

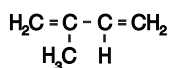
**Voor dit examen zijn maximaal 70 punten te behalen; het examen bestaat uit 25 vragen. Voor elk vraagnummer is aangegeven hoeveel punten met een goed antwoord behaald kunnen worden.**

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.

## Rozengeur

Isopreen is de triviale naam van de stof met onderstaande structuurformule:



Isopreen kan met waterstofbromide reageren. Daarbij treedt additie op. Eén van de manieren waarop deze additie kan plaatsvinden, is dat de atomen van een molecuul waterstofbromide worden gebonden aan de koolstofatomen van één van beide dubbele bindingen van het isopreenmolecuul. Behalve deze soort additie kan additie van een molecuul waterstofbromide aan een molecuul isopreen ook op een andere manier plaatsvinden. Daarbij worden de atomen van het waterstofbromidemolecuul aan de buitenste koolstofatomen van een isopreenmolecuul gebonden. In dat geval spreekt men van 1,4-additie. Een voorbeeld van een 1,4-additie van een molecuul waterstofbromide aan een molecuul isopreen is hieronder in een reactievergelijking weergegeven:



3p 1  Geef de systematische naam van stof A.

Veel stoffen die in de natuur voorkomen, zijn op te vatten als producten die zijn ontstaan uit isopreen. Een voorbeeld van zo'n stof is natuurrubber. Men kan zich indenken dat een molecuul natuurrubber is ontstaan door 1,4-polyadditie van isopreenmoleculen.

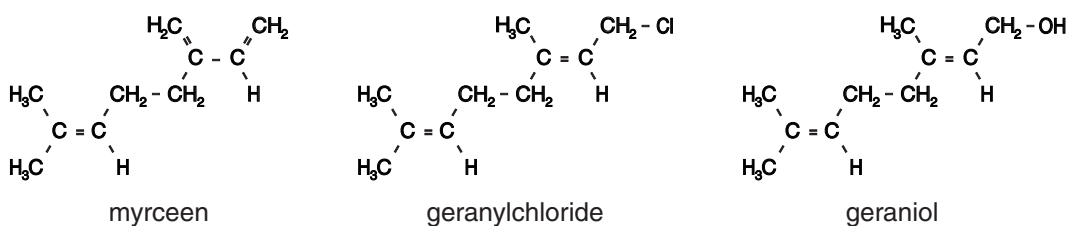
3p 2  Geef de structuurformule van een gedeelte uit het midden van een molecuul natuurrubber. In dit gedeelte moeten drie eenheden isopreen voorkomen.

In veel planten komen koolwaterstoffen voor die men terpenen noemt. Terpenen hebben de molecuulformule  $\text{C}_{10}\text{H}_{16}$ . Men kan zich indenken dat een molecuul van een terpeen is ontstaan door onderlinge additie van twee moleculen isopreen.

Een voorbeeld van een terpeen is myrceen.

Myrceen dient als grondstof voor de bereiding van diverse geurstoffen. Eén zo'n geurstof is geraniol, een stof die naar rozen ruikt. Bij de bereiding van geraniol uit myrceen wordt als tussenproduct onder andere geranylchloride gevormd.

De structuurformules van myrceen, geranylchloride en geraniol zijn als volgt:



De omzetting van myrceen tot geraniol verloopt in drie stappen.

Stap 1: Myrceen laat men in de molverhouding 1 : 1 met waterstofchloride reageren.

Hierbij ontstaat een mengsel van chloriden, waaronder geranylchloride.

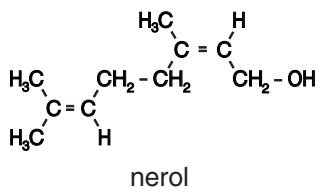
Stap 2: Het mengsel van chloriden dat in stap 1 is ontstaan, laat men reageren met natriumethanoaat. Het geranylchloride wordt hierbij omgezet tot geranylethanoaat, de ester van geraniol en ethaanzuur.

Stap 3: Door reactie met een oplossing van een stof X wordt het geranylethanoaat omgezet tot geraniol. Hierbij ontstaat behalve geraniol ook opgelost natriumethanoaat.

