

Voor dit examen zijn maximaal 70 punten te behalen; het examen bestaat uit 25 vragen. Voor elk vraagnummer is aangegeven hoeveel punten met een goed antwoord behaald kunnen worden. Voor de uitwerking van vraag 10 is een bijlage toegevoegd.

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.

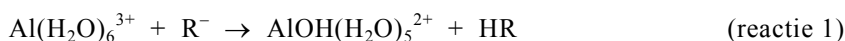
Waterproof papier

Schrijfpapier moet zo worden gemaakt dat het zo weinig mogelijk water opneemt. Tijdens het fabricageproces van dit soort papier worden daarom stoffen toegevoegd om het papier 'waterproof' te maken. Bij een methode om papier waterproof te maken gebruikt men de stof abieetzuur. Abieetzuur is een éénwaardig, organisch zuur. In het vervolg van deze opgave wordt abieetzuur weergegeven met de formule HR.

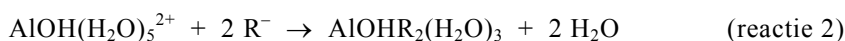
Bij het waterproofmaken van papier wordt het abieetzuur eerst omgezet tot het matig oplosbare natriumzout van abieetzuur (NaR). Dit gebeurt door HR te laten reageren met een oplossing van een stof X. Bij deze reactie ontstaat een suspensie van NaR in water.

- 2p 1 □ Geef de naam van een stof X die daarvoor geschikt is.

Tijdens het fabricageproces van papier wordt ook aluminiumsulfaat, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, toegevoegd. Als aluminiumsulfaat oplost, ontstaan $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ ionen. Deze ionen kunnen zich als zuur gedragen, en reageren met R^- ionen uit het NaR. Deze reactie kan als volgt in een vergelijking worden weergegeven:



De ontstane $\text{AlOH}(\text{H}_2\text{O})_5^{2+}$ ionen reageren door met R^- ionen. Hierbij worden twee watermoleculen in het $\text{AlOH}(\text{H}_2\text{O})_5^{2+}$ ion vervangen door R^- ionen:

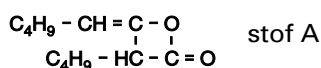


Zowel $\text{AlOHR}_2(\text{H}_2\text{O})_3$ als HR zijn slecht oplosbaar in water. Deze stoffen hechten zich aan de papervezels en zorgen ervoor dat het papier waterproof wordt.

Tijdens het fabricageproces van een bepaald soort papier worden de hoeveelheden aluminiumsulfaat en abieetzuur zodanig gekozen dat de molverhouding waarin $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ en R^- worden samengevoegd $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+} : \text{R}^- = 1,0 : 2,8$ is.

- 3p 2 □ Bereken de molverhouding $\text{AlOHR}_2(\text{H}_2\text{O})_3 : \text{HR}$ waarin deze stoffen zullen ontstaan. Ga ervan uit dat reacties 1 en 2 beide aflopend zijn en dat reactie 1 zoveel sneller verloopt dan reactie 2, dat na afloop van de reacties geen $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ over is.

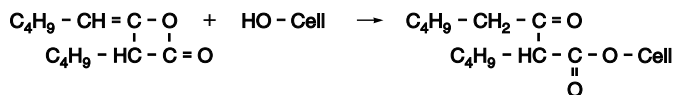
Bij een andere methode om papier waterproof te maken, gebruikt men de stof met de volgende structuurformule:



Stof A wordt gevormd door dimerisatie van butylketen, $\text{C}_4\text{H}_9 - \text{CH} = \text{C} = \text{O}$. Bij deze reactie treedt koppeling op van twee moleculen butylketen. De reactie is op te vatten als een additiereactie, waarbij het C atoom en het O atoom van het ene molecuul zich hechten aan de C atomen van de $\text{C} = \text{C}$ binding van het andere molecuul. Als de additie op deze manier plaatsvindt, kunnen twee dimeren ontstaan. Eén ervan is stof A. Het andere dimeer is een structuurisomeer van stof A.

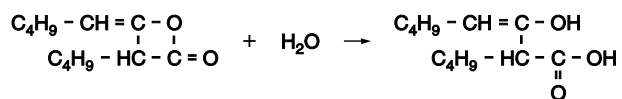
- 2p 3 □ Geef de structuurformule van dat andere dimeer van butylketen. Gebruik de notatie C_4H_9 om de butylgroep weer te geven.

