staan in figuur 1. Het blijkt dat de molverhouding tussen de omgezette glucose en de gevormde waterstof uiteindelijk 1 : 4 is.



- 2p **1** ☐ Leid uit figuur 1 af dat de molverhouding tussen de omgezette glucose en de gevormde waterstof uiteindelijk 1 : 4 is.

Ook de molverhouding waarin de gassen koolstofdioxide en waterstof in reactor 1 ontstaan, is een belangrijk gegeven. Door middel van een terugtitratie kan worden bepaald hoeveel koolstofdioxide het gasmengsel bevat.

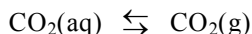
- 4p **2** ☐ Beschrijf hoe met behulp van een terugtitratie de hoeveelheid koolstofdioxide in een mengsel van koolstofdioxide en waterstof kan worden bepaald. Geef in de beschrijving onder meer de naam (namen) van de eventueel gebruikte stof(fen) of oplossing(en) en welke gegevens van tevoren bekend moeten zijn.

Bij een bepaling van deze molverhouding blijkt dat in het gasmengsel het aantal mol waterstofgas twee keer zo groot is als het aantal mol koolstofdioxide.

- 3p **3** ☐ Leid met behulp van beide gegeven molverhoudingen de reactievergelijking af voor de omzetting van glucose en water tot azijnzuur, koolstofdioxide en waterstof. Gebruik in je reactievergelijking molecuulformules.

De inhoud van reactor 1 wordt in een tweede reactor geleid, terwijl de bacteriën in reactor 1 achterblijven. In deze tweede reactor, die de fotoreactor wordt genoemd, zetten andere bacteriën, onder invloed van licht, azijnzuur samen met water om tot koolstofdioxide en waterstof.

Van de gevormde hoeveelheid koolstofdioxide blijft in de fotoreactor ruim 60% in oplossing. In reactor 1 blijft van de gevormde hoeveelheid koolstofdioxide slechts een verwaarloosbare hoeveelheid in oplossing. Dit grote verschil in oplosbaarheid wordt onder andere veroorzaakt doordat de concentratie van gasvormig  $\text{CO}_2$  in reactor 1 anders is dan de concentratie van gasvormig  $\text{CO}_2$  in de fotoreactor. Dit bereikt men door in reactor 1 een andere druk in te stellen dan in de fotoreactor. Met behulp van het verdelingsevenwicht tussen opgelost koolstofdioxide,  $\text{CO}_2(\text{aq})$ , en gasvormig koolstofdioxide,  $\text{CO}_2(\text{g})$ , kan men het verschil in oplosbaarheid van koolstofdioxide verklaren. Dit evenwicht kan als volgt worden weergegeven:

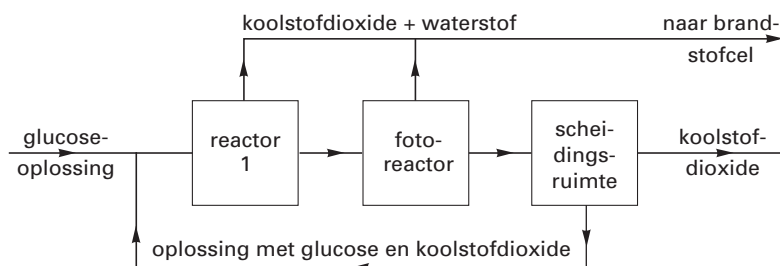


De evenwichtsvoorwaarde voor dit evenwicht luidt:  $\frac{[\text{CO}_2(\text{g})]}{[\text{CO}_2(\text{aq})]} = K$ .

- 3p **4** ☐ Leg mede aan de hand van de evenwichtsvoorwaarde uit of, bij dezelfde temperatuur,  $[\text{CO}_2(\text{g})]$  in reactor 1 groter of kleiner moet zijn dan  $[\text{CO}_2(\text{g})]$  in de fotoreactor.

