

Je kunt bij een onderwerp komen door op de gewenste rubriek in de inhoud te klikken.

Wil je vanuit een rubriek terug naar de inhoud, klik dan op de tekst van de rubriek waar je bent.

Gewoon scrollen gaat natuurlijk ook.

## Inhoud

Scheidingsmethoden (onder- en bovenbouw) .....	2
Analysetechnieken (bovenbouw) .....	6
Procesindustrie (bovenbouw).....	22

## Scheidingsmethoden (onder- en bovenbouw)

### Opgave 1

- 1 Op welk verschil in eigenschap berust filtreren?
- 2 Welke andere scheidingsmethode kun je vaak in plaats van filtratie gebruiken?

Een suspensie wordt gefiltreerd. Het filtraat blijkt nog niet helemaal helder te zijn. Het filtraat wordt nog een keer over hetzelfde filter gefiltreerd. Nu is het filtraat wel helder.

- 3 Leg uit hoe het mogelijk is dat het eerste filtraat niet en het tweede filtraat wel helder is.

### Opgave 2

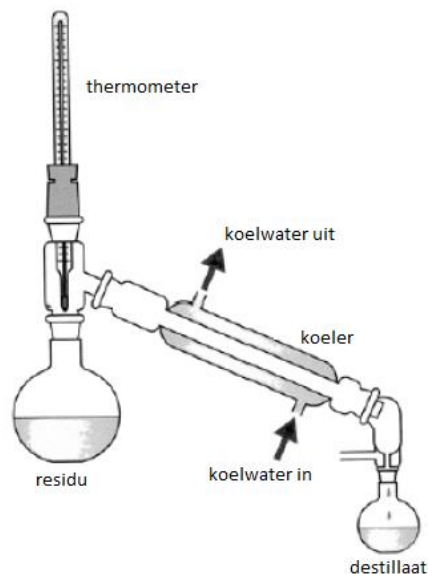
Een vloerkleed kun je reinigen door er poedervormig zeep op te strooien. Daarna wordt dit poeder met behulp van een stofzuiger eruit gehaald.

- 4 Leg uit van welke scheidingsmethode je hier gebruik maakt.?
- 5 Op welk verschil in eigenschap berust deze methode?

### Opgave 3

Spiritus bestaat uit een mengsel van de stoffen methanol en ethanol en een blauwe kleurstof. Het kookpunt van methanol is  $65^{\circ}\text{C}$  en van ethanol  $78^{\circ}\text{C}$ . Je kunt deze twee vloeistoffen zuiver in handen krijgen door middel van een destillatie.

- 6 Van welke eigenschap maak je gebruik bij een scheiding door middel van destillatie?
- 7 Maak een doorsnee tekening van een destillatie-opstelling. Geef hierin aan waar zich het destillaat, het residu, de thermometer en de koeler bevinden.



- 8 Leg uit waarom deze destillatie moeilijk lukt en wat moet je doen om het resultaat te verbeteren.
- 9 Schets in een grafiek hoe de temperatuur **van de inhoud van de kolf** verandert vanaf het moment dat je met de destillatie begint tot het moment waarop de kolf bijna helemaal is droog gekookt. Geef bij ieder lijnstuk kort aan wat er gebeurt. (Je hoeft geen schaalverdeling bij de assen te zetten).
- 10 Leg uit hoe je met behulp van de thermometer, die de temperatuur van de damp meet, kunt bepalen wanneer een vloeistof helemaal zuiver is opgevangen en je dus van opvangbakje moet wisselen.

#### Opgave 4

Joost krijgt een blauw gekleurde troebele vloeistof. Daarvan is gegeven dat dit mengsel uit drie stoffen bestaat. Er zijn twee mogelijke mengsels waar Joost er één van kreeg:

- I een kleurloze vloeistof + een blauw poeder dat niet oplosbaar is + een witte stof die wel is opgelost.
- II een blauwe vloeistof + een witte stof die niet oplosbaar is + een witte stof die wel is opgelost.

- 11 Beschrijf kort wat Joost moet doen om uit te maken of hij mengsel I of II heeft gekregen. Noteer de te verwachten waarnemingen en conclusies.

#### Opgave 5

De vloeistof koffie bevat de stof cafeïne. Cafeïne lost matig op in water, maar heel goed in de vloeistof chloroform. Door nu chloroform, dat niet met water mengbaar is, aan de koffie toe te voegen en flink te schudden, zal bijna alle cafeïne vanuit de waterlaag overgaan naar de chloroform. Vervolgens kun je de chloroformlaag aftappen en deze bewerking desgewenst herhalen.

- 12 Hoe noemen we de scheidingsmethode die hier is gebruikt? Op welk verschil in eigenschap berust deze methode?

Met behulp van chromatografie kun je laten zien of de uit koffie verkregen cafeïne werkelijk zuiver is.

- 13 Leg uit hoe je dit moet doen.
- 14 Leg uit wat je op het chromatogram zult zien als de cafeïne niet zuiver is.

#### Opgave 6

- 15 Leg uit of de volgende beweringen juist of onjuist zijn
- a Filtreren is een scheidingsmethode die kan worden toegepast om emulsies te scheiden.
  - b Centrifugeren is een scheidingsmethode die berust op het verschil in dichtheid.
  - c Een oplossing kan je alleen scheiden door destillatie.

#### Opgave 7

Victor en Errol hebben de opdracht gekregen om de kleurstof naftol-oranje te synthetiseren (te maken). Ze hebben hiervoor de stoffen naftol en een diazoniumzout nodig. Ze moeten de onderstaande vier stappen uitvoeren.

- I. Los in een beerglaasje 0,25 g naftol in 4 mL natriumhydroxide-oplossing op.
- II. Voeg het diazoniumzout hieraan toe. Er treedt nu een chemische reactie op waardoor, na even roeren, een dikke oranje brij ontstaat.
- III. Filtreer de brij. Vergeet niet eerst met wat demi-water het filtreerpapierje nat te maken! .

Het residu is de gevormde kleurstof naftol-oranje. Het filtraat is kleurloos.

- 16 Leg uit of de oranje brij (stap II) een suspensie of een emulsie is.
- 17 Leg uit of je filtraat (stap III) zuiver is.
- Max mag met de gemaakte kleurstof een stuk textiel kleuren. Dit doet hij door de kleurstof op te lossen in water en daarbij textiel te doen. De kleurstof hecht zich nu aan de textielvezel en na een minuut kan je de textiel drogen en is deze oranje gekleurd.
- 18 Leg uit of je het kleuren van het textiel kunt opvatten als een scheidingsmethode. Zo ja, leg dan uit om welke scheidingsmethode het gaat.

## Opgave 8

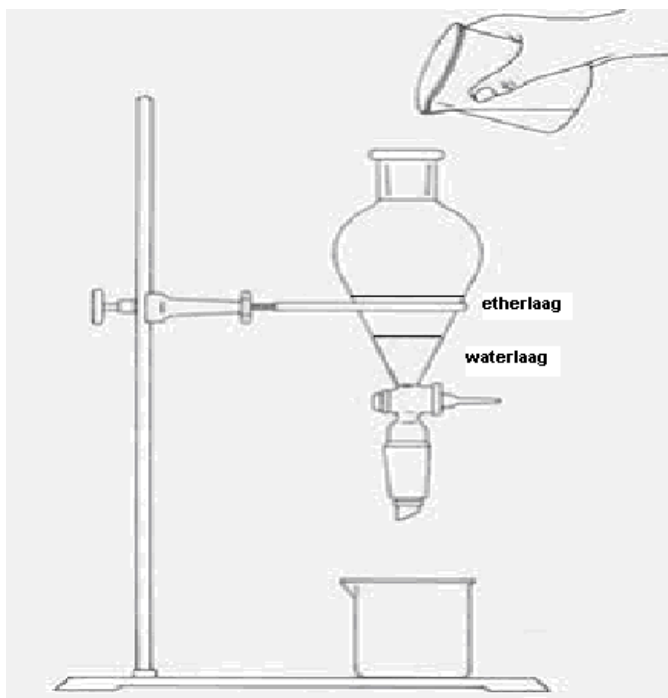
Tijdens een practicum bij scheikunde proberen Roos en Miriam om stinkend slootwater en alcohol te ontdoen van hun geur. Dit proefje voeren ze uit door een beetje slootwater in een reageerbuisje te doen en er een flinke schep norit aan toe te voegen. Na flink roeren filtreren ze de suspensie. Het blijkt nu dat het slootwater niet meer stinkt. Hetzelfde proefje voeren ze ook uit met een beetje alcohol.

19 Hoe heet de bovenstaande scheidingsmethode en op welk verschil in stoffeigenschap berust deze methode?

20 Leg uit of de alcohol ook geurloos is geworden.

Het blijkt dat er in het slootwater een giftige stof zit. Deze stof noemen we stof A. Stof A lost een beetje op in water, maar veel beter in de vloeistof ether. Ether en water mengen niet met elkaar. Ether heeft bovendien een veel kleinere dichtheid dan water.

Roos giet bij 500 mL slootwater 500 mL ether. Vervolgens doet ze het mengsel in een scheitrechter (zie het plaatje) en schudt er goed mee.

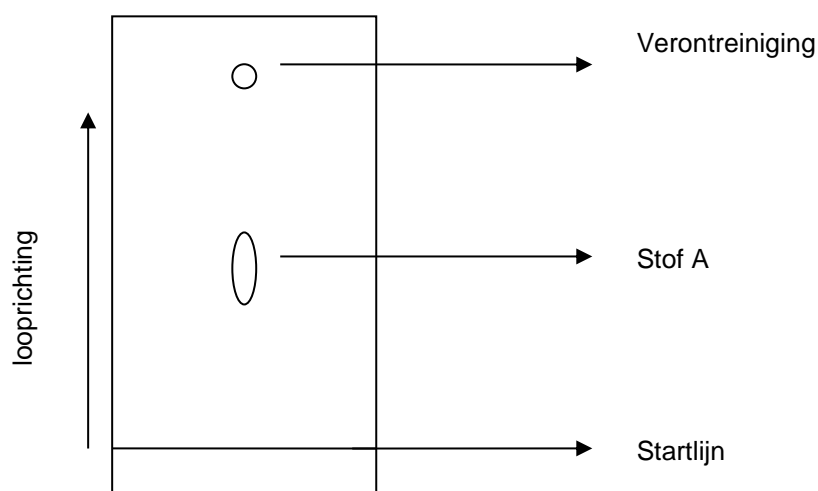


21 Leg uit in welke laag stof A nu zit.

22 Op welk verschil in stoffeigenschap berust deze scheidingsmethode en hoe heet deze scheidingsmethode? Na het apart opvangen van de waterlaag en etherlaag wordt de oplossing, waar stof A in zit, ingedampt.

23 Geef een overeenkomst en een verschil is tussen indampen en destilleren.

Vervolgens wordt met behulp van chromatografie gekeken of stof A zuiver is. De loopvloeistof is een mengsel van 50% dichloormethaan en 50% water. Het verkregen chromatogram ziet als volgt uit:



24 Wat kun je zeggen over stof A in vergelijking met de verontreiniging gelet op het verschil in oplosbaarheid in de loopvloeistof en het verschil in adsorptie aan het papier.

### Opgave 9

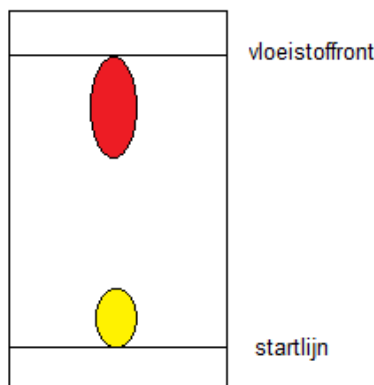
Men onderwerpt de inkt uit de viltstift "Fantasia" aan een proef met papierchromatografie.

De inkt blijkt een mengsel van twee kleurstoffen te zijn.

I Een rode, die goed in de loopvloeistof oplost en slecht door het papier wordt geadsorbeerd.

II Een gele, die niet zo goed in de loopvloeistof oplost en goed door het papier wordt geadsorbeerd.

- 25 Teken hoe het chromatogram er na de proef uitziet.



- 26 Wat is het principe van chromatografie?

### Opgave 10

25 gram van een bepaalde stof bevindt zich in 500. mL water. Deze stof lost drie keer zo goed op in chloroform als in water.

- 27 Beschrijf hoe je te werk moet gaan als je zoveel mogelijk van deze stof uit het water wilt verwijderen.
- 28 Hoe noemen we de scheidingsmethode die je hier hebt toegepast? Op welk verschil in eigenschap berust deze methode?
- 29 Hoe kun je er voor zorgen dat de chloroform weer opnieuw gebruikt kan worden?.
- 30 Bereken hoeveel g stof in het water achterblijft als je 500 mL chloroform toevoegt aan 500 mL van deze oplossing.
- In plaats van eenmaal 500 mL chloroform te gebruiken, wordt er tweemaal 250 mL gebruikt.
- 31 Laat met behulp van een berekening zien dat je beter twee 250 mL chloroform dan één keer 500 mL kunt gebruiken.

### Opgave 11

- 32 Beschrijf stap voor stap hoe je de stoffen jood, suiker, water en isopropanol, een vloeistof, van elkaar kunt scheiden. Gegeven is dat de vaste stoffen jood en suiker oplossen in isopropanol. Suiker en isopropanol zijn goed oplosbaar in water. Jood lost niet op in water. Isopropanol kookt bij 82 °C en water bij 100 °C. (Alle stoffen zijn in oplossing, want suiker en jood lossen op in isopropanol en isopropanol en wa

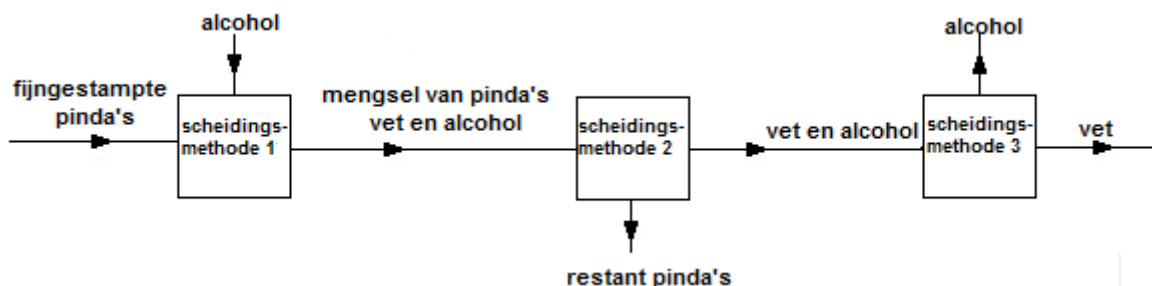
### Opgave 12

Geef stap voor stap (in een schema) aan wat je moet doen om de volgende mengsels te scheiden, zodanig dat je de stoffen zuiver in handen krijgt. Noteer ook alle waarnemingen die je doet.

- 33 Een mengsel van zand en suiker.
- 34 Een mengsel van ijzerpoeder, alcohol en benzine.
- 35 Een mengsel van marmervoeder, keukenzout en jood (keukenzout is oplosbaar in water, jood niet en jood is oplosbaar in alcohol, maar keukenzout niet).