Bij het waterproofmaken van papier met behulp van stof A treedt een reactie op tussen moleculen van stof A en de OH groepen van cellulose. Deze reactie kan als volgt in een reactievergelijking worden weergegeven (hierin is het cellulosemolecuul weergegeven met HO - Cell):



Men kan zich voorstellen dat deze reactie in drie stappen verloopt:

- in de eerste stap reageert een molecuul van stof A met een watermolecuul:

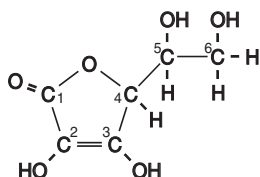


- in de tweede stap reageert een cellulosemolecuul met een molecuul van het product van de reactie tussen stof A en water
- in de derde stap treedt in een molecuul van de stof die in de tweede stap is gevormd uitsluitend een inwendige verhuizing op van een H atoom waarbij een molecuul van het reactieproduct gevormd wordt.

- 3p **4** □ Geef de tweede en derde stap in reactievergelijkingen met structuurformules weer. Gebruik de notatie HO - Cell voor een cellulosemolecuul en C₄H₉ voor de butylgroep.

Bepaling van vitamine C

Vitamine C heeft de molecuulformule C₆H₈O₆. De structuurformule is hieronder weergegeven:



Vitamine C is één van de optische isomeren die met deze structuurformule kunnen worden weergegeven.

- 2p **5** □ Geef het nummer van elk asymmetrisch koolstofatoom in bovenstaande structuurformule.

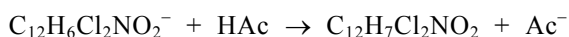
Veel methoden om het gehalte van vitamine C (ascorbinezuur, C₆H₈O₆) te bepalen berusten op het feit dat ascorbinezuur in een redoxreactie kan worden omgezet tot dehydroascorbinezuur (C₆H₆O₆).

Bij één van die methoden wordt gebruikgemaakt van de reactie van vitamine C met een éénwaardig zwak zuur met de molecuulformule C₁₂H₇Cl₂NO₂. Een oplossing van C₁₂H₇Cl₂NO₂ is roze gekleurd.

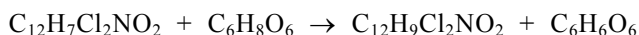
Bij de bedoelde bepaling wordt een vitamine C oplossing getitreerd met een oplossing van het natriumzout van C₁₂H₇Cl₂NO₂. In oplossing is dit zout gesplitst in natriumionen en zuurrestionen C₁₂H₆Cl₂NO₂⁻. Deze oplossing heeft een blauwe kleur. In het vervolg van deze opgave wordt de oplossing van het natriumzout van C₁₂H₇Cl₂NO₂ een DCPIP oplossing genoemd.

Omdat de titratie in zuur milieu moet plaatsvinden, wordt voorafgaand aan de titratie aan de vitamine C oplossing in de erlenmeyer een overmaat azijnzuur (HAc) toegevoegd.

Tijdens de titratie van de vitamine C oplossing met de DCPIP oplossing treden na elkaar de volgende twee reacties op:



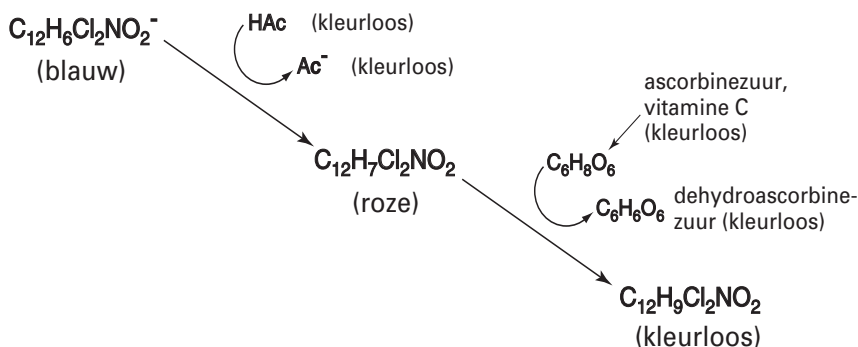
en



Beide reacties zijn snel en aflopend.

Schematisch is één en ander weergegeven in figuur 1. De kleuren die de verschillende deeltjes in oplossing veroorzaken staan tussen haakjes.

figuur 1



- 3p **6** □ Leg uit welke kleurverandering van de oplossing in de erlenmeyer plaatsvindt wanneer bij deze bepaling het eindpunt van de titratie wordt bereikt.