- 2p **3**  Geef de naam van de stof X die in stap 3 wordt gebruikt.  
 3p **4**  Geef de reactievergelijking voor de omzetting van geranylethanoaat tot geraniol. Gebruik

hierin voor geraniol de volgende verkorte structuurformule:  $\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \quad \text{CH}_2\text{-OH} \\ \diagdown \quad / \\ \text{C}=\text{C} \\ / \quad \diagdown \\ \text{R} \quad \text{H} \end{array}$  en voor geranylethanoaat een vergelijkbare verkorte structuurformule.

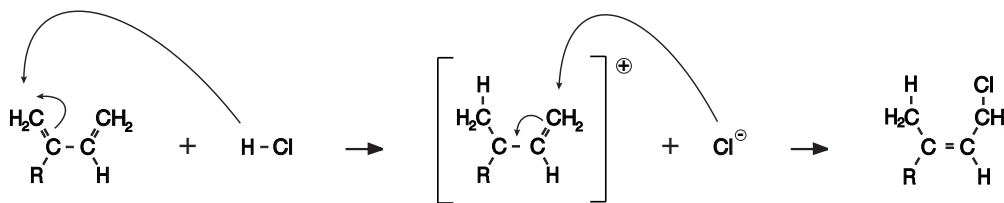
Behalve geraniol ontstaat bij deze bereiding ook de stereo-isomeer van geraniol, nerol. Deze stof ruikt ook naar rozen. Nerol wordt ook wel *cis*-geraniol genoemd. De structuurformule van nerol is hieronder weergegeven:



Het ontstaan van nerol kan worden verklaard met behulp van het reactiemechanisme van stap 1. Voor het verloop van stap 1 is het volgende reactiemechanisme voorgesteld.

Bij de additie van een waterstofchloridemolecuul aan een molecuul myrceen wordt eerst een  $\text{H}^+$  ion aan het myrceenmolecuul gebonden. Daarna wordt aan het ontstane positieve ion een  $\text{Cl}^-$  ion gebonden (zie figuur 1).

figuur 1



In deze figuren is met kromme pijlen aangegeven hoe achtereenvolgens het  $\text{H}^+$  ion en het  $\text{Cl}^-$  ion worden gebonden en hoe de bindingen in het molecuul veranderen. Voor de structuurformule van myrceen is een verkorte schrijfwijze gebruikt.

- 2p **5**  Leg uit hoe het ontstaan van nerol kan worden verklaard met het hierboven weergegeven reactiemechanisme voor de vorming van geranylchloride.

## PVC verwerken

Wanneer PVC wordt verbrand, ontstaan koolstofdioxide, waterdamp en gasvormig waterstofchloride, HCl.

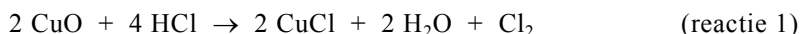
- 4p **6** □ Geef de reactievergelijking van deze verbranding. Noteer PVC hierin als  $(C_2H_3Cl)_n$ .

Verbranden van PVC in vuilverbrandingsinstallaties heeft nadelige gevolgen. Deze nadelige gevolgen hangen onder andere samen met de vorming van HCl. PVC niet verbranden, maar storten op vuilstortplaatsen is geen alternatief, omdat PVC niet biologisch afbreekbaar is. Het storten leidt op den duur tot een enorme hoeveelheid afval.

Er bestaat nog geen economisch rendabel proces om PVC te recyclen tot bruikbaar nieuw PVC. PVC verbranden en het gevormde HCl verder verwerken lijkt daarom voorlopig de beste oplossing. In het vervolg van deze opgave komen twee verschillende processen aan de orde waarin PVC wordt verbrand en het gevormde HCl verder wordt verwerkt.

### Proces 1

Dit reeds lang bestaande proces maakt gebruik van vast koperoxide, CuO. In een reactor laat men HCl bij 400 °C met CuO reageren. Bij deze reactie ontstaan onder andere waterdamp en chloorgas. De vergelijking van de reactie is:



Wanneer het grootste gedeelte van het CuO is omgezet, wordt het inleiden van HCl gestopt en wordt lucht in de reactorruimte geleid. Bij de reactie die dan plaatsvindt, ontstaat weer CuO. Tevens ontstaat chloorgas. De reactievergelijking is:



Reactie 2 is een redoxreactie, waarbij CuCl als reductor optreedt.