### Opgave 13

Ester neemt een handvol pinda's en weegt deze af op een weegschaal. De massa van deze pinda's is 26,3 gram. Jacomijn stampet de pinda's eerst goed fijn. De fijngestampde pinda's doet zij in een erlenmeyer. Elbert voegt alcohol toe. Na voldoende schudden van de erlenmeyer is al het vet opgelost in de alcohol. De restanten van de pinda's kunnen gemakkelijk uit het mengsel worden verwijderd. Daarna scheiden ze het vet en de alcohol door de alcohol te verdampen. Het vet blijft over. Om de alcohol opnieuw te kunnen gebruiken, wordt de verdampte alcohol opgevangen en door afkoeling weer vloeibaar gemaakt. Hun werkwijze hebben zij in hun verslag schematisch weergegeven:



- 36 Welke van de scheidingsmethoden adsorptie, destillatie, extractie en filtratie worden toegepast? Noteer je antwoord als volgt:  
scheidingsmethode 1: ...  
scheidingsmethode 2: ...  
scheidingsmethode 3: ...

Jacomijn weegt het vet dat ze hebben verkregen. De hoeveelheid vet is 10,7 gram.

- 27 Bereken het massapercentage vet in pinda's.

Elbert zegt nu, dat het niet noodzakelijk was om het vet en de alcohol te scheiden, want ook zonder die scheiding had hij het massapercentage vet in de pinda's kunnen bepalen.

- 38 Geef aan hoe Elbert dan het massapercentage vet had kunnen bepalen.

### Opgave 14

Lucht is een mengsel van hoofdzakelijk stikstof en zuurstof.

- 39 Leg uit hoe je uit lucht zuivere zuurstof kunt maken (kookpunt stikstof is  $77\text{ K} = -196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; kookpunt zuurstof is  $90\text{ K} = -182\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

## Analysetechnieken (bovenbouw)

### Opgave 1

1-Butanol en 1-methoxypropan zijn isomeren.

- 1 Schrijf de structuurformules op van 1-butanol en 1-methoxypropan.

Een mengsel van ethanol, 1-butanol en 1-methoxypropan kan met een gaschromatograaf worden gescheiden. Er wordt een kolom met een polair adsorptiemateriaal gebruikt.

- 2 Leg uit welke stof het eerst en welke het laatst uit de kolom komt.

### Opgave 2

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 uitge-

scheiden.

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.

- 1 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.
- 2 Geef aan waarom niet een dieet zonder eiwit wordt voorgeschreven.

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

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*

- 3 Geef een verklaring voor het ontstaan van het zout dat in tekstfragment 1 wordt bedoeld.
- 4 Leg uit dat trimethylamine een vluchtiger stof is dan het zout waarvan in tekstfragment 2 sprake is. Betrek in je uitleg soorten bindingen die in de desbetreffende stoffen voorkomen.

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 [TMAO] de concentratie van trimethylamineoxide in de

verzamelde urine en [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.

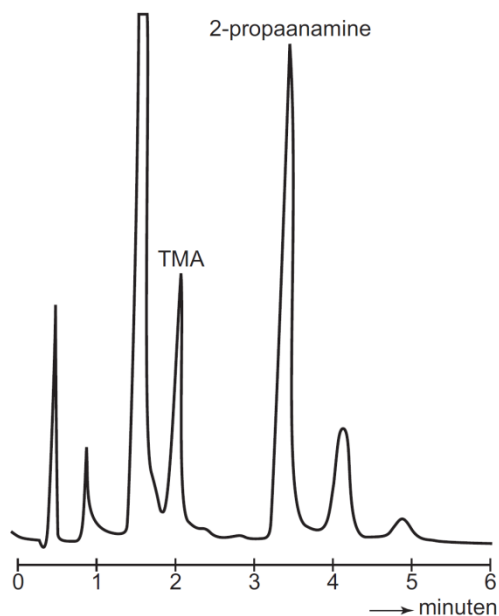
Bij deze bepaling, die met een gaschromatograaf wordt uitgevoerd, wordt aan de verzamelde urine eerst een kleine hoeveelheid 2-propaanamine toegevoegd. Dit 2-propaanamine dient uitsluitend als referentiestof; tijdens de bepaling reageert het niet met andere stoffen. De oplossing die is ontstaan na het 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  $\text{Ti}^{4+}$ .

- 5 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.



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-propanamine in chromatogram 2 kleiner dan in chromatogram 1. Dit laatste verschil heeft op de uitkomst van het onderzoek geen invloed.

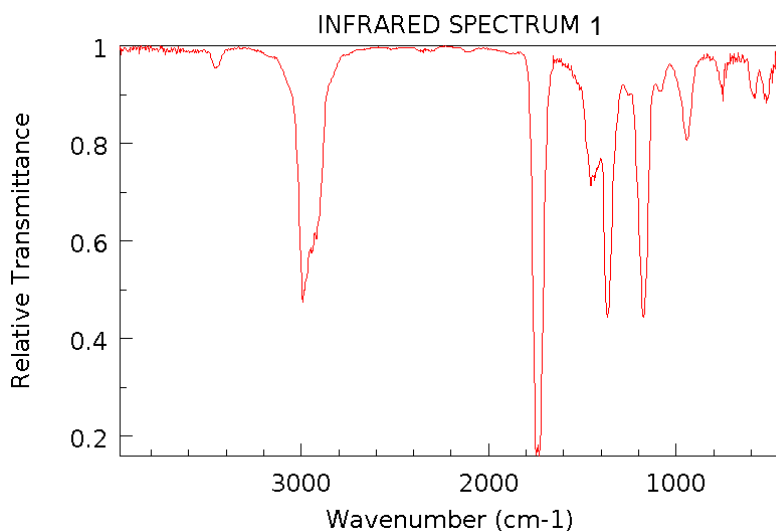
Bij een onderzoek van iemand die aan het visluchtsyndroom lijdt, was de verhouding tussen de piekoppervlaktes van trimethylamine en 2-propanamine in chromatogram 1 gelijk aan  $0,35 : 1,0$ . Na de behandeling met de  $\text{Ti}^{3+}$  oplossing was de verhouding tussen de piekoppervlaktes van trimethylamine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

- 6 Geef een verklaring voor het feit dat de piekoppervlakte van 2-propanamine in chromatogram 2 kleiner is dan in chromatogram 1.
- 7 Leg uit waarom dit op de uitkomst van het onderzoek geen invloed heeft.
- 8 Ga door middel van een berekening na of de onderzochte persoon lijdt aan een milde of aan een ernstige vorm van het visluchtsyndroom.

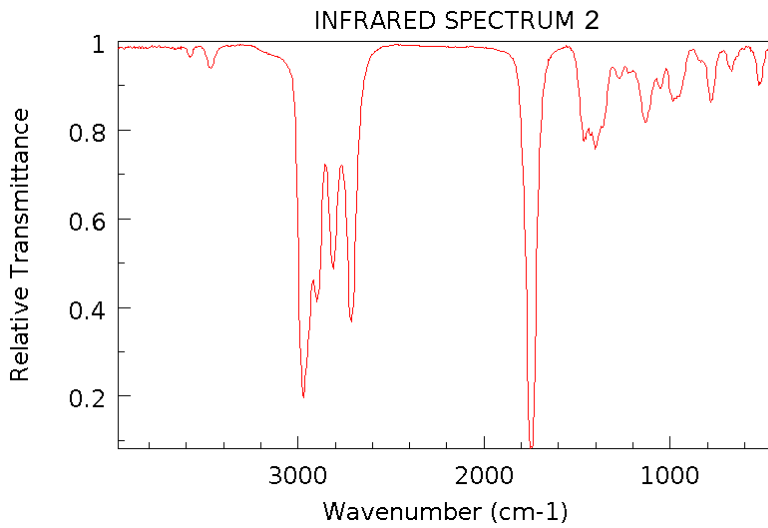
### Opgave 3

Hieronder staan in onbekende volgorde de IR-spectra afgebeeld van butanal en butanon.

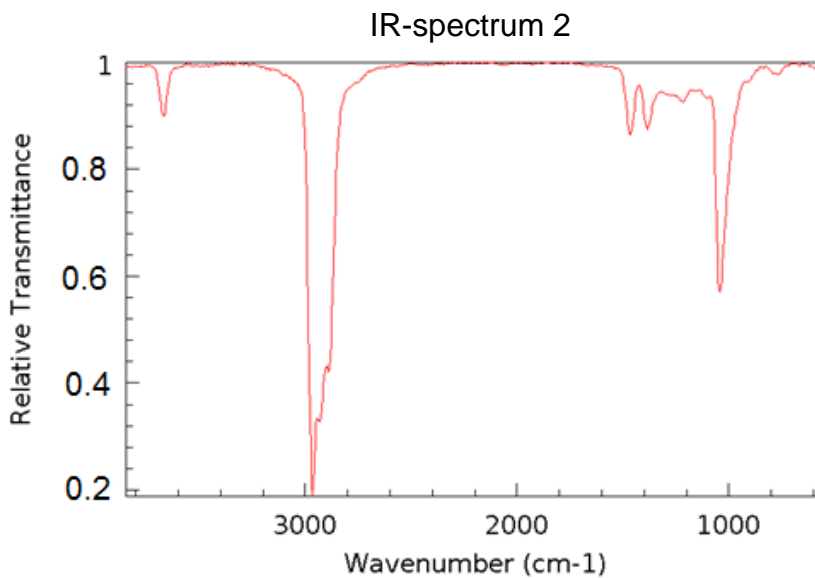
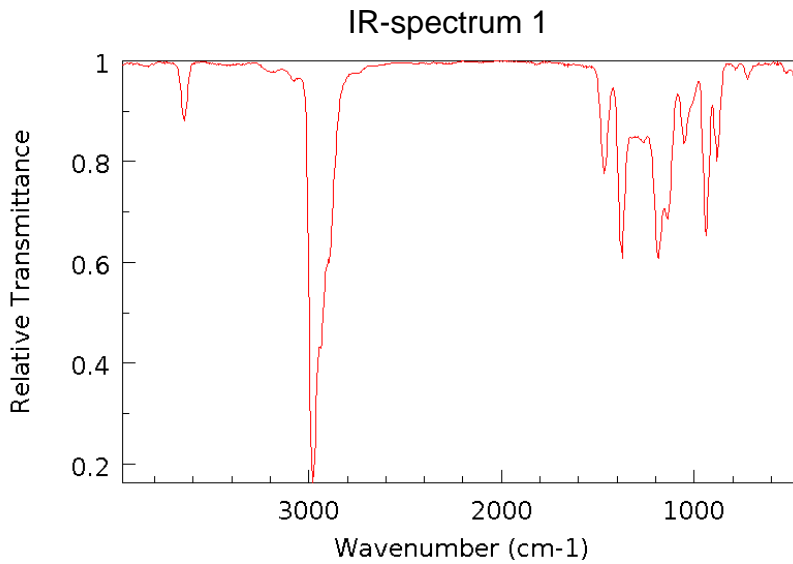
- 1 Ga na welk spectrum bij welke verbinding hoort door het opstellen van verklaringstabellen.



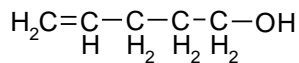
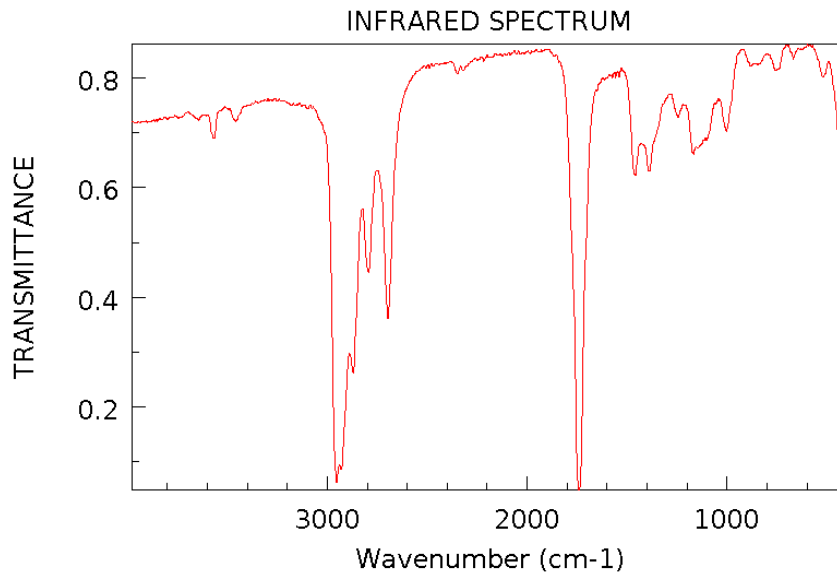




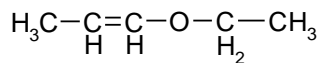
- 2 Hieronder staan in onbekende volgorde de IR-spectra afgebeeld van 2-methyl-2-butanol en 2-methyl-1-butanol.



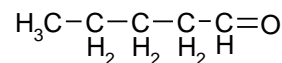
- 3 Ga na welk spectrum bij welke verbinding hoort door het opstellen van verklaringstabellen (Opmerking: de IR-spectra zijn opgenomen in de gasfase, daarom zijn de pieken bij circa 3700 cm<sup>-1</sup> niet breed en niet sterk.)
- 4 Welk van de vier onderstaande isomeren geeft onderstaand spectrum? Licht je antwoord toe door voor iedere verbinding aan te geven welke karakteristieke absorptiebanden je verwacht en ga dan na of die band(en) wel of niet in het spectrum voorkomen alvorens tot je conclusie te komen..



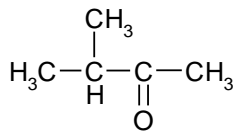
1



2



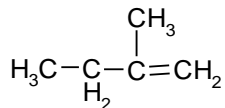
3



4

#### Opgave 4

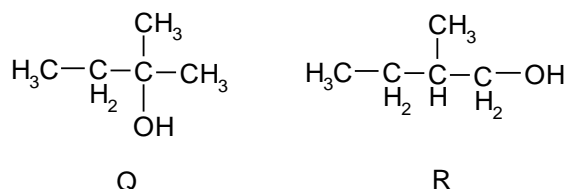
Een bepaalde koolwaterstof kan met onderstaande structuurformule P worden weergegeven.



P

- 1 Geef de systematische naam van de koolwaterstof die met bovenstaande structuurformule is weergegeven.

De koolwaterstof met structuurformule P kan met water reageren. De stoffen die hierbij ontstaan, zijn hieronder met de structuurformule Q en R weergegeven.



Wanneer men het mengsel van door middel van destillatie scheidt, worden twee kleurloze fracties verkregen.

Om vast te stellen welke structuurformule bij welke fractie hoort, kan men gebruik maken van een aangezuurde oplossing van kaliumpermanganaat.