Als praktische opdracht gaat een groepje leerlingen de hoeveelheid vitamine C in appelsap bepalen. Van het onderzochte merk appelsap bestaan twee soorten. Het enige verschil tussen de soorten is de hoeveelheid vitamine C. Aan één van de twee soorten is namelijk extra vitamine C toegevoegd. De leerlingen gaan bepalen hoeveel gram vitamine C er in deze soort appelsap extra aanwezig is.

De DCPIP oplossing waarmee zij gaan titreren moet eerst worden geijkt. Daartoe wordt 125,0 mg vitamine C afgewogen en opgelost tot 500,0 mL.

Van de vitamine C oplossing wordt 10,00 mL gepipetteerd in een erlenmeyer. De oplossing wordt aangezuurd met azijnzuur. Het blijkt dat voor de titratie van 10,00 mL van de vitamine C oplossing, 25,10 mL DCPIP oplossing nodig is.

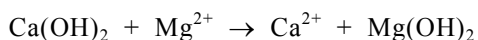
Hierna worden de twee soorten appelsap onderzocht. Voor 10,00 mL appelsap zonder extra toegevoegde vitamine C is 0,30 mL DCPIP oplossing nodig. Voor 10,00 mL appelsap mét extra toegevoegde vitamine C, blijkt 32,10 mL DCPIP oplossing nodig te zijn.

- 4p **7** □ Bereken hoeveel mg vitamine C per 100,0 mL extra aanwezig is in het appelsap waaraan extra vitamine C is toegevoegd.

Magnesiumwinning

Magnesium wordt dikwijls in een continu proces bereid uit zeewater en dolomiet. Dolomiet is een mineraal dat voorkomt in gesteenten. De formule van dolomiet is $CaMg(CO_3)_2$. In dit proces wordt dolomiet bevattend gesteente eerst fijn gemalen en vervolgens verhit. Het dolomiet wordt daarbij omgezet tot een mengsel van calciumoxide en magnesiumoxide. Hierbij ontstaat ook koolstofdioxide.

Het calciumoxide en magnesiumoxide worden afgescheiden van de restanten van het gesteente (afvalgesteente) en met zeewater gemengd. Het calciumoxide wordt daardoor omgezet tot calciumhydroxide en het magnesiumoxide tot magnesiumhydroxide. Zeewater bevat magnesiumionen. Alle magnesiumionen uit het toegevoegde zeewater reageren volgens:



Het ontstane magnesiumhydroxide wordt afgescheiden. Het afvalwater wordt teruggevoerd naar zee. Vervolgens laat men het magnesiumhydroxide reageren met zoutzuur. De oplossing van magnesiumchloride die zo ontstaat, wordt ingedampt. De temperatuur is daarbij zo hoog dat het magnesiumchloride vloeibaar is. Het vloeibare magnesiumchloride wordt in een elektrolyseruimte gebracht.

Hier ontstaat aan de negatieve elektrode vloeibaar magnesium en aan de positieve elektrode chloorgas. Beide producten worden continu uit de elektrolyseruimte afgevoerd. Indien niet het gesmolten magnesiumchloride wordt gebruikt bij de elektrolyse, maar de magnesiumchloride-oplossing, dan ontstaat bij de elektrolyse aan de negatieve elektrode geen magnesium, maar een andere stof.

- 3p **8** Leg uit welke andere stof in dat geval aan de negatieve elektrode ontstaat. Betrek in je uitleg getalwaarden uit Binas.

Het chloorgas laat men met waterstof reageren tot waterstofchloride. Dit wordt gemengd met water dat bij het indampen van de magnesiumchloride-oplossing vrijkomt. Het zoutzuur dat ontstaat wanneer waterstofchloride in water oplost, wordt gebruikt om magnesiumhydroxide om te zetten tot een oplossing van magnesiumchloride. Om de bovenbeschreven bereiding van magnesium als een continu proces te laten plaatsvinden, moet een gedeelte van het water dat bij het indampen van de magnesiumchloride-oplossing vrijkomt, worden afgevoerd. De oorzaak daarvan is dat bij één van de reacties die tijdens het proces plaatsvinden, water wordt gevormd.