- 3p **7** □ Leg uit welke deeltjes uit CuCl (de koperdeeltjes of de chloordeeltjes of beide soorten deeltjes) bij deze reactie als reductor optreden. Verwerk in je uitleg de ladingsverandering(en) van de deeltjes.

Het was voor het ontwikkelen van het proces onder andere van belang om te weten of het totale proces (reactie 1 gevolgd door reactie 2) exotherm dan wel endotherm is. Dit kan worden nagegaan door met behulp van vormingswarmten het warmte-effect te berekenen voor deze omzetting van vier mol HCl tot 2 mol Cl<sub>2</sub>. Voor deze berekening zijn de vormingswarmten van CuCl en CuO niet nodig.

- 2p **8** □ Leg uit dat voor bovengenoemde berekening de vormingswarmten van CuCl en CuO niet nodig zijn.
- 3p **9** □ Ga door middel van een berekening na of het totale proces exotherm of endotherm is. Ga ervan uit dat de gegevens uit Binas bij de berekening mogen worden gebruikt.

### Proces 2

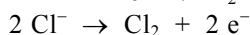
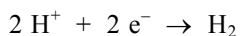
Bij dit proces om PVC te verwerken, wordt het gevormde HCl opgelost in water. Het gevormde zoutzuur wordt vervolgens geëlektrolyseerd. In dit continue proces worden drie ruimtes gebruikt: een verbrandingsruimte V, een zogenoemde absorptietoren A en een elektrolyseruimte E. In het vervolg van deze opgave wordt ervan uitgegaan dat in de elektrolyseruimte alle opgeloste waterstofchloride wordt omgezet.

PVC wordt in de verbrandingsruimte verbrand met ingeblazen lucht. De niet verbrande, verkoelde, vaste bestanddelen (slakken) worden afgevoerd. De gasvormige producten en de afgewerkte lucht worden naar de absorptietoren gevoerd.

Het hete gasmengsel uit de reactieruimte wordt onder in de absorptietoren geleid. Van boven stroomt koud water als een douche naar beneden. Het waterstofchloride lost op in het water. Daarbij ontstaat zoutzuur. Dit zoutzuur wordt naar de elektrolyseruimte gevoerd.

Door de hoge temperatuur van het gasmengsel verdampt er wat water. Dit wordt samen met de koolstofdioxide en de afgewerkte lucht aan de bovenkant van de absorptietoren afgevoerd.

In de elektrolyseruimte ontstaat aan de negatieve elektrode waterstof en aan de positieve elektrode chloor:

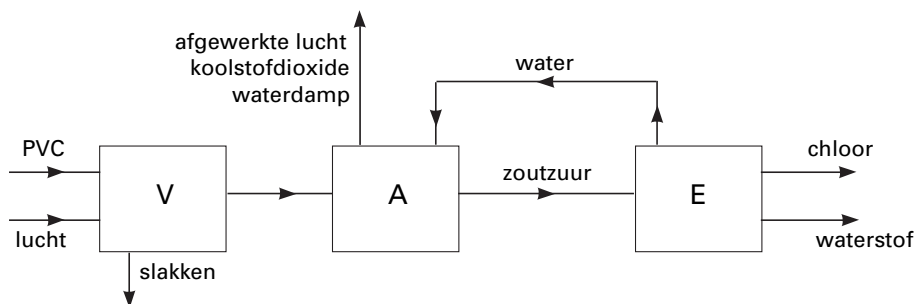


Waterstof en chloor worden gescheiden van elkaar uit de elektrolyseruimte afgevoerd.

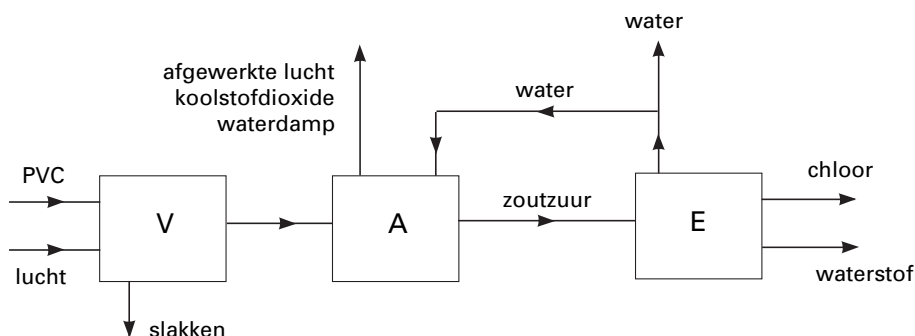
Uit de elektrolyseruimte wordt water teruggevoerd naar de absorptietoren.