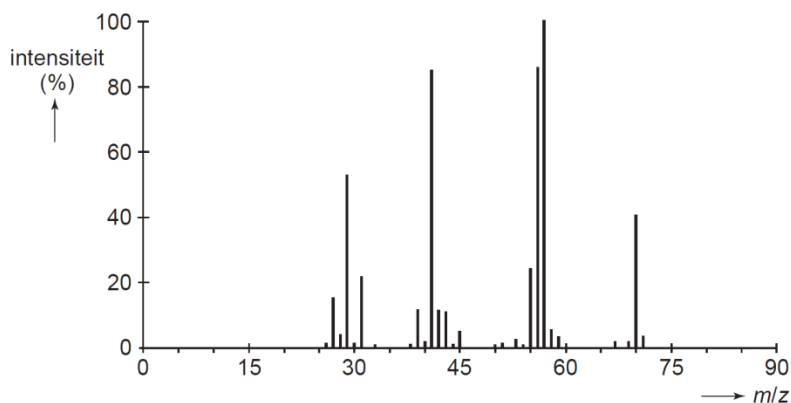
- 2 Leg aan de hand van het verschil in de structuurformules Q en R uit dat je een aangezuurde oplossing van kaliumpermanganaat kunt gebruiken om er achter te komen welke structuurformule bij welke fractie hoort.
- 3 Leg met behulp van gegevens uit BINAS uit welke waarneming(en) je doet wanneer een aangezuurde oplossing van kaliumpermanganaat aan beide fracties wordt toegevoegd.
- 4 Leg uit of één van de fracties optische activiteit vertoont.

Ook door van beide fracties het massaspectrum op te nemen, kan men nagaan welke structuurformule bij welke fractie hoort.

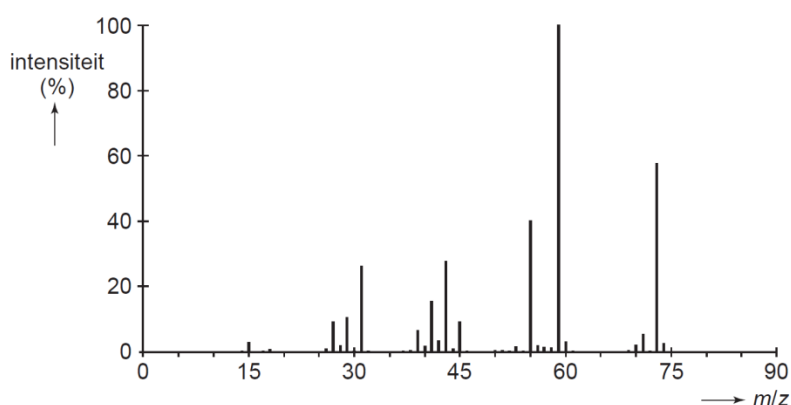
Bij massaspectrometrie worden moleculen eerst omgezet tot molecuulionen. Vaak splitsen deze molecuulionen zich in twee fragmenten: een fragment met een positieve lading en een ongeladen fragment. Kenmerkend voor alcoholen is dat daarbij onder andere de C – C binding breekt waar de OH groep zich aan bevindt. Men noemt dit verschijnsel  $\alpha$ -cleavage. Het fragment dat het O atoom bevat, krijgt hierbij de positieve lading. De intensiteiten van de pieken die bij deze fragmenten horen, is relatief hoog (20% of hoger).

Hieronder zijn de massaspectra van beide fracties afgebeeld.

### massaspectrum 1



### massaspectrum 2



Met behulp van de informatie over  $\alpha$ -cleavage kan worden nagegaan welke structuurformule moet worden toegekend aan welke fractie.

- 5 Geef de structuurformules van de positieve ionen die ontstaan bij  $\alpha$ -cleavage van de molecuulionen van Q en R. Noteer je antwoord als volgt:

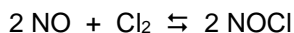
$\alpha$ -cleavage van het molecuulion van Q geeft:

$\alpha$ -cleavage van het molecuulion van R geeft:

- 6 Leg uit welk spectrum bij stof R en welk bij stof Q hoort.

### Opgave 5

Stikstofmono-oxide en chloor kunnen met elkaar reageren onder vorming van nitrosylchloride, NOCl. Het volgende evenwicht stelt zich in:



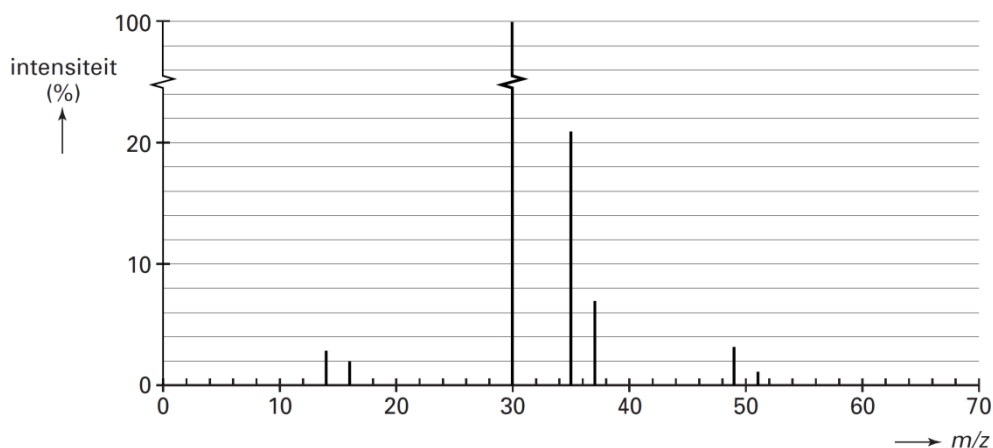
De reactiewarmte voor de reactie naar rechts is  $-0,38 \cdot 10^5$  J per mol NOCl (298 K,  $p = p_0$ ).

Men heeft 0,200 mol NO en 0,100 mol  $\text{Cl}_2$  samengevoegd in een afgesloten ruimte van 1,0 dm<sup>3</sup>. Toen het evenwicht zich had ingesteld, bleek 85% van het  $\text{Cl}_2$  te zijn omgezet. De temperatuur was 500 K. Bij deze temperatuur zijn alle bij het evenwicht betrokken stoffen gasvormig.

- 1 Bereken de waarde van de evenwichtsconstante van het evenwicht  $2 \text{NO} + \text{Cl}_2 \rightleftharpoons 2 \text{NOCl}$  bij 500 K. Men herhaalt het bovenbeschreven experiment bij 750 K.
- 2 Leg uit of dan in de evenwichtstoestand ook 85% van het  $\text{Cl}_2$  zal zijn omgezet of dat er meer of minder dan 85% van het  $\text{Cl}_2$  is omgezet.

De formule van nitrosylchloride wordt meestal geschreven als NOCl. Dat hoeft echter niet te betekenen dat dit daadwerkelijk de volgorde van de atomen in het molecuul weergeeft. Er van uitgaande dat een nitrosylmolecuul niet cyclisch is, zijn er in principe drie mogelijkheden voor de volgorde van de atomen in het molecuul: NOCl, ONCl of NClO. Met behulp van massaspectroscopie is na te gaan welke van deze drie mogelijkheden de juiste is.

In onderstaand figuur is het massaspectrum van nitrosylchloride weergegeven. Bij het opnemen van dit spectrum was de massaspectrometer zo afgesteld dat de uiterst kleine piekjes die veroorzaakt worden door ionen waarin de isotopen N-15, O-17 en O-18 voorkomen, niet worden weergegeven. Voor de ionen die zijn ontstaan uit moleculen nitrosylchloride hoeft dus uitsluitend rekening te worden gehouden met de isotopen N-14, O-16, Cl-35 en Cl-37. De hoogste piek in het massaspectrum van nitrosylchloride is gedeeltelijk weergegeven.



- Geef de formule van de ionsoort die de piek bij  $m/z = 30$  in het massaspectrum veroorzaakt.
- Leid met behulp van het massaspectrum af welke van de drie genoemde mogelijkheden voor de volgorde van de atomen in een nitrosylchloridemolecuul de juiste is.

## Opgave 6

Het water van de Dode Zee bevat vele opgeloste zouten waaronder bromiden.

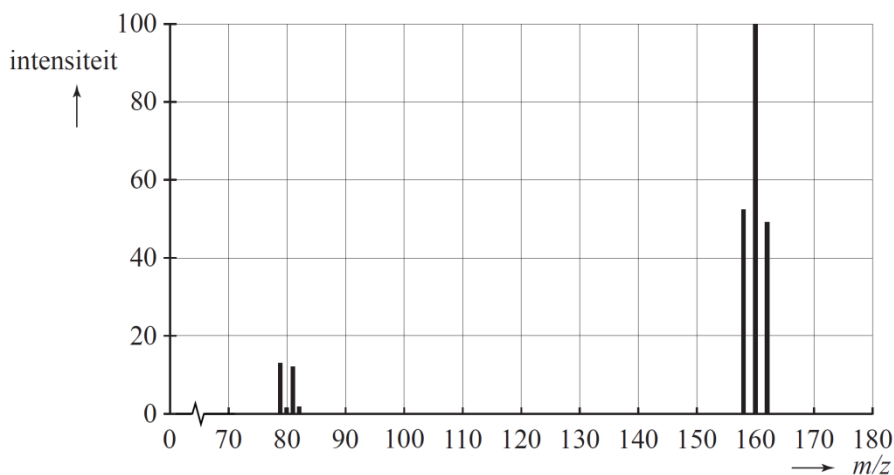
Door dit water onder invloed van de zon gedeeltelijk te laten verdampen wordt de bromide-concentratie grotere en uiteindelijk hoog genoeg om broom te gaan produceren. Dit gebeurt door chloor toe te voegen aan de oplossing die is overgebleven, nadat een deel van het water is verdampt.

- Geef de vergelijking van de omzetting van bromide tot broom door reactie met chloor.

Het gevormde broom bestaat uit de isotopen Br-79 en Br-81. Het wordt wel 'natuurlijk' broom genoemd. Enkele gegevens van deze isotopen staan in onderstaande tabel

	Br-79	Br-81
Atoommassa	78,9 u	80,9 u
Percentage voorkomen in de natuur	50,5	49,5

Het massaspectrum van natuurlijk broom is hieronder afgebeeld.



Natuurlijk broom dat op bovenstaande wijze is bereid, is altijd verontreinigd met wat waterstofbromide.

- Leg uit hoe uit het massaspectrum blijkt dat natuurlijk broom is verontreinigd met waterstofbromide.  
In laboratoria bereidt men vaak kleine hoeveelheden broom door een oplossing van kaliumbromide te laten reageren met een aangezuurde oplossing van kaliumdichromaat ( $K_2Cr_2O_7$ ). Er treedt dan een redoxreactie op.
- Leid de vergelijking van deze redoxreactie af met behulp van de vergelijkingen van de beide halfreacties.  
In een laboratorium wil men 50 mg  $^{81}Br_2$  bereiden.  $^{81}Br_2$  is broom waarvan de moleculen uitsluitend de isotoop Br-81 bevatten. Men gaat daarbij uit van  $K^{81}Br$ , kaliumbromide met uitsluitend de isotoop Br-81.
- Bereken hoeveel mg  $K^{81}Br$  minimaal nodig is om 50 mg  $^{81}Br_2$  te verkrijgen.

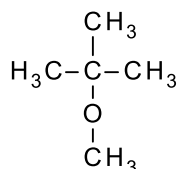
De leverancier van het  $K^{81}Br$  beweert dat van al het bromide dat in het kaliumbromide aanwezig is, minstens 99,0% Br-81 is en dus dat Br-79 voor 1,0% of minder aanwezig is. Om dit te controleren wordt met een zeer kleine hoeveelheid van het gevormde broom een massaspectrum opgenomen. De hoogte van de piek bij  $m/z = 162$  wordt vergeleken met de hoogte van de piek bij  $m/z = 160$ . De verhouding tussen deze piekhoogten blijkt 100,0 : 4,1 te zijn. De hoogte van de piek die bij  $m/z = 158$  ligt, is zo gering dat hij door de massaspectrometer niet meer wordt gemeten.

Bij massaspectrometrie is de piekhoogte recht evenredig met de hoeveelheid van het betreffende deeltje.

- Ga na of de bewering van de leverancier klopt dat het gehalte Br-81 in het geleverde kaliumbromide minstens 99,0% is

## Opgave 7

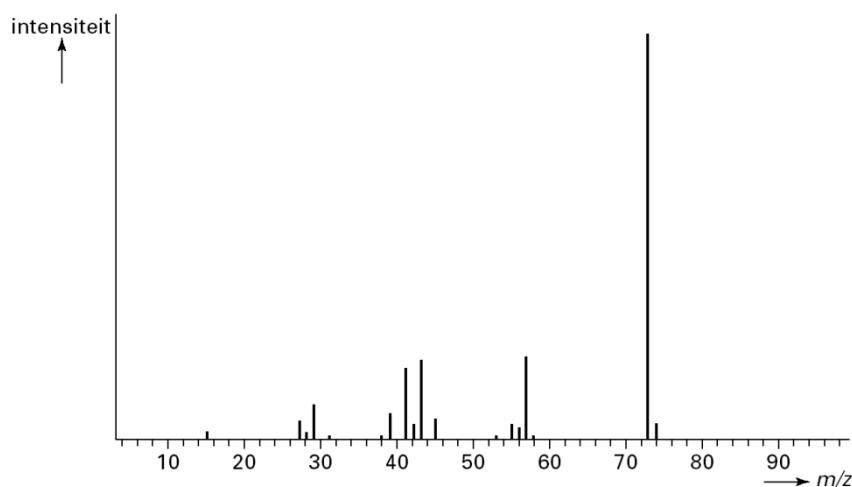
In autobenzine zijn zo'n 200 verschillende stoffen aanwezig, waaronder toluen en een stof die met MTBE wordt aangeduid. De structuurformule van MTBE is:



MTBE wordt aan benzine toegevoegd omdat deze stof zorgt voor een betere verbranding van de benzine in automotoren. In de motor verbrandt MTBE zelf ook.

- Geef de reactievergelijking, in molecuulformules, voor de volledige verbranding van MTBE.  
Het massaspectrum van MTBE is hieronder afgebeeld.

Massaspectrum van MTBE:



- 2 Geef de structuurformule van een ionsoort die de piek bij  $m/z = 73$  kan veroorzaken.

