

**Dit examen bestaat uit 23 vragen.  
Voor elk vraagnummer is aangegeven hoeveel  
punten met een goed antwoord behaald kunnen  
worden.**

Als bij een open 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.

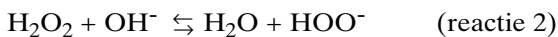
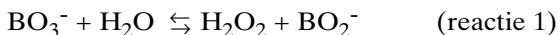
Geef niet meer antwoorden (redenen, voorbeelden e.d.) dan er worden gevraagd. Als er bijvoorbeeld twee redenen worden gevraagd en je geeft meer dan twee redenen, worden alleen de eerste twee in de beoordeling meegeteld.

## Opgave 1

Aan veel wasmiddelen is een bleekmiddel toegevoegd. Men schrijft de blekende werking toe aan de vorming van zuurstofatomen die vervolgens met moleculen van bijvoorbeeld een gekleurde vlek in het wasgoed reageren. Een veel gebruikt bleekmiddel is natriumperboraat-tetrahydraat ( $\text{NaBO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ).

Als een wasmiddel aan water wordt toegevoegd, lost het natriumperboraat-tetrahydraat op, waarbij als ionen natriumionen en perboraationen ( $\text{BO}_3^-$ ) ontstaan. Het ontstane waswater is enigszins basisch.

Men neemt aan dat de vorming van zuurstofatomen uit perboraationen plaatsvindt via drie achtereenvolgende reacties:



Het  $\text{HOO}^-$  ion heet het waterstofperoxide-ion.

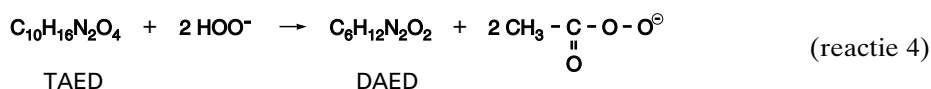
- 4p **1**  Geef de elektronenformule van het waterstofperoxide-ion. Zet daarbij de lading bij het juiste atoom.

De reacties 1 en 2 zijn evenwichtsreacties. Van alle drie reacties verloopt reactie 3 het langzaamst. De snelheid van reactie 3 is pas bij ongeveer  $60^\circ\text{C}$  groot genoeg om de blekende werking van het waswater merkbaar te maken.

- 4p **2**  Leg mede aan de hand van de bovengenoemde reacties uit of naar verwachting de blekende werking in waswater van  $60^\circ\text{C}$  met een  $\text{pH} = 9$  sterker is dan, zwakker is dan, of gelijk is aan de blekende werking in waswater van  $60^\circ\text{C}$  met een  $\text{pH} = 8$ .

De vorming van zuurstofatomen uit waterstofperoxide-ionen verloopt bij  $40^\circ\text{C}$  zo langzaam dat geen blekende werking merkbaar is. Om bij  $40^\circ\text{C}$  toch voldoende blekende werking te krijgen heeft men aan wasmiddel dat natriumperboraat-tetrahydraat bevat, ook de stof TAED (tetraacetylethyleendiamine,  $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_4$ ) toegevoegd. Moleculen van deze stof reageren met waterstofperoxide-ionen.

Bij die reactie ontstaan moleculen van de stof DAED (diacetylethyleendiamine,  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_2$ ) en peracetaationen ( $\text{CH}_3 - \overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}} - \text{O} - \text{O}^\ominus$ ):

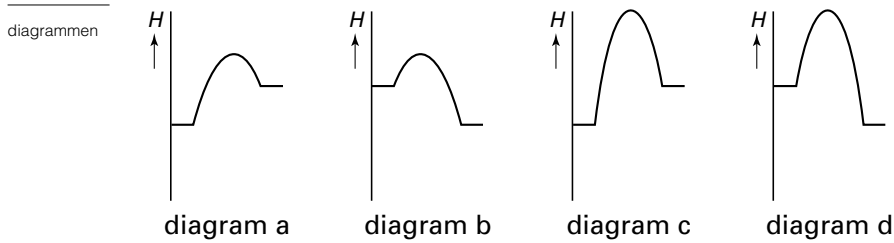


Vervolgens ontleden bij  $40^\circ\text{C}$  de peracetaationen snel in acetaationen en zuurstofatomen:



Men neemt aan dat zowel de enthalpieverandering van reactie 5 als de enthalpieverandering van reactie 3 uitsluitend wordt bepaald door het verbreken van de binding tussen twee zuurstofatomen in het desbetreffende ion. Toch verloopt reactie 5 bij 40 °C aanzienlijk sneller dan reactie 3.