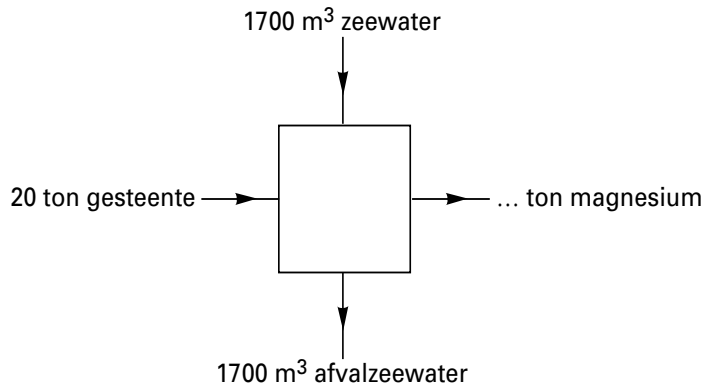
- 2p **9** Geef de vergelijking van de reactie waarbij in dit proces water wordt gevormd.

Het beschreven continue proces om magnesium te bereiden uit zeewater en dolomiet kan in een blokschema met zeven blokken worden weergegeven. Een deel van dit blokschema is op de bijlage afgebeeld.

- 5p **10** Maak op de bijlage het blokschema af door het plaatsen van de vier ontbrekende blokken en lijnen met pijlen. Zet bij alle zelf getekende lijnen de namen van de bijbehorende stoffen (*chloor, magnesium, magnesiumchloride, water, waterstof, waterstofchloride, zoutzuur*).

Wanneer 20 ton gesteente, met een dolomietgehalte van 84 massaprocent, wordt gebruikt om magnesium te bereiden, is daarvoor 1700 m^3 zeewater nodig. De hoeveelheid afvalzeewater die wordt teruggevoerd naar zee mag gelijk worden gesteld aan 1700 m^3 . Het gehele proces kan worden samengevat in het volgende schema:

schema



Mede met behulp van dit schema en een gegeven uit Binas-tabel 43 is te berekenen hoeveel ton magnesium maximaal kan worden geproduceerd uit 20 ton gesteente, met een dolomietgehalte van 84 massaprocent, en 1700 m^3 zeewater.

- 4p **11** Geef deze berekening. Gebruik hierbij onder andere de volgende gegevens:
- de massa van een mol dolomiet is $184,4 \text{ g}$;
 - een ton is 10^3 kg .

Pyriet

Deze opgave gaat over het artikel 'Pyriet houdt Brinkhorst niet tegen' dat hiernaast is afgedrukt. Lees dit artikel en maak vervolgens de vragen van deze opgave.

Het gebruik van de term 'buffering' in de laatste zin van de inleiding suggereert dat het 'tegenhouden' van nitraat op een proces berust dat in de chemie met de term bufferwerking wordt aangeduid.

- 2p **12** Leg aan de hand van de betrokken stoffen uit dat met het begrip buffer in dit artikel iets anders wordt bedoeld dan wat in de chemie gebruikelijk is.

In de regels 10 en 11, en ook in regel 17, wordt een omzetting van nitraat beschreven. In de vergelijking van de halfreactie van het nitraat bij deze omzetting komen, behalve de in het artikel genoemde deeltjes en elektronen, ook H^+ en H_2O voor.

- 4p **13** Geef de vergelijking van deze halfreactie van nitraat.

Voor een praktische opdracht willen een paar leerlingen door middel van een experiment nagaan of de bewering van de heer Roelofs dat bij het binden van sulfide aan ijzer, het ijzer wordt losgeweekt van fosfaat (regels 35-37) op realiteit berust. Ze nemen aan dat Roelofs met 'ijzer' Fe^{2+} bedoelt en met pyriet het slecht oplosbare ijzer(II)sulfide.

De leerlingen mengen in een bekeerglas vast ijzer(II)fosfaat met een natriumsulfide-oplossing en laten het geheel enige tijd staan. Daarna moeten ze met het ontstane mengsel een vervolgonderzoek doen.

- 1p **14** Formuleer een onderzoeksvraag die de leerlingen voor dit vervolgonderzoek moeten stellen.

- 3p **15** Beschrijf de werkwijze van het vervolgonderzoek. Geef hierin onder meer de naam (namen) van de te gebruiken stof(fen) of oplossing(en).

- 2p **16** Ben je het eens met het standpunt van de heer Roelofs (regels 38 en 39) dat de mestnorm niet gewijzigd moet worden? Motiveer je antwoord met een argument dat je aan het artikel ontleent.