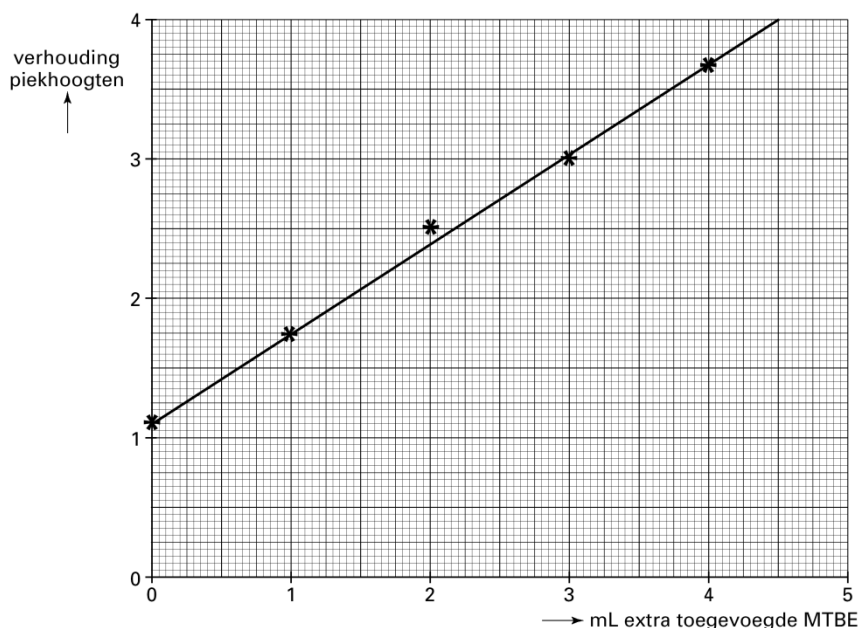
Een methode die wordt toegepast om het MTBE-gehalte van benzine te bepalen, maakt gebruik van gaschromatografie gevolgd door massaspectrometrie. Er wordt een ijkreeks van vijf oplossingen van benzine in een oplosmiddel gemaakt. Aan vier van de vijf oplossingen is een nauwkeurig afgemeten extra hoeveelheid MTBE toegevoegd (zie tabel hieronder).

oplossing	mL benzine	extra mL MTBE	mL oplosmiddel	$\frac{\text{hoogte piek } m/z = 73 \text{ van MTBE}}{\text{hoogte piek } m/z = 91 \text{ van toluen}}$
1	15	0	5	1,1
2	15	1	4	1,8
3	15	2	3	2,5
4	15	3	2	3,0
5	15	4	1	3,7

Elke oplossing wordt in een gaschromatograaf gescheiden. Van de MTBE-fractie en de toluenfractie uit een oplossing worden de massaspectra opgenomen en met elkaar vergeleken.

Bij massaspectrometrie geldt dat de hoogte van de gemeten pieken in een massaspectrum recht evenredig is met de hoeveelheid stof die aanwezig is. De piekhoogte van de hoogste piek in het massaspectrum van MTBE (die bij  $m/z = 73$ ) wordt gedeeld door de piekhoogte van de hoogste piek in het massaspectrum van toluen (die bij  $m/z = 91$ ). Dit wordt voor alle vijf de oplossingen gedaan. De uitkomsten van deze berekeningen staan in de laatste kolom van bovenstaande tabel.

De gegevens uit de tabel zijn verwerkt in onderstaand diagram



Op de verticale as van het diagram zijn de verhoudingen tussen de genoemde piekhoogten uitgezet, op de horizontale as de hoeveelheid extra toegevoegde MTBE. Met behulp van het diagram kan de hoeveelheid MTBE in de onderzochte benzine worden bepaald.

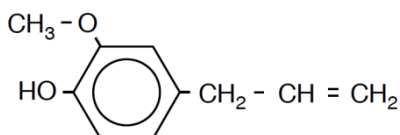
- 3 Bereken met behulp van het diagram het volumepercentage MTBE in de onderzochte benzine.

De betere verbranding van benzine waaraan MTBE is toegevoegd, wordt veroorzaakt door de gebonden O atomen die in MTBE aanwezig zijn. Deze O atomen worden tijdens de verbranding gebruikt, samen met zuurstof uit de lucht. Daardoor ontstaat tijdens de verbranding minder koolstofmonoxide. In delen van de VS moet in de wintermaanden minstens 2,7 massaprocent gebonden zuurstof in benzine aanwezig zijn. Door lekkages van benzinetanks, verkeersongelukken en gewoon morsen bij het tanken, komt benzine in de bodem terecht en uiteindelijk in het grondwater. Omdat MTBE een kankerverwekkende stof is, wil men in de VS daarom MTBE vervangen door ethanol. De motoren van nagenoeg alle auto's lopen probleemloos op benzine met 10 volumeprocent ethanol.

- 4 Laat door berekening zien dat het massaprocentage O in benzine waarin 10 volumeprocent ethanol aanwezig is, groter is dan 2,7. Neem bij de berekening aan dat de dichtheid van het benzine-ethanol mengsel  $0,73 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$  is en dat ethanol de enige zuurstofhoudende verbinding in het benzine-ethanol mengsel is. Er is onder meer een gegeven uit Binas-tabel 11 nodig.

### Opgave 8

Kruidnagel heeft een kenmerkende geur die wordt veroorzaakt door de stof eugenol. De structuurformule van eugenol is:



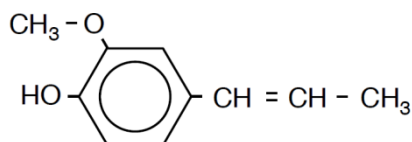
eugenol

- 1 Geef de systematische naam van eugenol. Gebruik de systematische naam (2-propenyl) voor de zijtak  $-\text{CH}_2 - \text{CH} = \text{CH}_2$ .

Eén van de isomeren van eugenol is iso-eugenol. De structuurformules van eugenol en van iso-eugenol lijken sterk op elkaar. Niettemin verschillen deze stoffen in een aantal eigenschappen. Eén van die eigenschappen is de geur: iso-eugenol is verantwoordelijk voor de geur van nootmuskaat.

De structuurformule van iso-eugenol kan als volgt worden weergegeven:



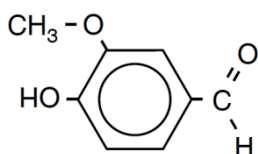


iso-eugenol

De gegeven structuurformule van eugenol heeft betrekking op één stof. De structuurformule die voor iso-eugenol is gegeven, heeft betrekking op twee stoffen.

- 2 Leg uit dat de gegeven structuurformule van eugenol betrekking heeft op één stof en dat de gegeven structuurformule van iso-eugenol betrekking heeft op twee stoffen.

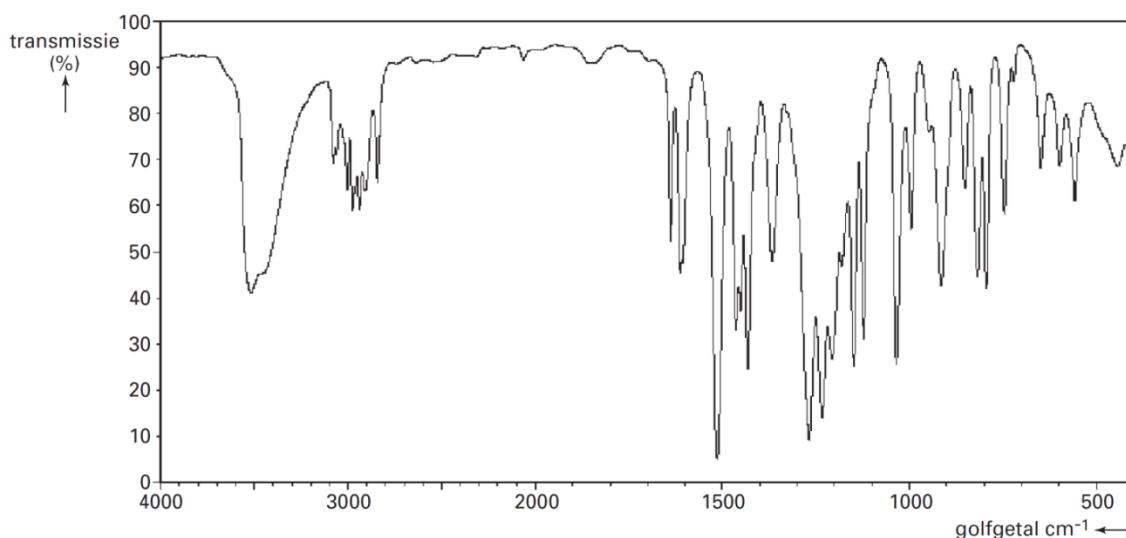
Eugenol en iso-eugenol kunnen als grondstof worden gebruikt voor de bereiding van een andere geurstof: vanilline. De structuurformule van vanilline is:



vanilline

Omdat eugenol in grote hoeveelheden voorhanden is, wordt deze stof het meest gebruikt voor de bereiding van vanilline. Daarvoor moet de eugenol eerst uit kruidnagelolie worden gewonnen. Daartoe schudt men de kruidnagelolie met natronloog. In de reactie die daarbij optreedt, reageert eugenol als zuur. Dit is mogelijk doordat de OH groep die in een eugenolmolecuul aan de benzeenring is gebonden zure eigenschappen heeft. Na de reactie zijn twee vloeistofflagen ontstaan: een waterige laag waarin onder andere de zuurrest van eugenol aanwezig is en een olielaag. Na het scheiden van de twee lagen wordt in de waterige laag door aanzuren de zuurrest van eugenol weer omgezet tot eugenol.

- 3 Geef de reactievergelijking van de reactie van eugenol met natronloog. Gebruik voor de organische deeltjes structuurformules.  
De omzetting van eugenol tot vanilline is op te vatten als een redoxreactie. Behalve vanilline ontstaat onder andere ook ethaanzuur. De omzetting van eugenol tot vanilline en ethaanzuur kan worden weergegeven met de vergelijking van één halfreactie.
- 4 Geef de vergelijking van de halfreactie voor de omzetting van eugenol tot vanilline en ethaanzuur. Gebruik voor de organische deeltjes molecuulformules. In deze vergelijking komen behalve deze molecuulformules onder andere ook  $H^+$  en  $H_2O$  voor.  
Om na te gaan of eugenol inderdaad tot vanilline is omgezet, wordt van het reactieproduct een infraroodspectrum (IR-spectrum) opgenomen. Dit spectrum kan worden vergeleken met het IR-spectrum van de beginstof eugenol. In onderstaande figuur is het IR-spectrum van eugenol (dunne vloeistoflaag) afgebeeld.

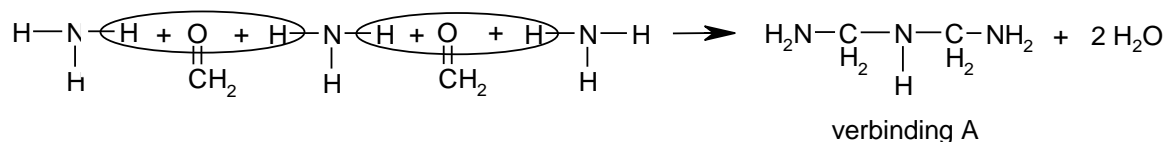


Het IR-spectrum van vanilline zal tenminste één piek bevatten die niet in het IR-spectrum van eugenol voorkomt. Bovendien zal tenminste één piek in het IR-spectrum van eugenol voorkomen die niet in het IR-spectrum van vanilline te zien is.

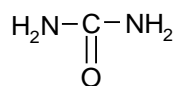
- 5 Noem een vibratie die in eugenolmoleculen een piek in het IR-spectrum van eugenol veroorzaakt die niet voorkomt in het IR-spectrum van vanilline. Geef ook het absorptiegebied (in  $\text{cm}^{-1}$ ) van die piek.
- 6 Noem een vibratie die in vanillinemoleculen een piek in het IR-spectrum van vanilline veroorzaakt die niet voorkomt in het IR-spectrum van eugenol. Geef ook het absorptiegebied (in  $\text{cm}^{-1}$ ) van die piek.

## Opgave 9

Van sommige spaanplaten komt methanalgas af. Dit kan men tegengaan door de spaanplaten te behandelen met ammoniak. Ammoniak kan als volgt reageren met methanal:



Het methanalgas dat van de spaanplaten komt, is afkomstig uit de lijm die bij het maken van de spaanplaten is gebruikt. Deze lijm bevat een polymeer dat gemaakt wordt uit ureum en methanal. Ureum heeft de volgende structuurformule:

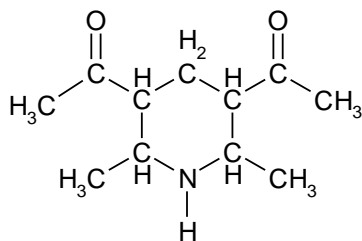


Ureum en methanal reageren met elkaar op soortgelijke wijze als ammoniak en methanal in de boven weergegeven reactievergelijking. De moleculen van het polymeer in de lijm zijn gevormd uit ureum-eenheden en methanal-eenheden die steeds om en om aan elkaar gekoppeld zijn. Bij de polymerisatie blijven de C = O groepen van de ureummoleculen intact.

- 1 Geef van het polymeer in de lijm een gedeelte uit het midden van een polymeermolecuul in structuurformule weer. Dit gedeelte dient opgebouwd te zijn uit twee ureum-eenheden en twee methanal-eenheden.

In ruimten met wanden van spaanplaatmateriaal kan methanal in de lucht aanwezig zijn. Een te hoog gehalte aan methanal in de lucht kan schadelijk zijn voor de gezondheid. Het gehalte aan methanal kan bepaald worden door een spectrofotometrische meting van de concentratie van het reactieproduct dat ontstaat bij de reactie tussen methanal, ammoniak en

2,4-pentaandion. Bij deze reactie ontstaan uitsluitend water en een verbinding B.  
Verbinding B heeft de volgende structuurformule:



verbinding B

Uit 1 mol methanal dat reageert, ontstaat bij deze reactie 1 mol van verbinding B.

- 2 Geef de vergelijking van deze reactie. Geef 2,4-pentaandion daarbij in een structuurformule weer. Het organische reactieproduct mag als "verbinding B" in de reactievergelijking genoteerd worden

Een voorbeeld van een bepaling van methanal is hieronder beschreven.

Men liet  $150 \text{ dm}^3$  lucht van  $p = p_0$  en  $T = 298 \text{ K}$  uit een ruimte met wanden van spaanplaatmateriaal door een hoeveelheid water methanal borrelen. Men mag aannemen dat alle methanal uit deze lucht daarbij in het water oploste.

Men voegde aan de ontstane oplossing zoveel van een oplossing van ammoniak en van 2,4-pentaandion toe totdat het totale volume van de oplossing  $90,0 \text{ ml}$  was. Hierbij werd methanal volledig omgezet in verbinding B. Verbinding B bleef volledig in oplossing. Men bepaalde vervolgens de extinctie  $E$  van de verkregen oplossing bij een golflengte van  $412 \text{ nm}$ . De extinctiecoëfficiënt  $\epsilon$  van verbinding B bij  $412 \text{ nm}$  bedraagt  $7,45 \cdot 10^3 \text{ L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ .

Er werd een cuvet gebruikt waarin het licht een weg van  $1,00 \text{ cm}$  door de oplossing aflegde. Men mag aannemen dat alleen verbinding B licht van  $412 \text{ nm}$  absorbeert.

De gemeten extinctie  $E$  was  $7,5 \cdot 10^{-2}$ .

Het maximaal toelaatbare gehalte aan methanal in lucht is door de "World Health Organisation" (WHO) vastgesteld op  $8,0 \cdot 10^{-6}$  volumeprocent.

- 3 Laat met een berekening zien of de onderzochte lucht aan deze veiligheidseis van de WHO voldoet. Maak hierbij onder andere gebruik van een gegeven uit Binas tabel 7.

