

Examen VWO

2023

tijdvak 1
dinsdag 23 mei
13.30 - 16.30 uur

scheikunde

Bij dit examen hoort een uitwerkbijlage.

Dit examen bestaat uit 25 vragen.

Voor dit examen zijn maximaal 66 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 $p = p_0$.

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 ω -6.

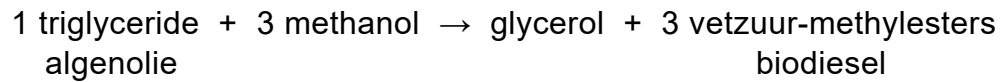
Deze verkorte notatie geeft informatie over:

- het totaal aantal C-atomen: 18;
- het aantal C=C-bindingen: 2;
- het plaatsnummer van de eerste $\text{CH}=\text{CH}$ -groep vanaf de CH_3 -groep.

Het vetzuur DHA in de algenolie heeft als verkorte notatie 22:6 ω -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 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 g mol^{-1} .

5p 4 Bereken het rendement van de vorming van biodiesel.

Geef de uitkomst in het juiste aantal significante cijfers.

Op de uitwerkbijlage 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.

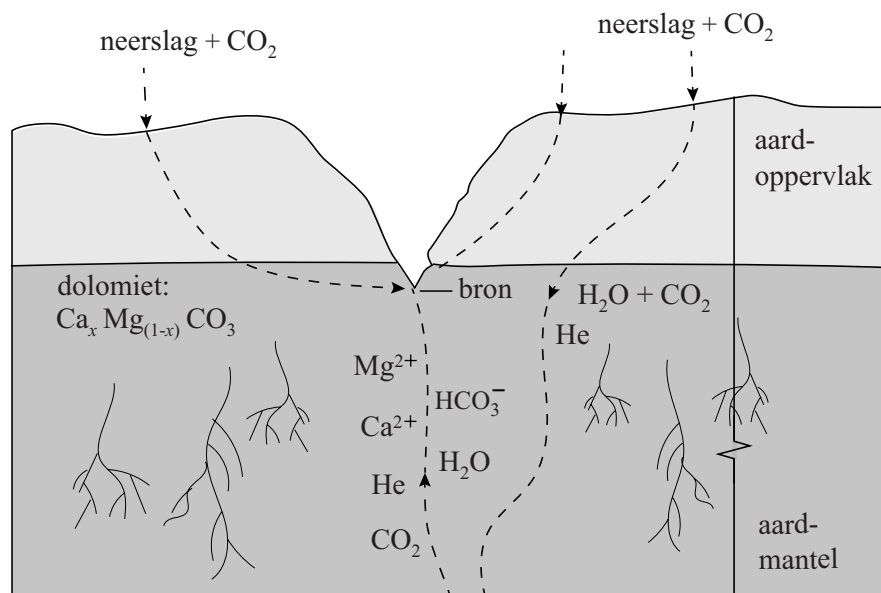
3p 5 Maak op de uitwerkbijlage het blokschema compleet.

- 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

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 figuur 1 is schematisch weergegeven hoe koolzuurhoudende neerslag in contact komt met dolomiet, waardoor Gerolsteiner® mineraalwater wordt gevormd.

figuur 1



De waarde van x in de verhoudingsformule van dolomiet ligt tussen nul en een.

- 3p **6** Geef met behulp van figuur 1 de vergelijking van de reactie van dolomiet met opgelost koolstofdioxide.

In het mineraalwater is ook een beetje helium opgelost. Het helium blijkt zowel uit ^3He als uit ^4He 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 CO_2 in Gerolsteiner® mineraalwater uitsluitend afkomstig is uit neerslag of ook uit dieper gelegen aardlagen.

^4He ontstaat door het radioactief verval van ^{238}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 ^4He in Gerolsteiner® overeenkomt met $4 \cdot 10^{-6}$ M.

De concentratie ^3He in Gerolsteiner® is $3 \cdot 10^{-11}$ 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 CO_2 in water is $2,3 \text{ g L}^{-1}$ ($T = 283 \text{ K}$, $p = p_0$).

CO_2 is daarmee ruim 30 keer beter oplosbaar dan O_2 onder dezelfde omstandigheden. Dit wordt onder andere veroorzaakt door elektrostatische interacties. Deze interacties treden op tussen moleculen CO_2 en H_2O maar niet tussen moleculen O_2 en H_2O .

- 3p 10 Voer de volgende opdrachten uit:
- Teken de lewisstructuren van CO_2 en H_2O . Geef hierbij de juiste bindingshoeken weer.
 - Geef partiële ladingen aan.
 - Geef in de tekening met een stippellijn een elektrostatische interactie aan tussen beide moleculen.

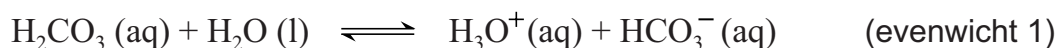
De koolzuurhoudende variant van Gerolsteiner® mineraalwater heet Gerolsteiner® Sprudel en is vergelijkbaar met SPA® Intense (ook wel bekend als SPA® Rood).

In de tabel zijn enkele gegevens van Gerolsteiner® Sprudel en SPA® Intense gegeven.

tabel

	gehalte in Gerolsteiner® Sprudel (mg L⁻¹)	gehalte in SPA® Intense (mg L⁻¹)
HCO ₃ ⁻	1816	18
H ₂ 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 H₂CO₃.