De gasmengsels die uit reactor 1 en uit de fotoreactor komen, worden samengevoegd en gebruikt voor de opwekking van elektrische stroom in een brandstofcel. Men wil deze productie van waterstof uitvoeren in een continu proces. Daarbij wordt 30% van de in reactor 1 ingeleide glucose omgezet; in de fotoreactor wordt alle azijnzuur omgezet. De oplossing die uit de fotoreactor komt en nog glucose en koolstofdioxide bevat, wordt in een scheidingsruimte geleid. Daar wordt een deel van de opgeloste koolstofdioxide verwijderd en afgevoerd. De oplossing die dan overblijft, wordt teruggevoerd naar reactor 1. Hieronder is het bovenbeschreven continue proces in een blokschema weergegeven:

blokschema



Wanneer niet alleen de omzetting van glucose in reactor 1, maar ook de omzetting van azijnzuur in de fotoreactor niet volledig zou zijn, kan het proces niet continu verlopen op de manier die hierboven beschreven is. Een leerling denkt dat je in dat geval een deel van de vloeistof die wordt gerecirculeerd, moet aftappen om een continu proces te krijgen.

- 2p **5** ☐ Leg uit dat, wanneer in beide reactoren de omzettingen niet volledig zouden zijn, het proces niet continu kan verlopen op de manier die hierboven beschreven is.
- 2p **6** ☐ Ben jij het eens met de leerling die denkt dat je dan een deel van de gerecirculeerde vloeistof moet aftappen? Geef een verklaring voor je antwoord.

Het is de bedoeling om in de toekomst, na de onderzoeksfase, elektrische stroom op te wekken met behulp van waterstof dat geproduceerd is uit snel groeiende planten (bijvoorbeeld olifantsgras). Dat zal een gunstig effect hebben op het broeikaseffect. Zelfs als alle koolstofdioxide die bij deze productie van waterstof ontstaat, in de atmosfeer terecht zou komen, is deze methode een enorme verbetering ten opzichte van het opwekken van elektrische stroom met fossiele brandstoffen.

- 2p **7** ☐ Leg dit uit.

Distikstofmonooxide (N<sub>2</sub>O) is een stof die bestaat uit lineaire moleculen. De volgorde van de drie atomen in een molecuul distikstofmonooxide is NNO.

3p **8** □ Geef een elektronenformule van N<sub>2</sub>O. Zet eventuele ladingen bij de juiste atomen.

Volgens Binas-tabel 57 A is de vormingswarmte (vormingsenthalpie) van N<sub>2</sub>O(g) positief:  $+0,815 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ . Dit betekent dat voor een bepaalde reactie waarbij distikstofmonooxide gevormd wordt warmte moet worden toegevoerd. Bij de omgekeerde reactie komt dan warmte vrij. Toch treedt die omgekeerde reactie niet op bij kamertemperatuur (298 K). Dit is te verklaren met behulp van een energiediagram dat het verloop van die reactie weergeeft.

2p **9** □ Geef de vergelijking van de bedoelde vormingsreactie van N<sub>2</sub>O.

4p **10** □ Teken een energiediagram (enthalpiediagram) dat het verloop van de *omgekeerde reactie* van vraag 9 weergeeft en leg aan de hand hiervan uit waarom deze omgekeerde reactie niet optreedt bij kamertemperatuur.

Zet in het energiediagram onder andere:

- de formules van de beginstof(fen) en de eindstof(fen) op de juiste plaats;
- de waarde van de reactiewarmte van deze omgekeerde reactie.

Het gas distikstofmonooxide ontstaat onder andere bij een industrieel productieproces van hexaandizuur (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>4</sub>). In dit proces wordt hexaandizuur bereid door cyclohexanol (C<sub>6</sub>H<sub>11</sub>OH) met geconcentreerd salpeterzuur te laten reageren.

Omdat distikstofmonooxide een broeikasgas is en als katalysator werkt bij de afbraak van de ozonlaag, is de productie van hexaandizuur uit cyclohexanol en salpeterzuur uitvoerig onderzocht.

Behalve bovenbedoelde reactie treden in de reactor tal van nevenreacties op, waarbij de gasen CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, NO en NO<sub>2</sub> ontstaan.