Hieronder staan vier enthalpiediagrammen (diagrammen a, b, c, en d). In deze diagrammen behoort het linker niveau bij de deeltjes die reageren en het rechter niveau bij de deeltjes die ontstaan. Eén van de diagrammen geeft het verloop van reactie 3 weer en één van de andere diagrammen geeft het verloop van reactie 5 weer.



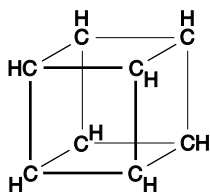
- 4p **3**  Leg uitgaande van bovenstaande gegevens uit welk van de diagrammen het verloop van reactie 3 weergeeft en welk van de diagrammen het verloop van reactie 5.

Een bepaald wasmiddel bevat 3,0 massaprocent TAED en bevat zoveel natriumperboraat-tetrahydraat dat al het TAED door het natriumperboraat-tetrahydraat kan worden omgezet.

- 4p **4**  Bereken hoeveel massaprocent natriumperboraat-tetrahydraat het wasmiddel minstens zal bevatten. De massa van een mol TAED is 228 gram.

## Opgave 2

Cubaan is een koolwaterstof met de formule  $C_8H_8$ . De acht koolstofatomen van een cubaanmolecuul zitten op de hoekpunten van een denkbeeldige kubus. De bindingen tussen de koolstofatomen vormen de ribben van de kubus:



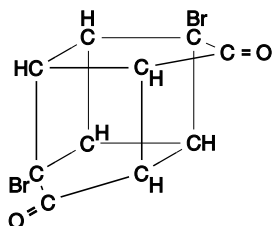
Voor de bindingsenthalpie van de C – H bindingen in cubaan geldt de waarde die in Binas tabel 58 voor C – H (overige) is vermeld. Voor de bindingsenthalpie van de C – C bindingen in cubaan geldt een andere waarde dan de waarde die in tabel 58 voor C – C is vermeld. Dit komt doordat de C – C bindingen in een cubaanmolecuul ongebruikelijke hoeken ( $90^\circ$ ) met elkaar maken.

- 6p **5**  Bereken de bindingsenthalpie in  $J mol^{-1}$  (298 K) van C – C in cubaan. Maak bij de berekening onder andere gebruik van de volgende gegevens:
- de enthalpieverandering van de vorming van gasvormig cubaan volgens  $8 C(s) + 4 H_2(g) \rightarrow C_8H_8(g)$  is (omgerekend naar 298 K en  $p = p_o$ ) gelijk aan  $+6,2 \cdot 10^5 J mol^{-1}$ ;
  - de sublimatie-enthalpie van koolstof (grafiet) is gelijk aan  $+7,15 \cdot 10^5 J mol^{-1}$  (298 K en  $p = p_o$ ).

Cubaan kan niet direct uit koolstof en waterstof gemaakt worden. Er zijn echter verschillende andere bereidingswijzen bekend.

Bij één van de bereidingswijzen van cubaan worden drie achtereenvolgende reacties toegepast.

Bij de eerste reactie maakt men de verbinding met de volgende structuurformule:

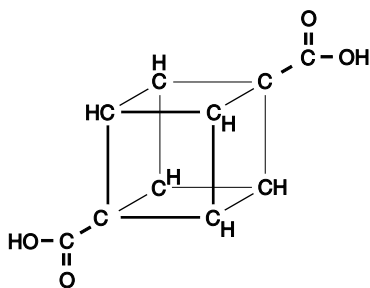


Voor het maken van deze verbinding laat men uitsluitend één stof reageren: een verbinding met de molecuulformule  $C_5H_3BrO$ . Deze reactie is op te vatten als een additiereactie (zonder dat daarbij binnen  $C_5H_3BrO$  atomen worden verplaatst).

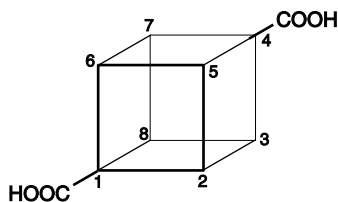
De verbinding  $C_5H_3BrO$  is een zogenoemd meervoudig onverzadigd cyclisch keton. Aan de hand van bovenstaande gegevens kan de structuurformule van  $C_5H_3BrO$  afgeleid worden.