Dit continue proces kan worden weergegeven met een blokschema. Hieronder zijn twee blokschema's getekend die proces 2 zouden kunnen weergeven.

blok-  
schema 1



blok-  
schema 2



3p **10**  Leg voor elk van beide blokschema's uit of dit een juiste weergave van het proces kan zijn.

In de installatie die volgens proces 2 werkt, kan per jaar een hoeveelheid afval worden verwerkt waarin  $9,2 \cdot 10^3$  ton PVC aanwezig is. De installatie is gedurende een jaar  $8,3 \cdot 10^3$  uur in bedrijf.

2p **11**  Bereken hoeveel ton chloorgas maximaal uit  $9,2 \cdot 10^3$  ton PVC kan worden verkregen (een ton is  $10^3$  kg).

4p **12**  Bereken de gemiddelde stroomsterkte, in ampère, die voor de elektrolyse nodig is wanneer  $9,2 \cdot 10^3$  ton PVC wordt verwerkt. Maak bij je berekening onder andere gebruik van het gegeven dat de lading van één mol elektronen gelijk is aan  $9,65 \cdot 10^4$  C (1 ampère =  $1 \text{ C s}^{-1}$ ).

Het gebruik van fossiele brandstoffen heeft de laatste decennia gezorgd voor een aanzienlijke toename van het koolstofdioxide-gehalte van de atmosfeer. Men neemt aan dat deze toename invloed heeft op het klimaat op aarde: het versterkte broeikas-effect. In het artikel 'Versnelde verwerking', dat in mei 2002 in het tijdschrift *Natuur en Techniek* heeft gestaan, wordt een methode besproken om koolstofdioxide uit de atmosfeer vast te leggen via een natuurlijk proces: de verwerking van het mineraal olivijn. Onderstaande tekst bevat delen uit dit artikel. Lees deze tekst en beantwoord vervolgens de vragen van deze opgave.

tekst

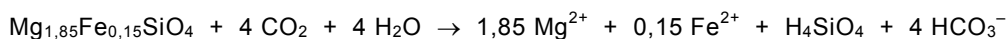
### Chemische verwerking houdt CO<sub>2</sub> binnen de perken

De mensheid onttrekt enorme massa's materiaal aan de aarde (ertsen en mineralen, fossiele brandstoffen, grondwater) of voegt ze eraan toe (kunstmest, bevloeiing, opslag van afval, CO<sub>2</sub>), vrijwel zonder zich zorgen te maken om de consequenties. Tegelijkertijd bestaat er grote huiver tegen grootschalig gebruik van bestaande natuurlijke processen om de schadelijke gevolgen van menselijke ingrepen om te buigen. Te denken valt aan voorstellen om voedselarme delen van de oceaan bij te mesten met mestoverschotten. De verhoogde algengroei zou CO<sub>2</sub> aan de atmosfeer onttrekken. Het voorstel om de natuurlijke verwerking van het mineraal olivijn (zie kader onderaan de pagina) een handje te helpen, om de door de mens veroorzaakte toename van het CO<sub>2</sub>-gehalte van de atmosfeer terug te dringen, roept onmiddellijk dezelfde weerstand op. Vreemd, omdat bekalking van landbouwgronden een algemeen aanvaarde maatregel is, hoewel kalk (in tegenstelling tot olivijn) geen gunstig effect heeft op de CO<sub>2</sub>-vastlegging.