Om na te gaan hoeveel mol distikstofmonooxide wordt gevormd per mol omgezet cyclohexanol liet men 0,10 mol cyclohexanol reageren met geconcentreerd salpeterzuur totdat alle cyclohexanol was omgezet. Behalve hexaandizuur ontstond daarbij een gasmengsel. Dit gasmengsel, dat dus bestaat uit de stoffen CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub> en N<sub>2</sub>O, werd onderzocht.

Eerst werd het gasmengsel afgekoeld tot 90 K. Daarbij bleven twee stoffen (CO en N<sub>2</sub>) in gasvorm over. Deze stoffen werden verwijderd.

De andere vier stoffen liet men weer verdampen en de volgende twee bewerkingen ondergaan:

- 1 Zuurstof wordt toegevoerd. Alle toegevoerde zuurstof reageert met alle aanwezige NO tot NO<sub>2</sub>. NO<sub>2</sub> geeft een bruine kleur aan het gasmengsel. Als de kleur niet meer donkerder wordt, stopt men met de toevoer van zuurstof.
- 2 Het gasmengsel wordt afgekoeld tot een bepaalde temperatuur.

Het volume van het dan nog aanwezige gas is 1,8 dm<sup>3</sup> (omgerekend naar omstandigheden waarbij  $V_m = 24 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$ ).

Als bij de tweede bewerking het gasmengsel tot de juiste temperatuur wordt afgekoeld, kan berekend worden hoeveel mol distikstofmonooxide per mol omgezet cyclohexanol ontstaat. In onderstaande tabel staan gegevens die voor het onderzoek relevant zijn:

stof	N <sub>2</sub>	CO	NO	N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>
kookpunt	77 K	82 K	121 K	185 K	195 K <sup>1)</sup>	294 K

<sup>1)</sup> sublimeert

3p **11** □ Leg uit tussen welke grenzen de temperatuur na de tweede bewerking moet liggen.

2p **12** □ Bereken hoeveel mol distikstofmonooxide per 1,0 mol omgezet cyclohexanol ontstaat.

Als men ook de hoeveelheid NO in het gasmengsel bepaalt, kan men tevens berekenen hoeveel mol NO per mol omgezet cyclohexanol ontstaat.

- 2p **13** ☐ Leg uit welke meting men tijdens de eerste bewerking moet doen om de hoeveelheid NO in het gasmengsel te bepalen.

## Linezolide

Aan de Universiteit van Nijmegen is een nieuwe methode ontwikkeld om in korte tijd nieuwe stoffen te bereiden die mogelijk als antibioticum kunnen worden gebruikt. De onderzoekers hebben hierover gepubliceerd in het artikel "Race tegen resistentie". De tekst op het informatieblad dat bij dit examen hoort, bevat delen uit dit artikel. Lees deze tekst en beantwoord vervolgens onderstaande vragen.

De vaste drager bestaat uit een polymeer waaraan de  $\text{SO}_2\text{Cl}$  groepen zijn gebonden. Uit een gegeven dat in figuur 2 van het informatieblad is vermeld, is op te maken welk polymeer dit is.

- 3p **14** ☐ Geef de structuurformule van een fragment uit het midden van een molecuul van dit polymeer (zonder  $\text{SO}_2\text{Cl}$  groepen). Dit fragment moet uit drie monomeereenheden bestaan.

In de eerste stap (zie figuur 2 van het informatieblad) reageert de primaire OH groep van het dialcohol met de  $\text{SO}_2\text{Cl}$  groep. In een nevenreactie kan de secundaire OH groep van een molecuul dialcohol in plaats van de primaire OH groep met een  $\text{SO}_2\text{Cl}$  groep reageren. In de tweede stap van de nevenreactie wordt een molecuul van het isocyanaat aan de primaire OH groep gekoppeld op dezelfde manier als aan de secundaire OH groep (zie figuur 2 van het informatieblad). Er ontstaat in dat geval ook een product met een zogenoemde lineaire structuur die geschikt is om ringsluiting en afsplitsing te ondergaan. De vorming van dit ongewenste bijproduct wordt zoveel mogelijk voorkomen door een geschikte keuze van oplosmiddel en base.