## Opgave 10

Het nitraatgehalte van drinkwater kan worden bepaald met behulp van de reactie van nitraat met salicylzuur. De beginstoffen bij deze reactie zijn kleurloos. Eén van de reactieproducten geeft aan een oplossing een gele kleur: hoe hoger de concentratie van dat reactieproduct, des te groter is de intensiteit van die gele kleur. Uit de intensiteit van de gele kleur is de nitraatconcentratie in het drinkwater af te leiden. Daartoe moet bij de reactie tussen nitraat en salicylzuur een overmaat zijn van één van beide stoffen.

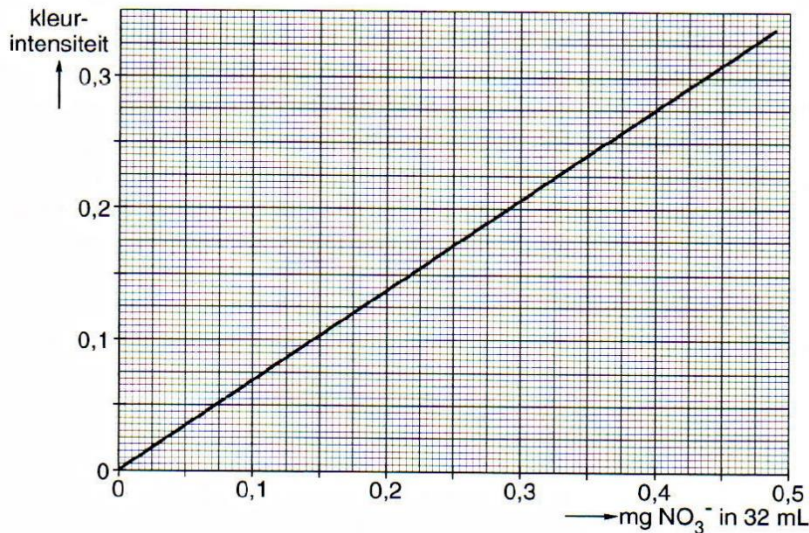
- 1 Van welke stof moet een overmaat zijn? Geef een verklaring voor je antwoord.

Bij een op de juiste wijze uitgevoerde nitraatbepaling werd eerst een reeks oplossingen gemaakt. Elk van deze oplossingen bevatte een bekende hoeveelheid nitraat. Vervolgens werd van elke oplossing bepaald wat de intensiteit van de gele kleur was na reactie met salicylzuur.

De oplossingen van deze zogenoemde 'ijkreeks' werden gemaakt met behulp van een oplossing die  $200 \text{ mg NO}_3^-$  per liter bevatte.

- 2 Bereken hoeveel  $\text{mg NaNO}_3$  men moet afwegen om  $250 \text{ mL}$  oplossing met een gehalte van  $200 \text{ mg NO}_3^-$  per liter te verkrijgen.

Met behulp van een apparaat een zogenoemde 'colorimeter', kan men de kleursterkten of kleurintensiteiten van de oplossingen van de ijkreeks meten. De resultaten zijn uitgezet in onderstaand diagram. Iedere oplossing van de ijkreeks had een volume van  $32 \text{ mL}$ .



Daarna heeft men 20 mL drinkwater genomen en het nitraat hieruit ook op de juiste wijze met salicylzuur laten reageren. De uiteindelijk verkregen oplossing had een volume van 32 mL. De kleurintensiteit was 0,263.

- 3 Bereken het nitraatgehalte van het onderzochte drinkwater in mg per liter.

In een bepaald gebied in ons land wordt drinkwater uit grondwater gewonnen. Ten gevolge van overbemesting is het nitraatgehalte van dat grondwater veel te hoog geworden. Daarom wordt bij de bereiding van drinkwater uit dit grondwater, drinkwater met een lager nitraatgehalte toegevoegd. Het waterleidingbedrijf mengt water met een nitraatgehalte van 84 mg per liter (water A) met water met een nitraatgehalte van 18 mg per liter (water B). Op elke 10 liter van water A wordt 45 liter van water B toegevoegd.

- 4 Bereken het nitraatgehalte, in mg per liter, van het ontstane mengsel.

## Opgave 11

Oplossingen van ijzer(II)zouten krijgen na toevoeging van orthofenantroline een dieprode kleur. In de formules in deze opgave wordt orthofenantroline aangeduid met fen.

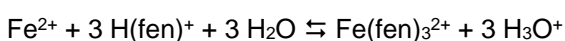
De dieprode kleur wordt toegeschreven aan de aanwezigheid van het complexe ion  $\text{Fe}(\text{fen})_3^{2+}$ .

Orthofenantroline wordt gebruikt om het ijzer(II)gehalte van grondwater te bepalen. De intensiteit van de rode kleur is dan een maat voor de ijzer(II)concentratie, echter alleen als aan de voorwaarde wordt voldaan dat alle of nagenoeg alle ijzer(II) als  $\text{Fe}(\text{fen})_3^{2+}$  aanwezig is.

Om het ijzer(II)gehalte van een monster grondwater te bepalen, wordt hiervan 5,00 mL gepipetteerd. Met behulp van een bufferoplossing wordt de pH op 3,5 gebracht. vervolgens wordt een grote overmaat, namelijk 6 mmol orthofenantroline toegevoegd, waarna de oplossing met gedestilleerd water tot 100,0 mL wordt aangevuld.

Het orthofenantroline is in deze oplossing vrijwel geheel omgezet in  $\text{H}(\text{fen})^+$ , het geconjugeerde zuur van orthofenantroline.

In de oplossing stelt zich het volgende evenwicht in:

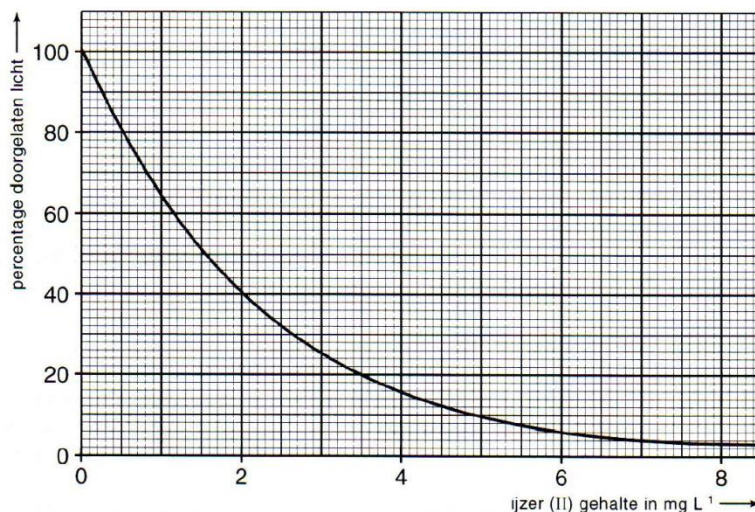


Van dit evenwicht is  $K = 2,5 \cdot 10^{-5}$ .

- Leg uit dat de pH van deze oplossing niet te laag mag zijn.
- Laat door berekening zien dat in de bereide oplossing met  $\text{pH} = 3,5$  nagenoeg al het ijzer(II) als  $\text{Fe}(\text{fen})_3^{2+}$  aanwezig is.

Met behulp van een zogenoemde colorimeter wordt de kleurintensiteit van de bereide oplossing gemeten door er een lichtbundel door te laten vallen. De intensiteit van het licht dat door deze oplossing is doorge-

laten, wordt gemeten en vergeleken met de intensiteit van het opvallende licht. Uit het percentage van het opvallende licht dat doorgelaten wordt, kan de concentratie van  $\text{Fe}(\text{fen})_3^{2+}$  worden bepaald. Bij de beschreven ijzer(II)bepaling in grondwater vindt men dat 28% van het licht doorgelaten wordt. Met dezelfde colorimeter wordt de kleurintensiteit gemeten van oplossingen met bekende  $\text{Fe}(\text{fen})_3^{2+}$  concentraties. In onderstaand diagram is van deze oplossingen het percentage doorgelaten licht uitgezet tegen het ijzer(II)gehalte.



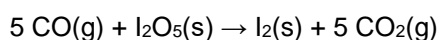
- 3 Bereken het ijzer(II)gehalte in het oorspronkelijk monster grondwater in  $\text{mg L}^{-1}$ .

Bij de bepaling werd in het grondwater alleen het aanwezige ijzer(II) bepaald. Er kan echter daarnaast ook ijzer(III) in grondwater aanwezig zijn. Met behulp van de beschreven methode met lichtmeting en orthofenantroline als reagens kan naast het ijzer(II)gehalte ook het ijzer(III)gehalte van grondwater bepaald worden.

- 4 Geef aan hoe je de beschreven methode ook bruikbaar kunt maken voor de bepaling van het ijzer(III)gehalte, waarbij geen andere dan de gegeven ijklijn mag worden geraadpleegd.

## Opgave 12

Het gehalte aan koolstofmono-oxide in sigarettenrook kan men onder andere bepalen door koolstofmono-oxide met behulp van dijoodpentaoxide eerst kwantitatief om te zetten in jood. Het gevormde jood kan men met behulp van UV-spectrometrie bepalen. Bij deze bepaling met een bepaald soort sigaretten, wordt  $500 \text{ cm}^3$  sigarettenrook ( $V_m=24,0 \text{ dm}^3/\text{mol}$ ) door een wasfles geleid met 100 mL oplossing van dijoodpentaoxide in methanol. Hierbij verloopt de volgende reactie:



De oplossing is in het begin kleurloos, maar als alle koolstofmono-oxide gereageerd heeft, bruinachtig door het gevormde jood. Bij meting met een spectrometer meet men een extinctie  $E = 0,69$ . Met behulp van deze spectrometer heeft men onder dezelfde omstandigheden ook de intensiteit  $I$  gemeten van enkele standaardoplossingen.

Standaardoplossing 1 bevat geen jood. Standaardoplossing 2 bevat  $1,00 \times 10^{-3} \text{ mol I}_2/\text{liter}$ . Standaardoplossingen 3, 4 en 5 worden als volgt gemaakt: men pipetteert achtereenvolgens 50,0, 25,0 en 15,0 mL van standaardoplossing 2 in 100 mL maatkolven en vult tot de maatstreep aan met methanol. De meetresultaten staan in de onderstaande tabel.

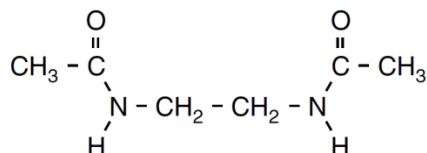
standaardoplossing	intensiteit I (%)	E
1	100,0	0,00
2	12,9	0,89
3	36,3	
4	59,9	0,23
5	74,2	0,13

- 1 Leg uit waarom je bij een dergelijke bepaling ook altijd een blanco bepaling moet doen.
- 2 Bereken de ontbrekende extinctie en teken de ijklijn met de extinctie op de y-as en de molariteit van jood op de x-as.
- 3 Bereken het gehalte aan koolstofmono-oxide in sigarettenrook (volgens deze bepaling) in volume-%.

## Procesindustrie (bovenbouw)

### Opgave 1

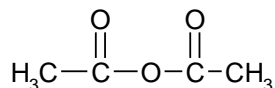
De industriële bereiding van het wasmiddelbestanddeel TAED (tetraacetylethyleendiamine) vindt plaats in een fabriek via de bereiding van het tussenproduct DAED (diacetylethyleendiamine). DAED heeft de volgende structuurformule:



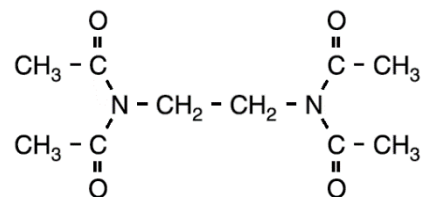
DAED wordt bij het industriële proces gevormd in een reactor waarbij een stof X met azijnzuur reageert in de molverhouding 1 : 2. Bij die reactie wordt behalve DAED uitsluitend water gevormd.

- 1 Geef de structuurformule van stof X.

Men verwijdert het water en laat het gevormde DAED in een andere reactor in dezelfde fabriek reageren met azijnzuuranhydride. Azijnzuuranhydride heeft de volgende structuurformule:

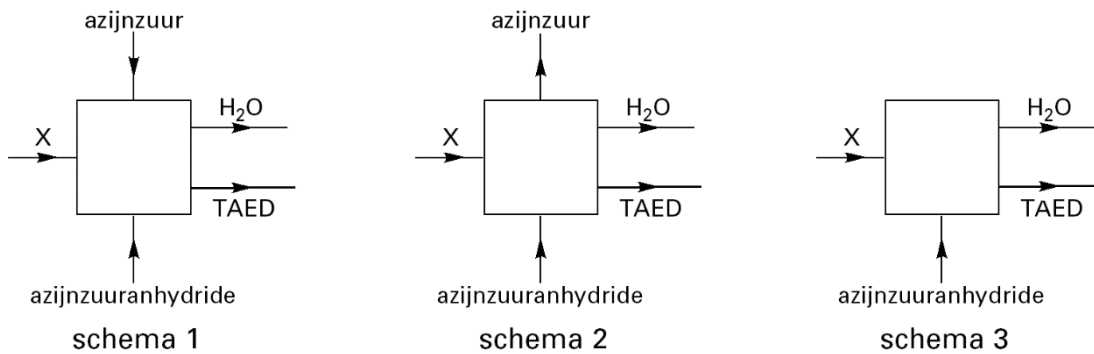


DAED en azijnzuuranhydride reageren in de molverhouding 1 : 2; daarbij ontstaan uitsluitend TAED en azijnzuur. De structuurformule van TAED is:



In een fabriek waarin TAED via een continu proces volgens bovengenoemde reacties gemaakt wordt, worden de stoffen zo efficiënt mogelijk gebruikt. Eén van de onderstaande schema's geeft in de continu werkende fabriek de aan- en afvoer van stoffen weer.





- 2 Leg uitgaande van de gegeven molverhoudingen uit welk van deze schema's de aan- en afvoer van stoffen in de fabriek juist weergeeft.

## Opgave 2

Bij de winning van sacharose uit suikerbieten wordt de sacharose verkregen door kristallisatie uit het zogenoemde diksap, een geconcentreerde oplossing van sacharose. Omdat sacharose een optisch actieve stof is, kan de concentratie van sacharose in een oplossing worden bepaald door meting van de optische activiteit van die oplossing.

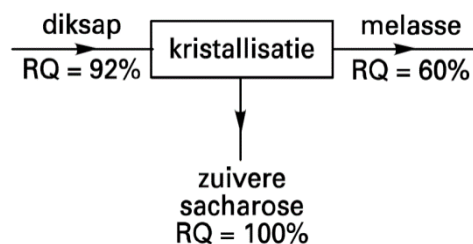
Bij een bepaling van de concentratie van sacharose in diksap werd 100 mL van de oplossing eerst verdund tot 500 mL. Na uitvoering van de analyse in de verdunde oplossing vond men voor het onderzochte diksap een concentratie van  $0,154 \text{ g mL}^{-1}$

- 1 Bereken uit bovenstaande gegevens het massapercentage sacharose in het onderzochte diksap. De dichtheid van diksap is  $1,20 \text{ g mL}^{-1}$ .