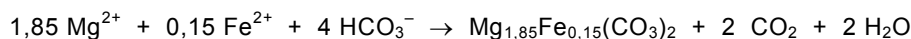
Onlangs is het voorstel gelanceerd om CO<sub>2</sub> bij puntbronnen zoals olieraffinaderijen en kolencentrales af te vangen en daarmee bij verhoogde temperatuur silicaten om te zetten in carbonaten. Met het silicaat olivijn blijkt de reactie snel te verlopen – binnen hooguit enkele uren – en de producten zijn gehydrateerde amorfe silica (H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>) en magnesiumcarbonaat. Een nadeel is dat deze twee vaste stoffen gemengd vrijkomen; het proces zou met een simpele scheidingsstap moeten worden uitgebreid om deze twee vaste fasen in min of meer zuivere vorm te verkrijgen. Naar verwachting kan het gevormde silica in bouwmaterialen worden toegepast. Kostenbesparend bij deze technologie kan wellicht zijn dat aparte ontzwavelingsinstallaties niet meer nodig zijn. In de rookgassen aanwezig zwaveldioxide en zwavelzuur worden namelijk ook door olivijn geneutraliseerd en vastgelegd als MgSO<sub>4</sub>.

Behalve als technologie om puntbronnen van CO<sub>2</sub> te behandelen, kan dezelfde reactie ook op een extensieve, goedkopere en meer natuurlijke manier worden ingezet. Ter bestrijding van de effecten van zure regen wordt veel akkerland regelmatig bekalkt. Om de paar jaar moet deze behandeling worden herhaald. In Nederland willen we de komende jaren een vrij groot landbouwareaal aan de landbouw onttrekken en transformeren tot bossen. Een olivijnbehandeling van het land, voordat zo'n bos wordt geplant, is dan aan te bevelen. Daarmee wordt ook het effect van zure regen tegengegaan.

Chemische verwerking van olivijn verloopt als volgt:



Deze reactie wordt gevolgd door:



Laten we als gedachte-experiment eens uitrekenen hoeveel olivijn we theoretisch nodig zouden hebben om 20% van alle CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer om te zetten (naar het niveau van het jaar 1800). De massa van alle CO<sub>2</sub> in de atmosfeer is ongeveer  $2,5 \cdot 10^{18}$  gram. Als we voor de dichtheid van olivijn  $2,5 \text{ g cm}^{-3}$  nemen, dan is er om 20% van het CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer te halen ongeveer  $320 \text{ km}^3$  olivijn nodig. Zo zou een stoflaagje olivijn op het land een serieuze bijdrage kunnen leveren aan de bestrijding van het broeikasgevaar.

naar: *Natuur en Techniek*, mei 2002

- 3p **13**  Geef de naam van het proces dat plaatsvindt wanneer algen  $\text{CO}_2$  aan de atmosfeer onttrekken. Geef ook de namen van de twee eindproducten die bij dit proces ontstaan. Noteer je antwoord als volgt:  
naam van het proces: ...  
namen van de eindproducten: ... en ...

Bij bekalking van landbouwgronden wordt kalk toegevoegd. De aanduiding 'kalk' is niet eenduidig: men kan er de stof 'ongebluste kalk', 'gebluste kalk' of 'kalksteen' mee bedoelen. Mede met behulp van een gegeven uit het artikel is op te maken welke stof hier wordt bedoeld.

- 1p **14**  Welke reden wordt in het artikel genoemd om bekalking van landbouwgrond toe te passen?  
4p **15**  Leg aan de hand van de formules van de drie verschillende soorten kalk en een gegeven uit het artikel uit met welke stof(fen) men landbouwgrond bekalkt.

In regel 18 wordt voorgesteld om een 'simpele scheidingsstap' toe te passen waarbij twee stoffen 'in min of meer zuivere vorm' worden verkregen. Welke scheidingsmethode de schrijver van het artikel wil gebruiken, wordt niet duidelijk, maar het is aannemelijk dat hij extractie met water bedoelt.

Een leerling krijgt als practicumopdracht een mengsel van magnesiumcarbonaat en gehydrateerde amorfe silica te scheiden. Hij mag ervan uitgaan dat de gehydrateerde amorfe silica onoplosbaar is. Het magnesiumcarbonaat zorgt daarbij voor een probleem.

- 1p **16**  Waarom zorgt magnesiumcarbonaat voor een probleem bij deze scheidingsmethode?  
3p **17**  Beschrijf een werkplan om het mengsel van magnesiumcarbonaat en gehydrateerde amorfe silica zo te scheiden dat beide stoffen zo zuiver mogelijk en in vaste toestand worden verkregen.

Het vastleggen van zwaveldioxide in de vorm van  $\text{MgSO}_4$  is het resultaat van enkele elkaar opvolgende reacties.