Pyriet houdt Brinkhorst niet tegen

1 Nitraat uit mest lekt op veel plaatsen niet naar het diepe grondwater, terwijl
2 dat wél wordt gevreesd. Pyrietlagen houden het nitraat tegen. Maar voor hoe
3 lang? En belanden we door deze buffering niet van de regen in de drup?

4 Mest zit vol nitraat en dat spoelt vooral in zandgronden uit naar het grondwater. Uit het
5 diepere grondwater wordt op veel plaatsen drinkwater gemaakt. Volgens de Europese
6 Commissie mag het grondwater niet meer dan vijftig milligram nitraat per liter bevatten.
7 „De nitraatnorm is gebaseerd op een verouderd wetenschappelijk inzicht, en geen goede
8 stok om de boeren te slaan”, zegt milieu-adviseur Harry Boukes, die voor een aantal
9 waterleidingbedrijven onderzoek verrichtte naar nitraat in het grondwater.

10 Volgens de milieu-adviseur wordt nitraat namelijk op zijn tocht door de bodem in veel
11 gevallen omgezet in onschuldig stikstofgas. Organische stoffen, veelvuldig aanwezig in
12 bijvoorbeeld veen, bufferen op deze manier de overdosis mest.

13 En er bestaat nog een tweede verdedigingslinie voor het diepe grondwater. „Op veel
14 plekken in Nederland waar geen veen en klei is, bevinden zich metersdikke zones met
15 pyriet, die eveneens in staat zijn een bufferend effect te bewerkstelligen. Er is geen
16 nitraatprobleem”, meent de milieu-adviseur.

17 Pyriet - ofwel ijzerdisulfide - zet in een chemische reactie nitraat om in stikstofgas, waarbij
18 sulfaat en ijzerionen ontstaan.

19 Het bufferende vermogen van pyriet is evident, bevestigt dr. Jasper Griffioen, onderzoeker
20 bij TNO in Delft. „De nitraatomzetting door pyriet verloopt snel, zodat er sprake is van een
21 substantieel proces. Pyriet kan op verschillende plaatsen in het land, vooral in Brabant, wel
22 150 jaar nitraat uit het grondwater weghouden”, aldus Griffioen.

23 „Daarna zit je in de problemen”, zegt Griffioen. „De pyrietlagen zijn eindig, dus je slurpt de
24 buffer als een stofzuiger op. Daar komt bij dat pyriet niet uit puur ijzerdisulfide bestaat.

25 Sporenelementen als arseen, nikkel, zink en cadmium komen samen met ijzer in
26 oplossing.” Drinkwaterbedrijven wren deze schadelijke metalen liever uit het drinkwater.

27 Pyriet lijkt weliswaar het nitraat-probleem te relativeren, maar daarmee belanden we van de
28 regen in de drup, zeggen bodemdeskundigen. Behalve dat het nitraatprobleem wordt
29 ingeruild voor zware metalen die aan de wandel gaan, is ook het gevormde sulfaat geen
30 lekkere stof. Niet alleen doordat het een ongewenste smaak geeft aan drinkwater. „Sulfaat
31 is desastreus voor de wetlands”, zegt dr. Jan Roelofs. In beekdalen, laagveen en in
32 moerassen ziet de ecooloog vegetatie wegwijnen door een flinke toename van de
33 sulfaatconcentratie.

34 „In bijvoorbeeld laagveen wordt sulfaat omgezet in sulfide, wat uiterst giftig is voor de
35 plantenwortels. Voor een deel wordt dat sulfide weliswaar weer gebonden aan ijzer -
36 inderdaad, dan ontstaat weer pyriet - maar dat ijzer wordt daarvoor losgeweekt van
37 fosfaat.” En eenmaal in oplossing leidt dat fosfaat weer tot de verstikkende groene soep,
38 die eutrofiëring wordt genoemd. „Geen medelijden met de boeren en onverkort vasthouden
39 aan de nitraatnorm”, zo luidt aldus Roelofs' devies.

40 „Op tal van plaatsen wordt het bufferende vermogen van de bodem door ons onderzocht”,
41 zegt ir. Leo Joosten, milieumanager bij de vereniging van waterbedrijven. Op een paar
42 plekken, zoals in het door Boukes onderzochte Oost-Brabantse wingebed bij Vierlingsbeek
43 vindt inderdaad een opmerkelijke afbraak van nitraat plaats. Je kunt dat echter niet zomaar
44 doortrekken naar de rest van Nederland, aldus Joosten. „In Montferland en in Noord-
45 Limburg is de bufferende laag finaal opgesoupeerd, en vinden we nitraat tot boven de norm
46 op grote diepte in het grondwater.”