Bij de winning van sacharose is niet alleen het massapercentage sacharose van de oplossing van belang, maar ook de mate van verontreiniging. Daarom gebruikt men wel het begrip reinheidsquotiënt. Het reinheidsquotiënt (RQ) is gedefinieerd als:

$$\text{RQ} = \frac{\text{massa van de sacharose in een hoeveelheid mengsel}}{\text{massa van de totale vaste stof in dat mengsel}} \times 100\%$$

De kristallisatie van sacharose in een suikerfabriek is een continu proces en kan als volgt schematisch worden weergegeven:



Diksap heeft een  $\text{RQ} = 92\%$ , dat wil zeggen dat van de 100 gram opgeloste vaste stof 92 gram sacharose is en dat de resterende 8 gram andere vaste stoffen zijn.

- 2 Bereken hoeveel massaprocent van de in diksap opgeloste sacharose tijdens de kristallisatie wordt afgescheiden als zuivere sacharose.

Bij de kristallisatie maakt men gebruik van een aantal kenmerken van mengsels van sacharose en water:

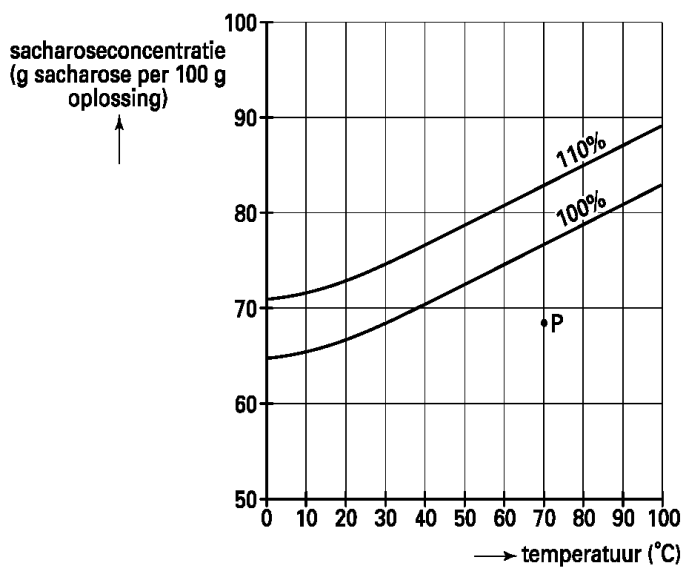
- de oplosbaarheid van sacharose in water neemt af bij dalende temperatuur;
- het is mogelijk een 110% verzadigde oplossing van sacharose in water te maken; in zo'n oplossing is de oplosbaarheid van sacharose met 10% overschreden zonder dat vaste stof ontstaat;
- als in een 110% verzadigde oplossing van sacharose wat sacharosekristallen worden gebracht, kristalliseert zoveel sacharose uit dat een 100% verzadigde oplossing ontstaat.

Er zijn verschillende mogelijkheden om uit diksap door kristallisatie sacharose te winnen.

Eén van die mogelijkheden omvat de volgende stappen.

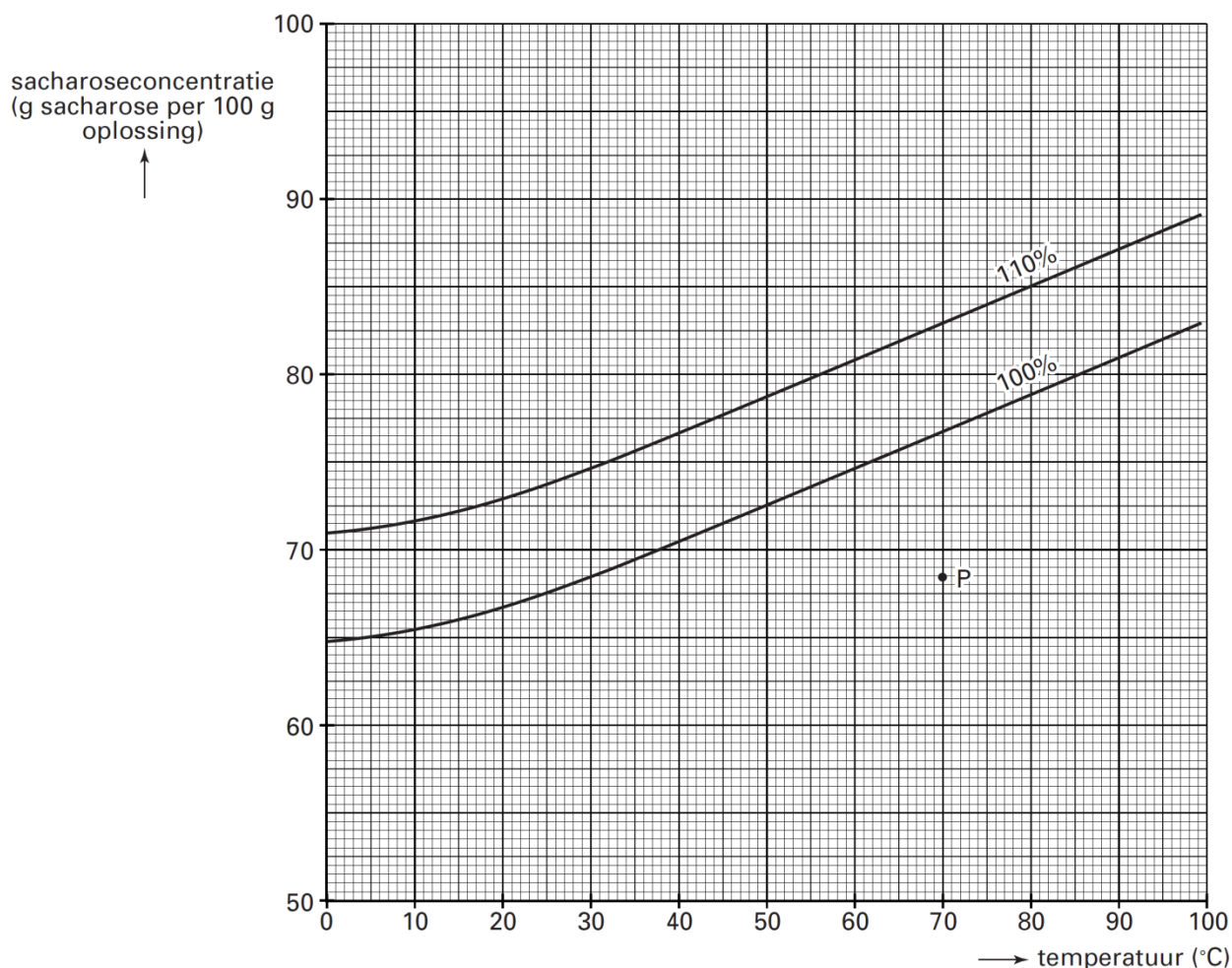
- Stap 1: Uit de nog niet verzadigde oplossing wordt bij een constante temperatuur van 70 °C net zo lang water verdampt tot een 110% verzadigde oplossing ontstaat.
- Stap 2: In de 110% verzadigde oplossing worden sacharosekristallen gebracht; bij een constante temperatuur van 70 °C kristalliseert zuivere sacharose uit. Deze vaste sacharose wordt volledig verwijderd.
- Stap 3: De ontstane 100% verzadigde oplossing wordt afgekoeld tot een 110% verzadigde oplossing ontstaat.
- Stap 4: In de dan verkregen 110% verzadigde oplossing worden sacharosekristallen gebracht; bij een constante temperatuur kristalliseert zuivere sacharose uit. Deze vaste sacharose wordt volledig verwijderd.

Met behulp van zogenoemde verzadigingscurven kan men afleiden wat de concentraties van de sacharose in de oplossingen na de stappen 1 tot en met 4 zullen zijn. In onderstaand diagram zijn twee verzadigingscurven van sacharose in water getekend: die van 100% en die van 110%.



In het diagram is met een punt P de toestand, dat wil zeggen de temperatuur en het aantal g sacharose per 100 g oplossing, aangegeven van het diksap dat de kristallisatieruimte ingaat. Hierna is dit diagram op millimeterpapier weergegeven.





- 3 Geef in de grafiek de toestand aan van de sacharose-oplossing na ieder van de vier verschillende stappen:
- met een punt A de toestand na stap 1
  - met een punt B de toestand na stap 2
  - met een punt C de toestand na stap 3
  - met een punt D de toestand na stap 4.

### Opgave 3

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

- 1 Geef de reactievergelijking van deze verbranding. Noteer PVC hierin als  $(C_2H_3Cl)_n$ .

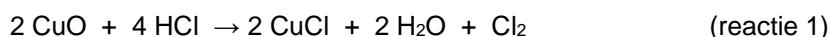
Verbranden van PVC in vuilverbrandingsinstallaties heeft nadelige gevolgen. Deze nadelige gevolgen hangen onder andere samen met de vorming van HCl. PVC niet verbranden, maar storten op vuilstortplaatsen is geen alternatief, omdat PVC niet biologisch afbreekbaar is.

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.

- 2** 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. Uit berekening volgt dat bij het totale proces  $2,88 \cdot 10^4 \text{ J}$  per mol HCl vrijkomt is.

- 3** Geef de reactievergelijking voor het totale proces.

- 4** Schets het energiediagram van het totale proces waarin ook de functie van CuO tot uitdrukking komt.

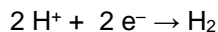
Bij dit proces om PVC te verwerken, wordt het gevormde HCl opgelost in water. Het gevormde zoutzuur wordt vervolgens geëlektrolyseerd. In dit continue proces worden drie ruimtes gebruikt: een verbrandingsruimte V, een zogenoemde absorptietoren A en een elektrolyseruimte E. In het vervolg van deze opgave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

PVC wordt in de verbrandingsruimte verbrand met ingeblazen lucht. De niet verbrande, verkoolde, 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.

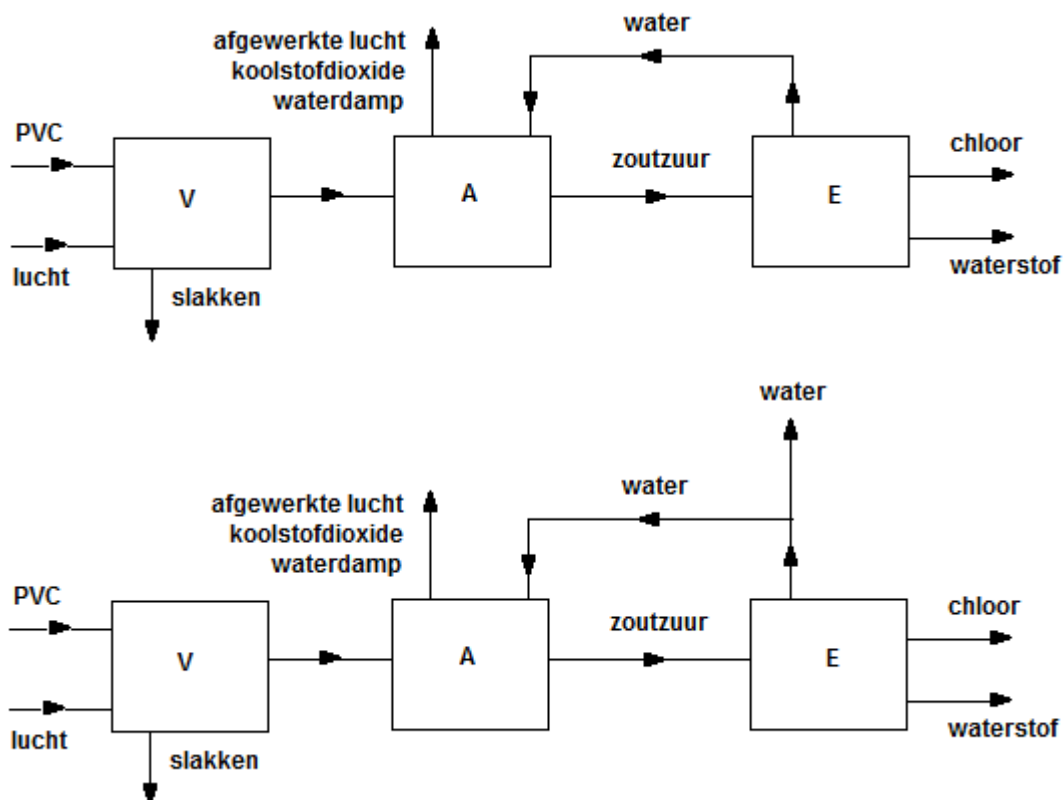
Door de hoge temperatuur van het gasmengsel verdampt er wat water. Dit wordt samen met de koolstofdioxide en de afgewerkte lucht aan de bovenkant van de absorptietoren afgevoerd.

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.

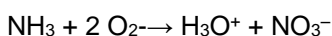


- 5 Leg voor elk van beide blokschema's uit of dit een juiste weergave van het proces kan zijn.  
In de installatie die volgens proces 2 werkt, kan per jaar een hoeveelheid afval worden verwerkt waarin  $9,2 \cdot 10^3$  ton PVC aanwezig is. De installatie is gedurende een jaar  $8,3 \cdot 10^3$  uur in bedrijf.
- 6 Bereken hoeveel ton chloorgas maximaal uit  $9,2 \cdot 10^3$  ton PVC kan worden verkregen (een ton is  $10^3$  kg).
- 7 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 ( $1 \text{ ampère} = 1 \text{ C s}^{-1}$ ).

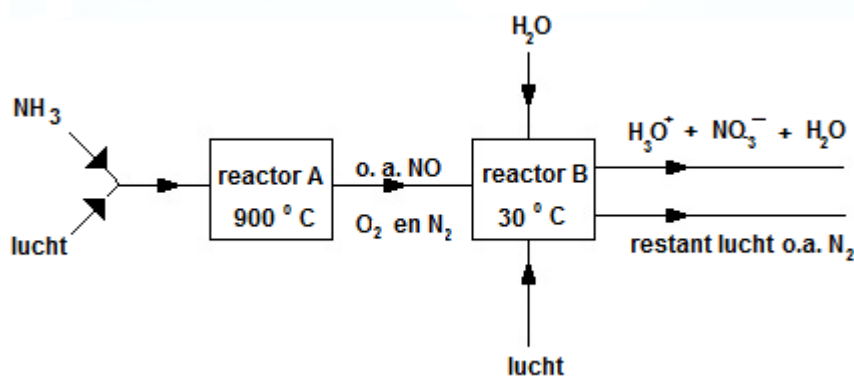
#### Opgave 4

Salpeterzuur wordt in de industrie gemaakt volgens een continu proces uitgaande van de grondstoffen ammoniak en lucht.

De productie van (opgelost) salpeterzuur komt neer op de volgende reactie:

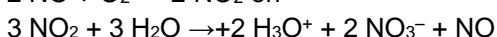
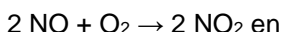


De productie van (opgelost) salpeterzuur kan als volgt in een vereenvoudigd blokschema worden weergegeven:



In reactor A wordt ammoniak bij 900 °C verbrand. Bij deze temperatuur kunnen in de reactor uitsluitend NO en H<sub>2</sub>O ontstaan.