- 3p **15** ☐ Geef de structuurformule van het ongewenste bedoelde lineaire product dat na de koppeling van het isocyanaat in stap 2 wordt verkregen. Begin de structuurformule met -  $\text{SO}_2$  -, teken in de structuurformule alle koolstofatomen en waterstofatomen, geef de eerste zijgroep aan met  $Z_1$  en de tweede zijgroep met  $Z_2$ .

Een Linezolidemolecuul heeft een asymmetrisch koolstofatoom. Er bestaat dus een optische isomeer van Linezolide.

Het is gebleken dat Linezolide bacteriedodende werking bezit. De optische isomeer van Linezolide heeft geen bacteriedodende werking. Uitgaande van een gegeven uit het artikel, dat de bacteriedodende werking van Linezolide verklaart, probeert een leerling een hypothese op te stellen waarmee hij verklaart hoe het komt dat de ene optische isomeer bacteriedodende werking bezit en de andere optische isomeer niet.

- 1p **16** ☐ Geef het gegeven in het artikel dat de bacteriedodende werking van Linezolide verklaart.  
2p **17** ☐ Formuleer, uitgaande van dat gegeven, een hypothese waarmee verklaard kan worden dat de ene optische isomeer bacteriedodende werking bezit en de andere optische isomeer niet.

Bij de synthese van verbindingen met een asymmetrisch koolstofatoom ontstaan vaak mengsels van optische isomeren. Bij de in het artikel beschreven bereiding van Linezolide ontstaat echter slechts één optische isomeer. Dit heeft men bereikt door een juiste keuze van één van de beginstoffen.

- 1p **18** ☐ Welke beginstof wordt hier bedoeld?  
2p **19** ☐ Leg uit hoe men door een juiste keuze van deze beginstof heeft bereikt dat één optische isomeer ontstaat.

Volgens het artikel verlopen reacties aan de vaste drager vaak langzamer dan reacties in oplossing. Met behulp van een oplosbaar sulfonylchloride kan worden onderzocht of in dit geval de reactie aan de vaste drager eveneens langzamer verloopt dan in oplossing.

3p **20** ☐ Beschrijf hoe je zo'n onderzoek zou moeten uitvoeren.

In stap 1 wordt het dialcohol in overmaat toegevoegd. In stap 2 wordt het isocynaat eveneens in overmaat toegevoegd. Om te vermijden dat het niet-gereageerde dialcohol en isocynaat het eindproduct verontreinigen, zou men kunnen volstaan met een filtratie na stap 2. Toch wordt ook na stap 1 een filtratie uitgevoerd.

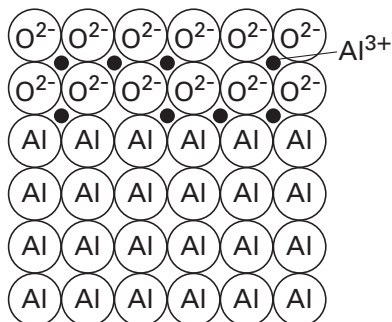
2p **21** ☐ Geef twee redenen waarom ook na stap 1 een filtratie wordt uitgevoerd.

## Noodstroombron

Aluminium is een onedel metaal dat onder andere door zuurstof wordt aangetast. Er vormt zich dan op het aluminium een laagje aluminiumoxide, soms 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. Hierdoor wordt het aluminium door het laagje aluminiumoxide beschermd tegen verdere aantasting door zuurstof.

Hieronder (zie figuur 2) staat een figuur waarin de bescherming van aluminium door een laagje aluminiumoxide schematisch is weergegeven. Van het beschermende laagje aluminiumoxide is slechts een zeer klein gedeelte weergegeven.