47 Op een tiental plaatsen elders in Nederland heeft Joosten aanwijzingen dat binnen tien jaar
48 de bufferlaag is weggevreten. „Elders duurt het misschien vijftig jaar. Het hangt af van de
49 dikte van de laag.”

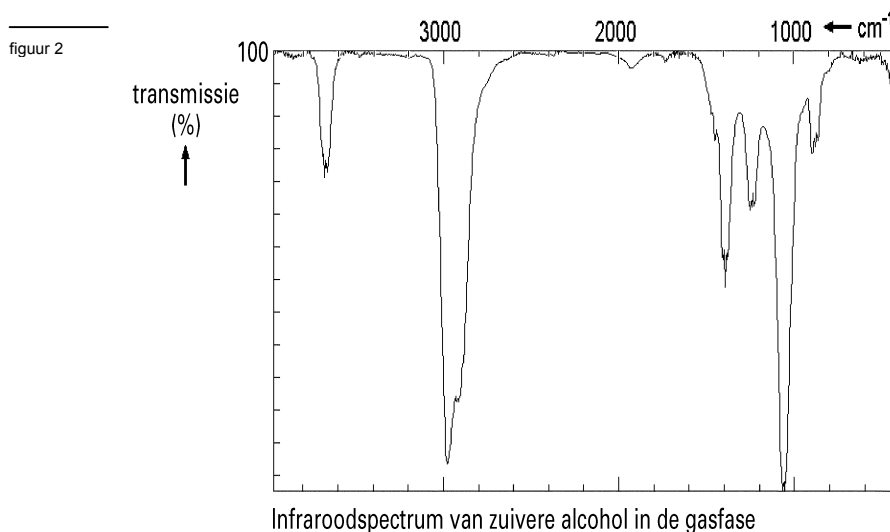
50 De kans dat het ministerie van Landbouw de nitraatnorm op de helling zet, is gering. De
51 huidige minister van Landbouw, Brinkhorst (D66), heeft zich destijds ingespannen om de
52 EU-norm ingevoerd te krijgen, en daar komt hij liever niet op terug.

naar: de Volkskrant 30 oktober 1999

Alcoholtest

In Nederland zijn twee soorten meetinstrumenten in gebruik om het alcoholgehalte in de adem te meten. De ene soort, de Datamaster II, maakt uitsluitend gebruik van infraroodspectroscopie.

Het infraroodspectrum van alcohol in de gasfase is afgebeeld in figuur 2.

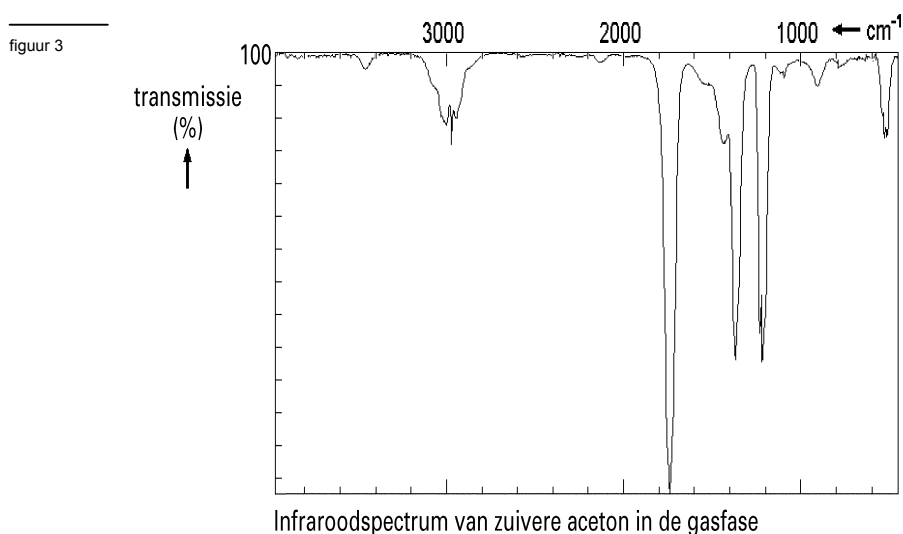


In Binas staan gegevens over infraroodspectroscopie. Voor alcoholen in de vloeibare fase staat daar vermeld dat de O – H strekvibratie een absorptiegebied heeft dat loopt van 3200 cm^{-1} tot 3525 cm^{-1} . In het afgebeelde spectrum in figuur 2 loopt het absorptiegebied van de O – H strekvibratie van ongeveer 3600 cm^{-1} tot ongeveer 3750 cm^{-1} .