In reactor B treden bij 30 °C de volgende twee reacties op:



Deze reacties treden zodanig op dat in reactor B:

- alle NO<sub>2</sub> die bij de eerste reactie ontstaat, doorreageert bij de tweede reactie;
- alle NO wordt omgezet.

- 1 Leid uit de bovenstaande vergelijkingen van de reacties in reactor B één reactievergelijking af die weergeeft hoe in reactor B alle NO wordt omgezet zonder dat NO<sub>2</sub> overblijft.

In reactor A wordt een kleine overmaat lucht toegevoerd. In die reactor wordt alle ammoniak bij 900 °C omgezet.

In reactor B wordt opnieuw een hoeveelheid lucht toegevoerd. Deze extra hoeveelheid lucht is nodig om alle NO om te zetten.

Men zou kunnen overwegen om in de bestaande fabriek die extra hoeveelheid lucht niet in reactor B in te leiden, maar in plaats daarvan meteen in reactor A, zonder daarbij de druk in reactor A te veranderen. Aan deze methode zijn echter nadelen verbonden.

- 2 Geef één van de nadelen van het inleiden van de extra hoeveelheid lucht in reactor A (zonder daarbij de druk in reactor A te veranderen) en geef aan waardoor dat nadeel wordt veroorzaakt.

In een salpeterzuurfabriek wordt in reactor A per minuut 10,0 m<sup>3</sup> gasmengsel geleid, bestaande uit 12,0 volumeprocent ammoniak en 88,0 volumeprocent lucht.

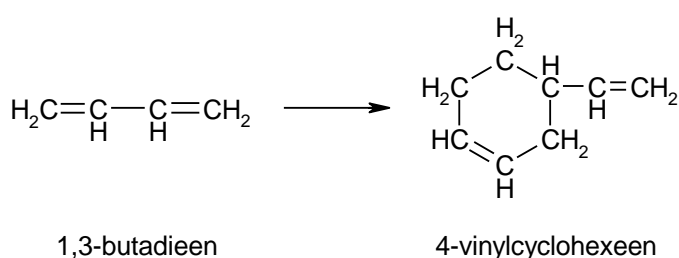
Bij de volgende vragen mag worden aangenomen dat:

- de volumina van de gassen worden gemeten bij dezelfde druk en temperatuur;
- lucht 20,9 volumeprocent zuurstof bevat.

- 3 Bereken met behulp van de vergelijking  $\text{NH}_3 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{NO}_3^-$  het totale aantal m<sup>3</sup> zuurstof dat in deze fabriek per minuut nodig is om juist alle ammoniak om te zetten.
- 4 Bereken hoeveel m<sup>3</sup> lucht men dan per minuut tenminste in reactor B moet toevoeren om een zo hoog mogelijke opbrengst aan (opgelost) salpeterzuur te krijgen.

## Opgave 5

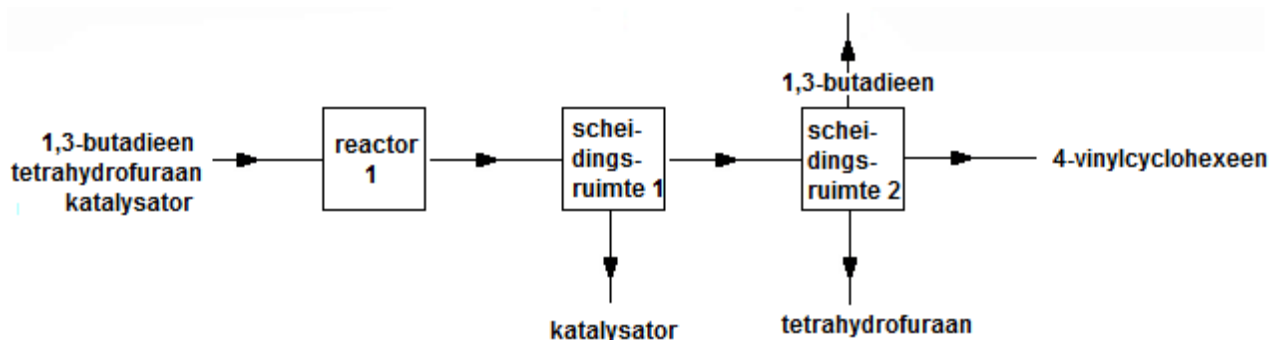
Bij het kraken van aardolie ontstaat onder andere 1,3-butadiee. Deze verbinding wordt gebruikt bij de bereiding van 4-vinylcyclohexeen:



De bereiding van 4-vinylcyclohexeen is een continu proces. In een reactor (reactor 1) wordt een oplossing geleid van 1,3-butadieen in het oplosmiddel tetrahydrofuraan. Die oplossing is gemengd met een niet-oplosbare fijnverdeelde vaste stof als katalysator.

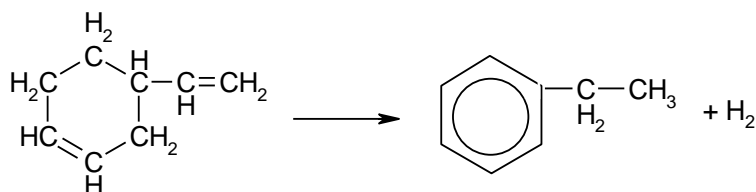
Een groot deel van de ingeleide hoeveelheid 1,3-butadieen wordt in reactor 1 omgezet in uitsluitend 4-vinylcyclohexeen; een klein gedeelte van de hoeveelheid 1,3-butadieen wordt in reactor 1 niet omgezet. Evenals 1,3-butadieen is ook 4-vinylcyclohexeen goed oplosbaar in tetrahydrofuraan. De (slechte) oplosbaarheid van de katalysator wordt niet beïnvloed door de vorming van 4-vinylcyclohexeen.

Hoe het continue proces verder verloopt, is weergegeven in het onderstaande blokschema.



- Geef de naam van een scheidingsmethode die men kan toepassen in scheidingsruimte 1.  
In scheidingsruimte 2 wordt 1,3-butadien als gas afgescheiden. De stoffen 4-vinylcyclohexeen en tetrahydrofuraan verlaten scheidingsruimte 2 als vloeistoffen.
- Geef de naam van de scheidingsmethode die men toepast in scheidingsruimte 2 om 4-vinylcyclohexeen en tetrahydrofuraan van elkaar te scheiden.  
Een fabriek die zou werken via het bovenstaande blokschema, maakt geen efficiënt gebruik van stoffen.
- Geef in het bovenstaande blokschema met lijnen aan welke verbeteringen in het blokschema van de fabriek aangebracht kunnen worden, zodat volgens het verbeterde blokschema efficiënter gebruik gemaakt wordt van stoffen.

Het aldus bereide 4-vinylcyclohexeen wordt in dezelfde fabriek gebruikt voor de continue bereiding van ethylbenzeen. Het 4-vinylcyclohexeen dat scheidingsruimte 2 verlaat, wordt in een tweede reactor (reactor 2) omgezet in ethylbenzeen en waterstof:

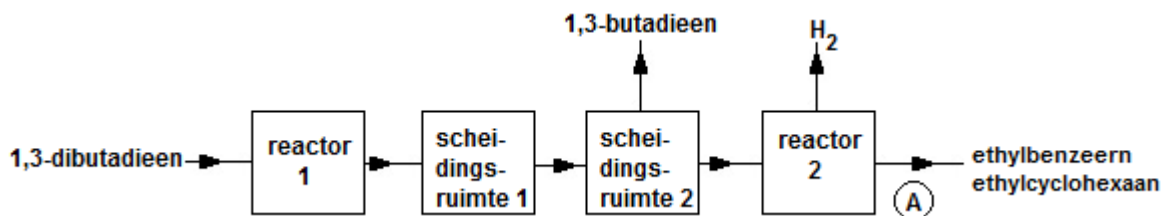


In reactor 2, waarin 4-vinylcyclohexeen wordt omgezet in ethylbenzeen en waterstof, ontstaat als bijproduct een kleine hoeveelheid ethylcyclohexaan.

Het ethylcyclohexaan ontstaat uit ethylbenzeen.

- Geef de vergelijking van de reactie waarmee het ontstaan van ethylcyclohexaan in reactor 2 moet worden verklaard. Schrijf de koolstofverbindingen in die reacties in structuurformules.

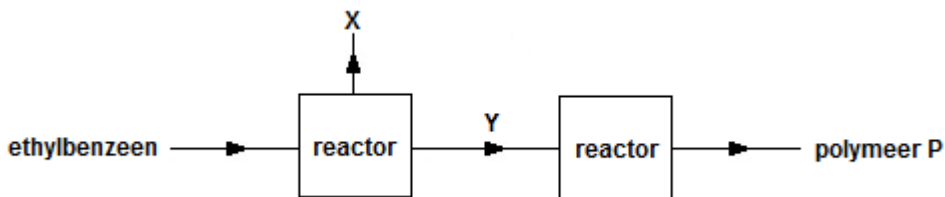
Hieronder is de bereiding van ethylbenzeen uitgaande van 1,3-butadien in zijn geheel in een vereenvoudigd blokschema weergegeven:



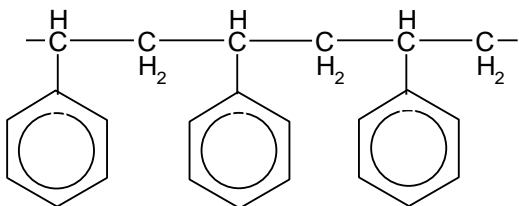
In reactor 1 wordt 95,0% van de ingeleide hoeveelheid 1,3-butadien omgezet in 4-vinylcyclohexeen. In reactor 2 wordt al het ingeleide 4-vinylcyclohexeen omgezet. Van het mengsel dat reactor 2 bij **(A)** verlaat, bestaat 97,0% van de deeltjes uit ethylbenzeenmoleculen en 3,0% van de deeltjes uit ethylcyclohexaanmoleculen.

- Bereken hoeveel mol 1,3-butadien per minuut uit scheidingsruimte 2 komt, als in de fabriek per minuut 20,0 mol ethylbenzeen wordt geproduceerd.

Het ethylbenzeen dat de bovenbeschreven fabriek verlaat, wordt in een andere fabriek omgezet in twee stoffen X en Y. Uit stof Y wordt het polymeer P bereid. Dit proces kan als volgt in een blokschema worden weergegeven:



Een gedeelte uit het midden van het molecuul van polymeer P kan als volgt worden weergegeven:

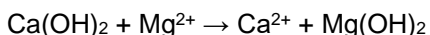


- 6 Geef de molecuulformule van stof X.
- 7 Geef de structuurformule van stof Y.

## Opgave 6

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  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ . 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.

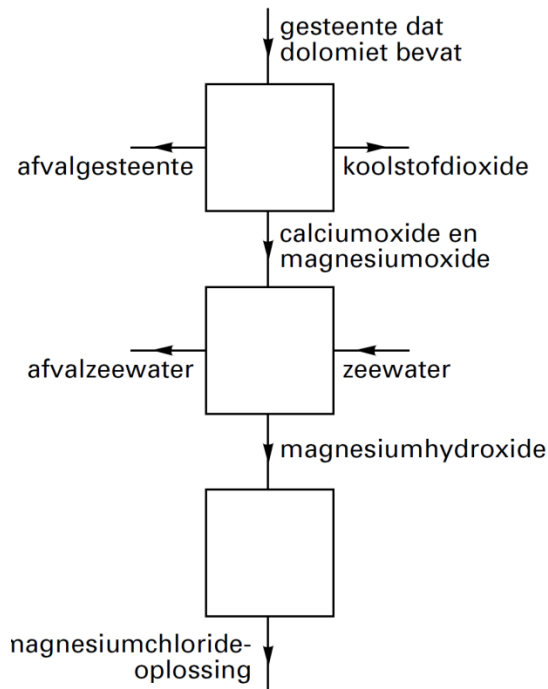
- 1 Leg uit welke andere stof in dat geval aan de negatieve elektrode ontstaat. Betrek in je uitleg gegevens uit Binas.

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.

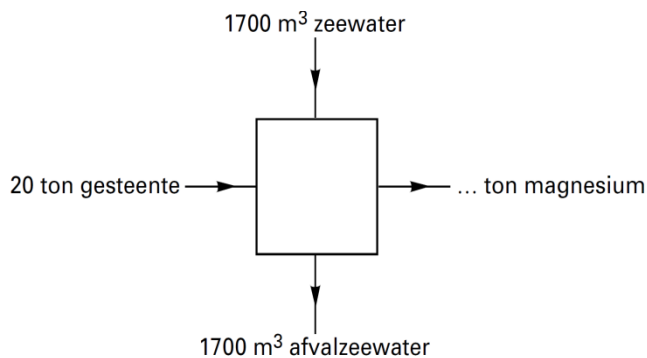
- 2 Geef de vergelijking van de reactie waarbij in dit proces water wordt gevormd.

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 hieronder afgebeeld.



- 3 Maak 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 (*chlor, magnesium, magnesiumchloride, water, waterstof, waterstofchloride, zoutzuur*).

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



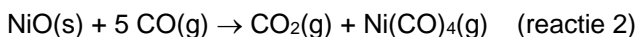
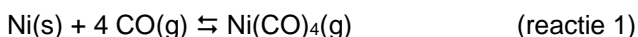
Mede met behulp van dit schema en een gegeven uit Binas-tabel 64A is te berekenen hoeveel ton magnesium maximaal kan worden geproduceerd uit 20 ton gesteente, met een dolomietgehalte van 84 massaprocent, en  $1700 \text{ m}^3$  zeewater.