- 4p **6**  Geef de structuurformule van deze verbinding  $C_5H_3BrO$ .

Bij de tweede van de drie reacties ter bereiding van cubaan wordt het reactieproduct van de eerste reactie omgezet in een verbinding met de volgende structuurformule:



In de formule van het laatstgenoemde reactieproduct worden de koolstofatomen als volgt genummerd:



De systematische naam van de verbinding met deze structuurformule is 1,4-cubaandicarbonsuur.

Ook de andere cubaandicarbonzuren  $C_8H_6(COOH)_2$  waarvan men het bestaan mag verwachten, zijn bekend.

4p **7**  Geef de systematische namen van die andere cubaandicarbonzuren.

Cubaan is een vaste stof met een smeltpunt van 130 °C. Benzine bestaat uitsluitend uit verbindingen die in de buitenlucht gemakkelijk verdampen.

Men heeft een oplossing van cubaan in benzine (met 30 massaprocent cubaan) gebruikt als brandstof voor race-auto's die aan wedstrijden meededen. De verbrandingswarmte van een liter van deze oplossing is groter dan de verbrandingswarmte van een liter benzine zonder cubaan erin. Om de kansen voor de raceauto's niet afhankelijk te laten zijn van de soort brandstof werd bij een aantal wedstrijden het gebruik van een oplossing van cubaan in benzine verboden.

Met een eenvoudig proefje, waarbij een druppel van de brandstof op (een vlak gedeelte van) de warme motorkap van een auto gelegd wordt, kan nagegaan worden of een wedstrijdrijder zich aan het verbod gehouden heeft.

4p **8**  Geef de waarneming waaruit bij dit proefje blijkt dat een wedstrijdrijder geen cubaan in de benzine had.

Een raceauto die op benzine zonder cubaan rijdt, heeft een verbruik van 1 op 2,8. Dit betekent dat de auto 1 liter benzine (273 K) verbruikt op 2,8 gereden kilometers.

De raceauto kan zuiniger rijden door de benzine te vervangen door een oplossing van cubaan in benzine met 30 massaprocent cubaan.

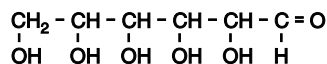
6p **9**  Bereken hoeveel kilometer de raceauto kan rijden op 1,0 liter van de oplossing van cubaan in benzine (273 K). Gebruik bij de berekening de volgende gegevens:

- de dichtheid van de oplossing van 30 massaprocent cubaan in benzine is  $8,6 \cdot 10^2 \text{ g L}^{-1}$  (273 K);
- bij verbranding van 1,0 mol cubaan in de auto komt  $4,8 \cdot 10^6 \text{ J}$  vrij;
- bij verbranding van 1,0 liter benzine ( $7,5 \cdot 10^2 \text{ g}$ ) in de auto komt  $3,3 \cdot 10^7 \text{ J}$  vrij.

Aangenomen mag worden dat het aantal te rijden kilometers per liter brandstof evenredig is met het aantal joules dat bij verbranding van een liter brandstof vrijkomt.

### Opgave 3

In bloed wordt vaak het gehalte aan glucose bepaald.  
De structuurformule van glucose kan als volgt worden weergegeven:



Men maakt bij de bepaling van het glucosegehalte in bloed gebruik van een zogenoemde glucosemeter en een strookje waarop twee elektroden zijn aangebracht. Op één van die elektroden is een laagje zilverchloride aangebracht. Op de andere elektrode is een laagje aangebracht met daarin het enzym glucose-oxidase.

Men steekt dit strookje met het uiteinde A (zie onderstaande figuur) in de glucosemeter. Daardoor wordt tussen de beide elektroden een gelijkspanning aangelegd, waarbij de elektrode met het enzym is aangesloten op de positieve pool van de gelijkspanningsbron.



Vervolgens wordt bij B op het strookje een druppeltje van 5,0  $\mu\text{L}$  (5,0 microliter) bloed in contact gebracht met beide elektroden. Er treedt dan elektrolyse op.

Aan de negatieve elektrode treedt daarbij een halfreactie op waarbij zilverchloride wordt omgezet in zilver(metaal) en  $\text{Cl}^-$ . Aan de positieve elektrode vindt uitsluitend een halfreactie plaats waarbij alle glucose ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) uit het druppeltje bloed in korte tijd wordt omgezet in gluconzuur ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_7$ ). Per mol glucose worden daarbij twee mol elektronen afgegeven.