- 2p 17 Geef mede aan de hand van een gegeven uit Binas-tabel 38 A1 aan waarom het absorptiegebied van de O – H strekvibratie in het infraroodspectrum van alcohol in de gasfase afwijkt van het absorptiegebied van de O – H strekvibratie in het infraroodspectrum van alcohol in de vloeistoffase.

Om van verkeersdeelnemers het adimalcoholgehalte te bepalen, gebruikt de Datamaster II het absorptiegebied tussen 2900 cm^{-1} en 3000 cm^{-1} . Bij twee golflengten in dit gebied wordt de transmissie gemeten. Vervolgens wordt met deze transmissiewaarden twee keer het adimalcoholgehalte berekend. Als de twee berekende gehalten aan elkaar gelijk zijn, is het adimalcoholgehalte van de verkeersdeelnemer daarmee vastgesteld.

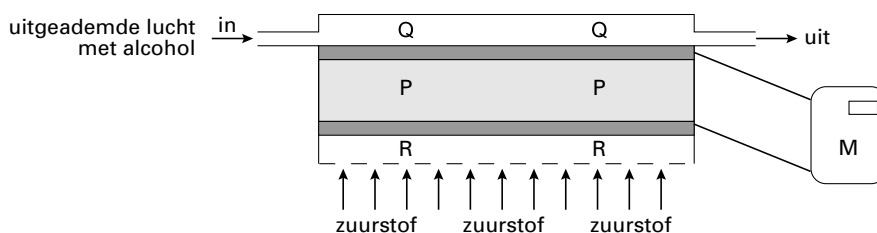
Sommige stoffen storen deze bepaling, bijvoorbeeld aceton. Mensen met suikerziekte hebben soms aceton in hun uitgedemde lucht. Het infraroodspectrum van aceton in de gasfase is afgebeeld in figuur 3.



- 2p **18** □ Leg aan de hand van de figuren 2 en 3 uit waarom voor mensen met onder andere ook aceton in hun uitgeademde lucht het alcoholgehalte door de Datamaster II niet kan worden berekend.

Het andere soort meetinstrument dat in Nederland wordt gebruikt, is de Alcotest 7110. In dit instrument wordt het ademalcoholgehalte eveneens twee keer berekend. Een keer aan de hand van een meting met behulp van infraroodspectroscopie en een keer aan de hand van een meting met behulp van een ingebouwde elektrochemische cel. Nadat in de Alcotest 7110 de uitgeademde lucht door de infraroodspectrometer is gegaan, wordt 1,0 mL van diezelfde uitgeademde lucht in de elektrochemische cel gepompt. Als het ademalcoholgehalte via beide methoden dezelfde uitkomst geeft dan zijn geen storende stoffen aanwezig en is het alcoholgehalte van de uitgeademde lucht correct vastgesteld. De elektrochemische cel is schematisch in figuur 4 afgebeeld.

figuur 4



De poreuze plaat P bevat een aangezuurde oplossing van een elektrolyt. Aan beide kanten van de poreuze plaat is fijn verdeeld platinapoeder aangebracht. Dit poeder zorgt voor elektrische geleiding, het werkt als katalysator en het laat H^+ ionen door. De uitgeademde lucht wordt aan één kant langs de poreuze plaat geleid (Q in figuur 4). De aanwezige alcohol wordt hier volledig omgezet volgens onderstaande halfreactie:



Aan de andere kant van de poreuze plaat (R in figuur 4) reageert zuurstof.

De oppervlakken Q en R zijn geleidend met elkaar verbonden zodat er een elektrische stroom loopt tijdens de alcoholbepaling. Deze stroom wordt in meetkastje M gemeten.

- 2p **19** □ Geef de vergelijking van de andere halfreactie en leid de vergelijking van de totale reactie af.
- 2p **20** □ Leg uit of de elektronen via het meetkastje M van Q naar R stromen of van R naar Q.

Gedurende de korte tijd dat er tijdens de alcoholbepaling een stroom loopt, wordt het aantal doorgestroomde coulombs bepaald. Hieruit wordt het alcoholgehalte berekend. Dat wordt op het display van meetkastje M weergegeven.