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

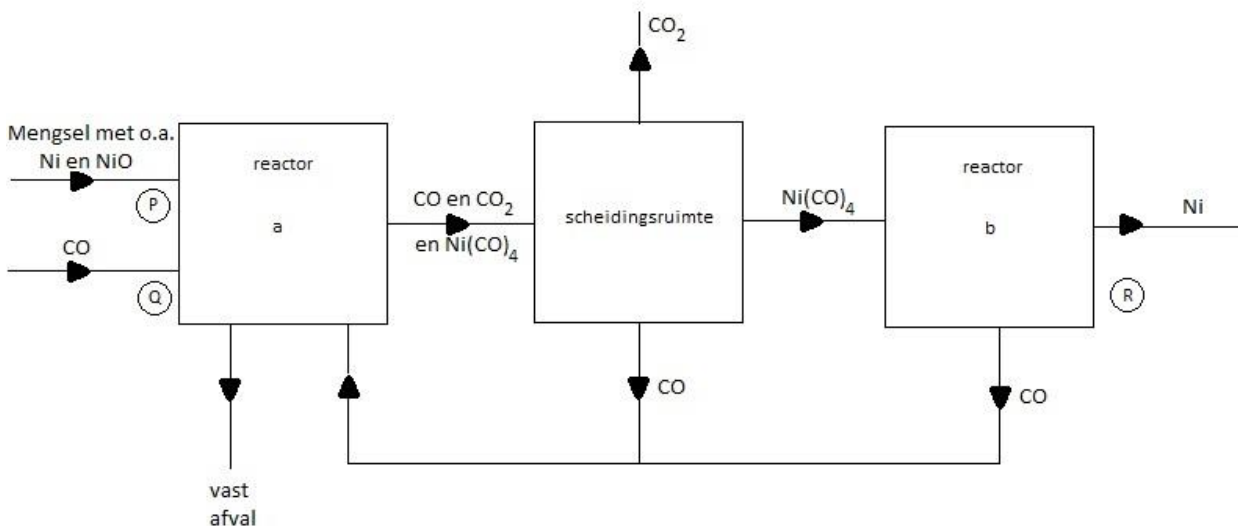
### Opgave 7 Nikkelerts

Uit nikkelerts kan op verschillende manieren nikkel bereid worden. Bij één van die bereidingswijzen ontstaat als tussenproduct een mengsel waarin Ni en NiO, naast verschillende andere vaste stoffen,

aanwezig zijn. Dit mengsel kan reageren met koolstofmono-oxide; hierbij wordt zowel Ni als NiO omgezet in  $\text{Ni}(\text{CO})_4$  (nikkeltetracarbonyl):



Uit  $\text{Ni}(\text{CO})_4$  kan zuiver Ni worden bereid. Het beschreven proces, dat als continu proces wordt uitgevoerd, is weergegeven in onderstaand blokschema.



Je mag aannemen dat in reactor a geen andere reacties plaatsvinden dan de hierboven genoemde reacties 1 en 2.

De omstandigheden in reactor a zijn zodanig dat alle Ni en NiO worden omgezet in  $\text{Ni}(\text{CO})_4$ . Het evenwicht van reactie 1 is in dit geval dus aflopend naar rechts. Het  $\text{Ni}(\text{CO})_4$ , dat in reactor b wordt geleid, wordt daar volledig omgezet in Ni en CO; het evenwicht van reactie 1 is dan dus aflopend naar links. De temperatuur in reactor b is nagenoeg gelijk aan die in reactor a. De druk die in reactor b wordt toegepast, verschilt echter aanzienlijk van de druk in reactor a.

- 1 Leg uit of de druk in reactor b hoger dan wel lager moet zijn dan de druk in reactor a. Verwerk in de uitleg de reden waarom het evenwicht van reactie 1 naar links afloopt.

De hoeveelheid teruggeluid CO is niet voldoende om het hele proces continu te laten verlopen. Via Q (zie blokschema) moet daarom voortdurend een extra hoeveelheid CO worden toegevoerd.

Om het proces continu te laten verlopen, moet het aantal mol CO dat per minuut bij Q in reactor a wordt toegevoerd gelijk zijn aan het aantal mol NiO dat per minuut (via het mengsel bij P) wordt toegevoerd.

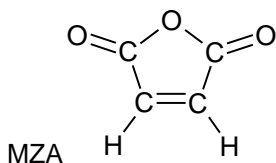
- 2 Leg uit waarom het aantal mol CO, dat per minuut bij Q wordt toegevoerd, gelijk moet zijn aan het aantal mol NiO dat per minuut wordt toegevoerd.

Per kg mengsel dat bij P wordt toegevoerd, wordt 220 g CO bij Q ingeleid en wordt 210 g vast afval uit reactor a afgevoerd.

- 3 Bereken hoeveel gram Ni(s) bij R (zie blokschema) uit reactor b komt per kg mengsel dat bij P wordt toegevoerd.

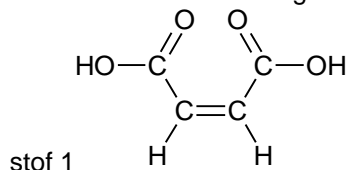
## Opgave 8 MZA

MZA, maleïnezuuranhydride, is een grondstof voor veel soorten polymeren, onder andere polyesters. De molecuulformule van MZA is  $\text{C}_4\text{H}_2\text{O}_3$ ; de structuurformule is als volgt:





MZA kan worden verkregen uit een stof I met onderstaande structuurformule.



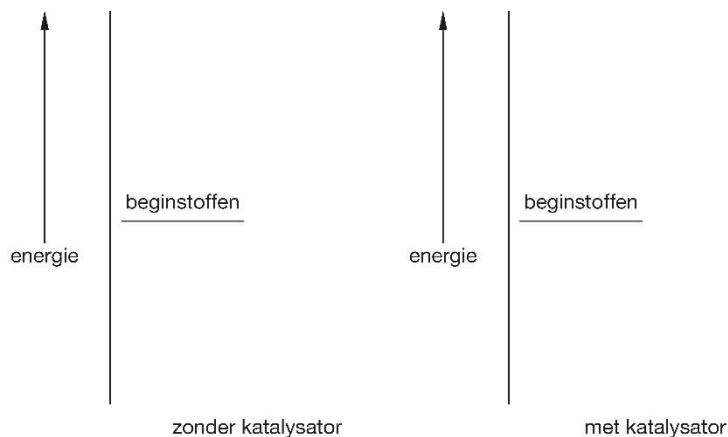
Bij deze bereiding van MZA reageren van een molecuul van stof I beide OH groepen met elkaar onder vorming van een molecuul MZA. Tevens wordt daarbij een molecuul water gevormd. Een dergelijke reactie kan niet optreden met de stereo-isomeer van stof I.

- 1 Geef de systematische naam van stof I en de systematische naam van de stereo-isomeer van stof I. Noteer je antwoord als volgt:
- 2 Leg aan de hand van de structuurformule van de stereo-isomeer van stof I uit waarom de beide OH groepen uit een molecuul van die stereo-isomeer niet met elkaar kunnen reageren.

Een tweede bereidingswijze van MZA is gebaseerd op de reactie van benzeen met zuurstof:



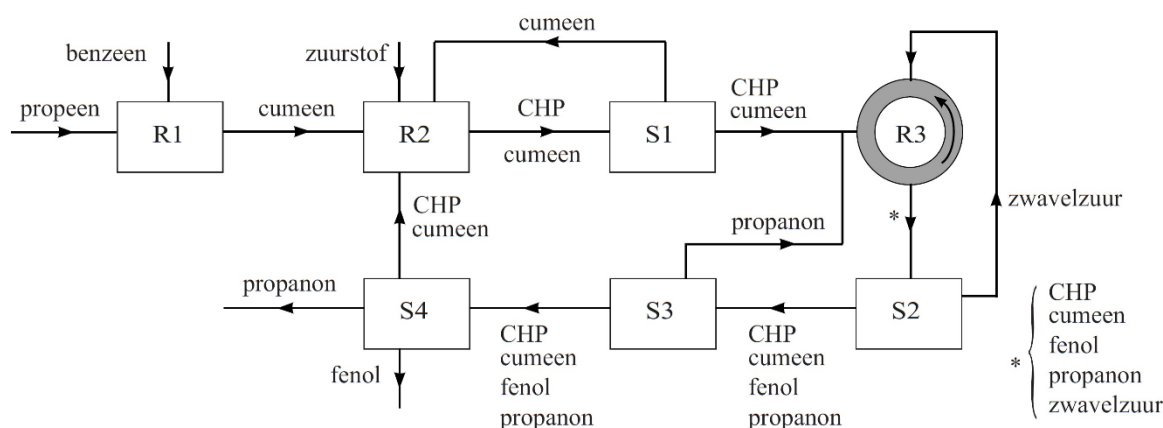
Dit is een exotherme reactie die onder invloed van een katalysator plaatsvindt. De invloed van een katalysator op het verloop van een reactie kan met behulp van energiediagrammen duidelijk worden gemaakt. Hieronder zijn twee energiediagrammen voor een exotherme reactie gedeeltelijk weergegeven: één voor de reactie zonder katalysator en één voor de reactie met katalysator. Van beide energiediagrammen is slechts het energieniveau van de beginstoffen aangegeven met het bijschrift 'beginstoffen'.



- 3 Neem de energiediagrammen over en geef door het plaatsen van energieniveaus met bijbehorende bijschriften, zodat duidelijk wordt wat de invloed van de katalysator is op het verloop van de reactie. Bij de bereiding van MZA uit benzeen wordt uit 1,0 kg benzeen 1,0 kg MZA verkregen.
- 4 Bereken het rendement van deze bereiding van MZA uit benzeen. Een derde bereidingsproces van MZA is gebaseerd op de reactie van butaan en zuurstof uit de lucht. Bij deze reactie ontstaat behalve MZA uitsluitend water.
- 5 Geef de reactievergelijking in molecuulformules van de vorming van MZA uit butaan en zuurstof.
- 6 Bereken de atomefficiëntie (atoomeconomie) en de E-factor van proces 2 en 3 ervan uitgaande dat het rendement voor proces 2 en 3 respectievelijk 77% en 59% bedraagt.
- 7 Geef twee argumenten die gebruikt kunnen worden als een keuze tussen proces 2 en 3 moet worden gemaakt. Geef argumenten gebaseerd op informatie uit deze opgave en/of Binas-tabel 97A.
- 8 Laat door een berekening zien dat het energie-effect van de reactie die hoort bij proces 2 groter is dan die van proces 3.

## Opgave 9 Fenolproductie

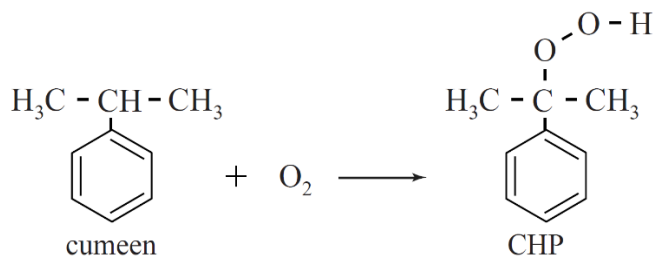
Fenol (benzenol) is een belangrijke grondstof voor veel synthetische producten, waaronder geneesmiddelen en kunststoffen. Fenol wordt geproduceerd volgens het zogeheten cumeen-proces. Een vereenvoudigd blokschema van dit proces staat hierna weergegeven.



Uit het blokschema kan de totaalvergelijking voor de vorming van fenol volgens het cumeenproces worden afgeleid.

- 1 Geef de totaalvergelijking voor de vorming van fenol volgens het cumeenproces. Gebruik structuurformules voor de koolstofverbindingen.

In reactor 1 (R1) reageert propene volledig met benzeen. Daarbij ontstaat cumeen. In R2 reageert een deel van het gevormde cumeen met zuurstof tot cumeenhydroperoxide (CHP), zoals weergegeven in onderstaande reactievergelijking.



In scheidingsruimte 1 (S1) wordt een groot deel van het overgebleven cumeen afgescheiden. Het mengsel dat overblijft, bevat 82,5 massa% CHP en 17,5 massa% cumeen.

In R3 wordt CHP grotendeels omgezet tot fenol en propanon. Fenol en propanon ontstaan in de mol-verhouding 1 : 1. Hierbij wordt zwavelzuur als katalysator gebruikt. Omdat de reactie in R3 zeer exotherm is, is het belangrijk om de temperatuur in deze reactor nauwkeurig te regelen.

Als de temperatuur te hoog oploopt, leidt dat namelijk tot veiligheidsrisico's. Tevens ontstaan dan ongewenste nevenproducten.

- 2 Geef een mogelijke verklaring waarom de vorming van nevenproducten in R3 alleen optreedt bij een hoge temperatuur.  
Reactor 3 is een buisreactor. Door het grote oppervlak van de buis kan R3 goed worden gekoeld. Voordat het mengsel afkomstig uit S1 in R3 wordt gepompt, wordt nog extra propanon toegevoegd. Het toevoegen van propanon aan de instroom in R3 draagt bij aan een veilig proces in R3.
- 3 Geef twee redenen waarom het toevoegen van propanon aan de instroom in R3 bijdraagt aan een veilig proces in R3.

Aan de instroom in R3 wordt extra propanon toegevoegd, zodat in de uitstroom van R3 de molverhouding fenol : propanon gelijk is aan 1,00 : 1,50. De molaire massa van propanon is  $58,1 \text{ g mol}^{-1}$  en die van CHP is  $152 \text{ g mol}^{-1}$ .

- 4 Bereken hoeveel ton propanon er aan 1,0 ton van de instroom in R3 moet worden toegevoegd om de juiste molverhouding fenol : propanon in de uitstroom van R3 te handhaven. Een ton is  $10^3 \text{ kg}$ . Neem hier aan dat CHP volledig wordt omgezet tot fenol en propanon.

Het CHP-gehalte in de uitstroom van R3 wordt voortdurend gecontroleerd. Een gehalte hoger dan 2 massa% leidt namelijk tot explosiegevaar in de scheidingsruimten die erna komen. Deze controle gebeurt door een klein gedeelte van de uitstroom van R3 naar een microreactor te leiden. In de microreactor reageert het aanwezige CHP volgens dezelfde reactie als in R3, waardoor de temperatuur van de vloeistofstroom stijgt. Uit de temperatuurstijging van de vloeistofstroom kan het gehalte CHP in de uitstroom van R3 worden berekend. Op een gegeven moment wordt een temperatuurstijging van  $7,3 \text{ }^\circ\text{C}$  gemeten.

De soortelijke warmte van een stof kan worden gedefinieerd als het aantal joule dat nodig is om 1 g stof 1 K in temperatuur te laten stijgen.

- 5 Ga door berekening na of er in dit geval sprake is van explosiegevaar. De reactiewarmte van de reactie is  $-252 \text{ kJ per mol CHP}$ . De soortelijke warmte van de vloeistof is  $2,4 \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$ .

In scheidingsruimten S2, S3 en S4 wordt het mengsel afkomstig uit R3 gescheiden door destillatie. De kookpunten ( $p = p_0$ ) van de stoffen bedragen: propanon ( $56 \text{ }^\circ\text{C}$ ); cumeen ( $152 \text{ }^\circ\text{C}$ ); CHP ( $153 \text{ }^\circ\text{C}$ ); fenol ( $182 \text{ }^\circ\text{C}$ ); zwavelzuur ( $330 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

- 6 Leg mede met behulp van het blokschema uit tussen welke grenzen de temperatuur in S2 moet liggen.

Op de wereldmarkt stijgt de vraag naar fenol sneller dan de vraag naar propanon. Om te voorkomen dat propanon afval wordt, heeft het Japanse bedrijf Mitsui een methode ontwikkeld om de ontstane propanon om te zetten tot propeen.

In een extra reactor (R4) verloopt de additie van waterstof aan de C=O groep van het propanon. In een volgende reactor (R5) ontstaan door een elimatiereactie water en propeen uit de in R4 gevormde stof. Na een scheidingsstap (S5) wordt het gevormde propeen weer gebruikt in het cumeen-proces.

- 7 Vul het blokschema aan met de methode die Mitsui heeft ontwikkeld. Geef ontbrekende blokken en pijlen weer en vermeld stofnamen bij de pijlen. Neem aan dat er hierbij geen andere stoffen nodig zijn, dat er geen nevenproducten ontstaan en dat de reacties aflopend zijn.