- 4p **18**  Geef van die reacties de reactievergelijkingen. Ga ervan uit dat in olivijn als positief ion uitsluitend  $\text{Mg}^{2+}$ , en geen  $\text{Fe}^{2+}$ , voorkomt en dat de reacties niet in oplossing plaatsvinden. Behalve  $\text{MgSO}_4$  ontstaat ook  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ .  
5p **19**  Ga door middel van een berekening na of de uitkomst ( $320 \text{ km}^3$  olivijn nodig) van het 'gedachte-experiment' juist is. Gebruik de gegevens uit het kader dat op de vorige pagina staat.

Trimethylamine,  $(\text{CH}_3)_3\text{N}$ , is bij kamertemperatuur een gasvormige stof met een onaangename geur (rotte vis). Deze stof wordt onder invloed van bacteriën in het lichaam uit voedsel gevormd. In de lever wordt trimethylamine omgezet tot trimethylamineoxide,  $(\text{CH}_3)_3\text{NO}$ . Deze omzetting gebeurt onder invloed van een enzym dat wordt aangeduid met FMO. Trimethylamineoxide is reukloos en wordt via de urine uitgescheiden. Er zijn mensen die het enzym FMO niet, of in onvoldoende hoeveelheid, kunnen aanmaken. De omzetting van trimethylamine tot trimethylamineoxide gebeurt daardoor niet of in zeer geringe mate. Trimethylamine hoopt zich bij deze mensen op in het lichaam. Uitscheiding van trimethylamine gebeurt via de urine, maar voor een niet onbelangrijk deel ook via de adem en het zweet. Deze mensen verspreiden daarbij een onaangename vislucht. Ze geraken daardoor vaak in een sociaal isolement. Deze aandoening staat bekend als het visluchtsyndroom.

Voedsel bestaat hoofdzakelijk uit eiwitten, koolhydraten en vetten. Mensen die lijden aan het visluchtsyndroom krijgen vaak een eiwitarm dieet voorgeschreven.

- 2p **20**  Leg uit waarom een dieet met weinig eiwit wel helpt bij het visluchtsyndroom en een dieet met weinig vet niet. Betrek in je uitleg de samenstelling van de genoemde stoffen.

Zweet bestaat uit water waarin een groot aantal verschillende stoffen is opgelost. Zweet heeft als functie de temperatuur van het lichaam te reguleren. Bij het verdampen van zweet wordt warmte aan het lichaam onttrokken. Wanneer trimethylamine in het zweet is opgelost, verdampt dat mee, waardoor de betreffende persoon naar vis ruikt. Wassen met bepaalde soorten zeep kan de vislucht verminderen. In een Engels tijdschrift staat hierover het volgende:

tekst-  
fragment 1

Uit onderzoek is gebleken dat door gebruik van zepen met een pH waarde 5,5 – 6,5 bij sommige patiënten de stank drastisch afnam. De werking van die zepen berust erop dat uitgescheiden trimethylamine (een sterke base) wordt vastgehouden in de vorm van een veel minder vluchtig zout.

*vertaald naar: H. U. Rehman, Fish odour syndrome, Postgrad Med J 1999*

- 2p **21**  Geef een verklaring voor het ontstaan van het zout dat in tekstfragment 1 wordt bedoeld.

Of iemand wel of niet aan het visluchtsyndroom lijdt, is niet altijd duidelijk. Mensen met een milde vorm van deze afwijking verspreiden slechts af en toe een vislucht. De ernst van de aandoening kan door onderzoek worden vastgesteld. De man of vrouw die wordt onderzocht, krijgt een hoeveelheid trimethylamine toegediend waarna zijn/haar urine gedurende een periode van 8 uur wordt verzameld. Bij dit onderzoek wordt de waarde van

het quotiënt  $\frac{[\text{TMAO}]}{[\text{TMAO}] + [\text{TMA}]}$  berekend. Hierin is  $[\text{TMAO}]$  de concentratie van

trimethylamineoxide in de verzamelde urine en  $[\text{TMA}]$  de concentratie van trimethylamine in de verzamelde urine. Bij mensen die niet aan het visluchtsyndroom lijden, is de waarde van dit quotiënt 0,9 of hoger. Bij de ernstige vorm van het visluchtsyndroom is de waarde van de breuk kleiner dan 0,4. Bij de milde vorm schommelt de waarde van het quotiënt tussen de genoemde grenzen.