In Nederland is men strafbaar als men aan het verkeer deelneemt met meer dan $220 \mu\text{g}$ alcohol in een liter uitgeademde lucht. Bij de controle van een verkeersdeelnemer werd 1,0 mL van de uitgeademde lucht door de elektrochemische cel geleid. De hoeveelheid doorgestroomde elektrische lading is $9,9 \cdot 10^{-3} \text{ C}$.

- 3p **21** □ Ga door middel van een berekening van het alcoholgehalte in de uitgeademde lucht na of de verkeersdeelnemer de wet heeft overtreden. Maak bij de berekening onder andere gebruik van het gegeven dat de lading van één mol elektronen gelijk is aan $9,6 \cdot 10^4 \text{ C}$. Neem aan dat de berekening op basis van de meting met infraroodspectroscopie dezelfde uitkomst heeft gegeven als de meting met behulp van de elektrochemische cel.

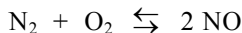
Let op: de laatste opgave van dit examen staat op de volgende pagina.

No NO

In een dieselmotor wordt dieselolie verbrand. In de cilinders van de motor wordt deze brandstof toegevoegd aan een overmaat lucht. Bij de temperatuur die in de cilinders heerst, verbrandt de dieselolie tot voornamelijk koolstofdioxide en water.

Daarnaast wordt bij deze temperatuur stikstofmonoxide gevormd.

De vorming van stikstofmonoxide in de cilinders van de dieselmotor is een evenwichtsreactie:



Wanneer het gasmengsel waarin bovenvermeld evenwicht heerst langzaam wordt afgekoeld, neemt de hoeveelheid NO af.

- 3p **22** Leg uit aan de hand van een gegeven uit Binas-tabel 57A dat de hoeveelheid NO afneemt wanneer dit gasmengsel wordt afgekoeld. Vermeld in je uitleg de getalwaarde van dit gegeven. Ga er van uit dat dit gegeven ook geldt onder de omstandigheden die in de dieselmotor heersen.

De temperatuur van het gasmengsel dat uit de uitlaat van een dieselmotor komt, is veel lager dan de temperatuur die in de cilinders heerst. Het gasmengsel dat de cilinders verlaat, wordt dus in korte tijd sterk afgekoeld. Tijdens deze snelle afkoeling neemt de hoeveelheid NO in het gasmengsel niet merkbaar af. Uit de uitlaat komt dus meer NO dan wanneer het gasmengsel uit de cilinders langzaam zou worden afgekoeld tot de temperatuur die buiten de cilinders heerst. Ook als het gasmengsel dat de cilinders heeft verlaten langere tijd bij deze lagere temperatuur bewaard blijft, verandert de hoeveelheid NO niet meer.

- 2p **23** Verklaar waarom ook na langere tijd de hoeveelheid NO in het gasmengsel dat de cilinders heeft verlaten niet meer verandert.

Het NO draagt onder meer bij aan smogvorming en het ontstaan van zure regen. Daarom is aan de uitstoot van NO een maximumgrens gesteld.

De NO uitstoot van dieselmotoren kan worden verminderd door een oplossing van ureum (CH_4ON_2) in het gasmengsel te spuiten dat de cilinders verlaat.

Een katalysator in het uitlaatsysteem zorgt ervoor dat reacties optreden tussen ureum, NO en nog een stof die in het gasmengsel aanwezig is dat vanuit de cilinders in de uitlaat komt. Deze reacties kunnen worden weergegeven in één reactievergelijking. Als reactieproducten komen in deze reactievergelijking uitsluitend CO_2 , N_2 en H_2O voor.

In deze vergelijking komen ureum en NO voor in de molverhouding $\text{CH}_4\text{ON}_2 : \text{NO} = 1 : 2$.

- 4p **24** Geef deze reactievergelijking.

Een dieselmotor van een groot schip zonder voorziening waarmee de NO uitstoot wordt verminderd, produceert 53 kg NO per uur.

Deze scheepsmotor wordt uitgerust met de beschreven voorziening. Per seconde wordt 150 mL ureumoplossing (80 g ureum per L) ingespoten.

- 5p **25** Bereken met hoeveel procent de NO uitstoot afneemt. Ga ervan uit dat alle ureum reageert volgens de boven vraag 24 beschreven reactie.

Einde