figuur 2



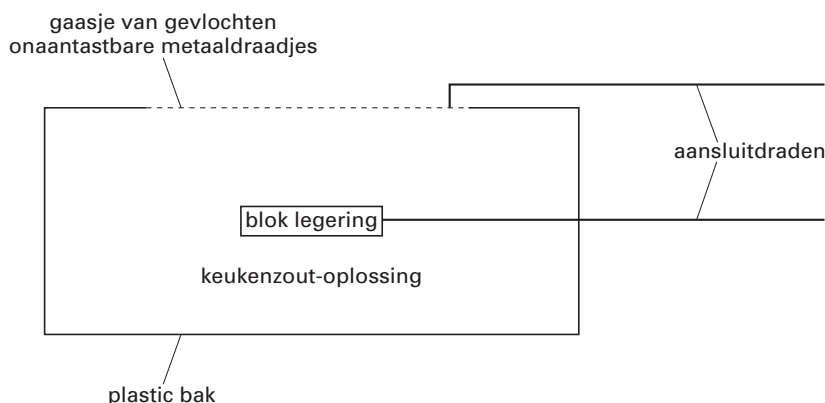
2p **22** ☐ Bereken het aantal lagen  $\text{O}^{2-}$  ionen in een laagje aluminiumoxide met een dikte van 0,0001 mm. Ga er bij je berekening van uit dat de  $\text{O}^{2-}$  ionen elkaar raken zoals in figuur 2 is weergegeven.

In een legering van aluminium, magnesium en tin is de vorming van een goed afsluitend laagje aluminiumoxide niet goed mogelijk. Magnesium- en tinionen, die zich bij aantasting van de legering vormen, zijn namelijk groter dan aluminiumionen. Ze passen niet in de holtes tussen de  $\text{O}^{2-}$  ionen. 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.

3p **23** ☐ 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.

De genoemde legering van aluminium, magnesium en tin wordt gebruikt in de zogenoemde aluminium-luchtcel. Deze cel wordt wel eens ingeschakeld als noodstroombron wanneer een storing in een elektrische installatie optreedt. In figuur 3 is zo'n aluminium-luchtcel schematisch weergegeven.

figuur 3



Een blok van de legering van aluminium, magnesium en tin is ondergedompeld in een oplossing van keukenzout. De oplossing zit in een plastic bak. Op de bovenkant van de plastic bak bevindt zich een poreus gaasje van in elkaar gevlochten draadjes van een onaantastbaar metaal. Het gaasje dient voor elektrisch contact. Boven het gaasje bevindt zich lucht. De onderkant van het gaasje maakt contact met de keukenzoutoplossing. Als het gaasje en het blok legering van aluminium, magnesium en tin met een geleidende draad worden doorverbonden, gaat een elektrische stroom lopen. Bij het gaasje reageert zuurstof uit de lucht met water onder vorming van hydroxide-ionen. Bij het blok legering wordt het aluminium omgezet tot aluminiumhydroxide.

- 4p **24** □ Geef de vergelijkingen van de halfreacties die bij het gaasje en bij de legering optreden, en leid daarmee de vergelijking van de totale reactie af.

Wanneer in een elektrische installatie de stroom uitvalt, wordt automatisch uit een voorraadtank een keukenzoutoplossing in de plastic bak van de aluminium-luchtcel gepompt. Hierna schakelt de cel zichzelf in en neemt hij de stroomvoorziening in de elektrische installatie over. De oplossing van het keukenzout kan niet samen met het blok legering permanent in de plastic bak van de cel bewaard worden. Er treedt dan namelijk een trage nevenreactie op waarbij zich een gas vormt. De cel verliest dan een deel van zijn vermogen om stroom te leveren.

- 3p **25** □ Leg met behulp van getalwaarden uit Binas-tabel 48 uit welk gas zich in de aluminium-luchtcel vormt als de keukenzoutoplossing samen met het blok legering permanent in de plastic bak bewaard wordt, terwijl de cel niet is ingeschakeld.

Een bepaalde aluminium-luchtcel die als noodstroombron staat opgesteld, moet in geval van een storing gedurende 20 uur een stroom kunnen leveren van 12 A (A is ampère;  $1 \text{ A} = 1 \text{ C s}^{-1}$ ).

- 5p **26** □ Bereken hoeveel g aluminium minimaal aanwezig moet zijn in het blok legering in de aluminium luchtcel. Ga er bij de berekening van uit dat het magnesium en het tin in het blok legering geen bijdrage leveren aan de stroomsterkte. Gebruik bij je berekening onder andere tabel 7 van Binas.

**Einde**