Glyfosaat

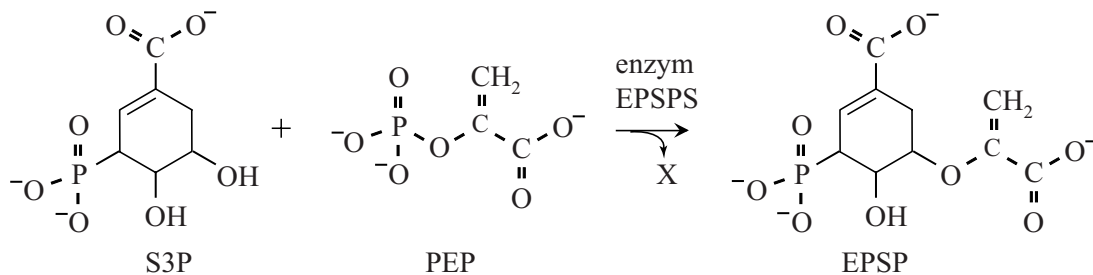
Glyfosaat (H_2Glyf) wordt wereldwijd op grote schaal gebruikt als onkruidverdelgingsmiddel. In water komt glyfosaat vooral voor in de vorm van $Glyf^{2-}$ en $HGlyf^-$.

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 is weergegeven in figuur 1.

figuur 1

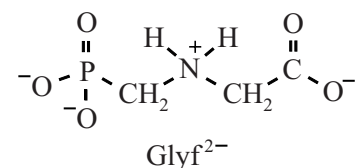


Bij deze omzetting ontstaat ook het deeltje X.

- 1p 13 Geef de formule van het deeltje X.

In het mechanisme van de omzetting uit figuur 1 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 oktet.



- 2p 14 Teken een mogelijke structuurformule van $PEP-H^+$.

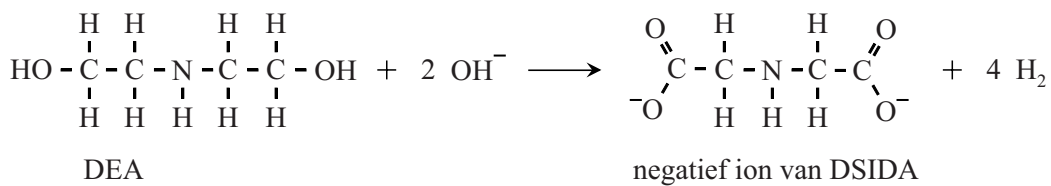
De binding van glyfosaat aan EPSPS is onomkeerbaar, waardoor de aanmaak van aromatische aminozuren geheel tot stilstand komt. Onderzoekers hebben een bacterie ontdekt die glyfosaat-resistent is. De resistentie wordt veroorzaakt door een mutatie in de genetische code voor het enzym EPSPS. Het werkzame 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 op de uitwerkbijlage de symbolen van het basenpaar waarin de genetische code voor CP4 verschilt van EPSPS. Gebruik Binas-tabel 71G of ScienceData-tabel 16.9.

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 figuur 2. DSIDA is een zout dat bestaat uit 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 figuur 2, 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

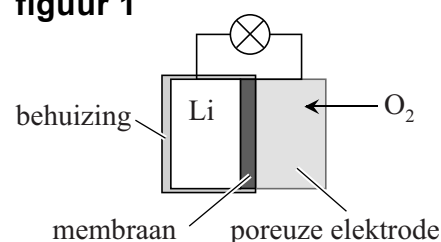
Om in een batterij zoveel mogelijk lading op te slaan in zo weinig mogelijk massa, worden batterijen ontworpen waarin zuurstof uit de lucht als oxidator optreedt. In zo'n batterij is dan alleen de reductor opgeslagen. De eigenschappen van de reductor bepalen dan in hoge mate de ladingsdichtheid. Ladingsdichtheid 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.

In figuur 1 is een lithium-luchtbatterij schematisch weergegeven.

In deze opgave worden eerst de elektroden en dan het membraan besproken.

figuur 1



I de elektroden

Op het grensvlak van het lithium en het membraan verloopt bij stroomlevering halfreactie 1.



- 2p **19** Leg uit of de lithiumelektrode bij stroomlevering de positieve of de negatieve elektrode is.

Een onderzoeksgroep heeft voor de poreuze elektrode een elektrode-materiaal 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 O_2^- -ion gevormd.

Dit ion is erg reactief en tast organische oplosmiddelen en membranen aan. Een van beide atomen in het O_2^- -ion voldoet niet aan de oktetregel.

- 2p **20** Voer de volgende opdrachten uit:
- Teken een grensstructuur van het O_2^- -ion. Geef hierbij (de) formele lading(en) aan.
 - Leg uit waarom het 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 Mn^{2+} -ionen toegevoegd.

De Mn^{2+} -ionen binden aan de peptideketens door middel van ion-bindingen.

De onderzoekers hebben de genetische code voor het eiwit veranderd met als doel dat de peptideketens meer 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.

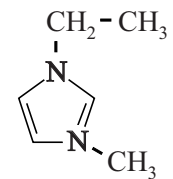
peptideketen A ~ADVYESALPDPAKAAFN~

peptideketen B ~ADVYESALPDPAEAAFE~

- 3p 21 Leg uit welke peptideketen bij hogere pH het meest 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 copolymeer PVDF-HFP. Dit copolymeer 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.

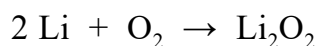
Het lithium in de batterij mag niet in contact komen met lucht of water. Het membraan moet daarom heel precies in vorm worden gebracht.

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 copolymeer 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 Li_2O_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.

Bronvermelding

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