Bij deze bepaling, die met een gaschromatograaf wordt uitgevoerd, wordt aan de verzamelde urine eerst een kleine hoeveelheid 2-propaanamine toegevoegd. Dit 2-propaanamine dient uitsluitend als referentiestof; tijdens de bepaling reageert het niet met andere stoffen. De oplossing die is ontstaan na het toevoegen van 2-propaanamine wordt in twee delen verdeeld, oplossing A en oplossing B.

Aan oplossing A wordt een  $\text{Ti}^{3+}$  oplossing toegevoegd. Alle aanwezige trimethylamineoxide wordt hierdoor omgezet tot trimethylamine;  $\text{Ti}^{3+}$  reageert hierbij tot  $\text{Ti}^{4+}$ .

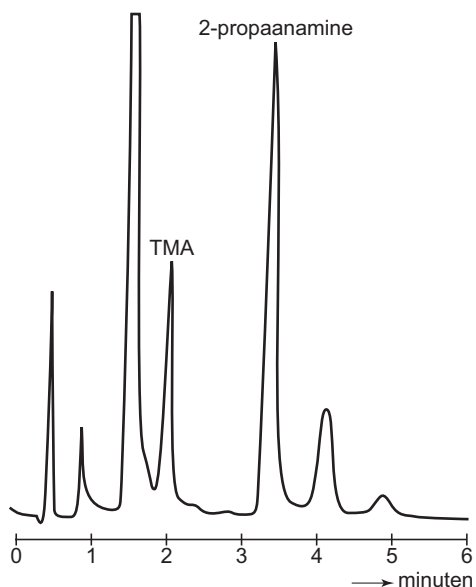


- 5p **22** □ Leid met behulp van de vergelijkingen van de twee halfreacties de vergelijking af van de totale redoxreactie tussen trimethylamineoxide en  $\text{Ti}^{3+}$ . In de vergelijking van de halfreactie van trimethylamineoxide komen behalve de formules van trimethylamineoxide en trimethylamine ook nog  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}^+$  en elektronen voor.

Aan oplossing B worden geen andere stoffen toegevoegd.

In een gaschromatograaf wordt een hoeveelheid ( $5,0 \mu\text{L}$ ) van oplossing B gebracht. Een gedeelte van het chromatogram (chromatogram 1) dat daarbij ontstaat, is hieronder afgebeeld. De piek bij retentietijd 2,1 minuten is van trimethylamine en de piek bij retentietijd 3,4 minuten is van 2-propaanamine.

chromatogram 1



Van de oplossing die is ontstaan nadat de  $\text{Ti}^{3+}$  oplossing aan oplossing A is toegevoegd, wordt ook een chromatogram opgenomen (chromatogram 2 – niet afgebeeld). Bij het maken van de chromatogrammen wordt in beide gevallen dezelfde hoeveelheid oplossing ( $5,0 \mu\text{L}$ ) in de gaschromatograaf gebracht.

In chromatogram 2 is de oppervlakte van de piek van trimethylamine aanzienlijk groter dan in chromatogram 1. Bovendien is de oppervlakte van de piek van 2-propaanamine in chromatogram 2 kleiner dan in chromatogram 1. Dit laatste verschil heeft op de uitkomst van het onderzoek geen invloed.

Bij een onderzoek van iemand die aan het visluchtsyndroom lijdt, was de verhouding tussen de piekoppervlaktes van trimethylamine en 2-propaanamine in chromatogram 1 gelijk aan  $0,35 : 1,0$ . Na de behandeling met de  $\text{Ti}^{3+}$  oplossing was de verhouding tussen de piekoppervlaktes van trimethylamine en 2-propaanamine  $0,89 : 1,0$ .

- 1p **23** □ Geef een verklaring voor het feit dat de piekoppervlakte van 2-propaanamine in chromatogram 2 kleiner is dan in chromatogram 1.
- 2p **24** □ Leg uit waarom dit op de uitkomst van het onderzoek geen invloed heeft.
- 3p **25** □ Ga door middel van een berekening na of de onderzochte persoon lijdt aan een milde of aan een ernstige vorm van het visluchtsyndroom.

Einde