3p **10**  Geef de vergelijking van de halfreactie die optreedt aan de positieve elektrode. Vermeld daarin glucose en gluconzuur in molecuulformules.

2p **11**  Geef de structuurformule van gluconzuur.

Tijdens de korte tijd dat alle glucose uit de 5,0  $\mu\text{L}$  bloed aan de positieve elektrode reageert, wordt het aantal coulomb gemeten dat door de glucosemeter stroomt. Het bijbehorende glucosegehalte van het bloed kan op de meter worden afgelezen in  $\text{mmol L}^{-1}$ .

5p **12**  Bereken het aantal coulomb dat tijdens de meting door de glucosemeter is gestroomd als op de meter een glucosegehalte van 6,2  $\text{mmol L}^{-1}$  wordt afgelezen. Maak bij de berekening onder andere gebruik van Binas tabel 7.

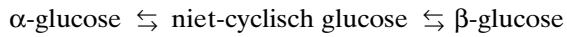
Bij deze bepaling werkt glucose als reductor. Bloed bevat ook andere reductoren, maar deze reageren tijdens de korte tijd die de bepaling in beslag neemt, niet merkbaar. Bij het ontwerpen van de beschreven glucosemeter is ervoor gezorgd dat de snelheid waarmee glucose als reductor reageert, veel groter is dan de snelheid waarmee andere reductoren reageren.

3p **13**  Leg aan de hand van een gegeven in deze opgave uit waaraan dat verschil in snelheid moet worden toegeschreven.

De beschreven glucosemeter is geschikt voor het bepalen van het glucosegehalte van bloed en zou ook gebruikt kunnen worden voor een glucose-bepaling in bijvoorbeeld urine. De beschreven glucosemeter is echter niet zonder meer geschikt voor een gehaltebepaling van een oplossing die *uitsluitend* glucose als opgeloste stof bevat. Dit komt doordat oplossingen als bloed en urine een bepaald soort deeltjes bevatten die vrijwel ontbreken in een oplossing van uitsluitend glucose.

3p **14**  Welke soort deeltjes is dat?

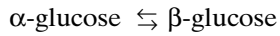
Van glucose bestaan drie soorten moleculen: het niet-cyclische glucose, waarvan de structuurformule in het begin van deze opgave is gegeven, en twee soorten ( $\alpha$ -glucose en  $\beta$ -glucose) waarvan de moleculen een cyclische structuur hebben. In een glucose-oplossing zijn niet-cyclisch glucose,  $\alpha$ -glucose en  $\beta$ -glucose met elkaar in evenwicht:



Men neemt aan dat van de drie soorten glucose alleen het niet-cyclische glucose in de genoemde glucosemeter als reductor reageert. Toch wordt met deze meter de concentratie van alle drie soorten glucosemoleculen *samen* bepaald.

4p **15**  Leg uit hoe dit laatste verklaard moet worden.

Het percentage niet-cyclisch glucose in een glucose-oplossing en in bloed is zeer klein. De bovengenoemde evenwichtssituatie kan worden voorgesteld als:



De waarde van de evenwichtsconstante  $K$  van dit evenwicht is bij 298 K gelijk aan 1,78.

4p **16**  Bereken welk percentage van alle glucose in een glucose-oplossing van 298 K als  $\alpha$ -glucose voorkomt.

## Opgave 4

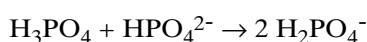
Natriumtrifosfaat is een zout dat onder andere wordt toegepast bij de verwerking van kaas en vlees.

De formule van natriumtrifosfaat kan worden voorgesteld als  $\text{Na}_x\text{P}_3\text{O}_y$ .

Natriumtrifosfaat wordt bereid uit een oplossing waarin de stoffen  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  en  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  in de molverhouding 2,0 : 1,0 in opgeloste vorm voorkomen. Als men zo'n oplossing verhit, treedt een reactie op tussen uitsluitend  $\text{HPO}_4^{2-}$  ionen en  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  ionen, waarbij steeds twee  $\text{HPO}_4^{2-}$  ionen en één  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  ion worden omgezet. Bij deze reactie ontstaan uitsluitend trifosfaationen en  $\text{H}_2\text{O}$  moleculen. Door indampen van de oplossing ontstaat natriumtrifosfaat in vaste vorm.

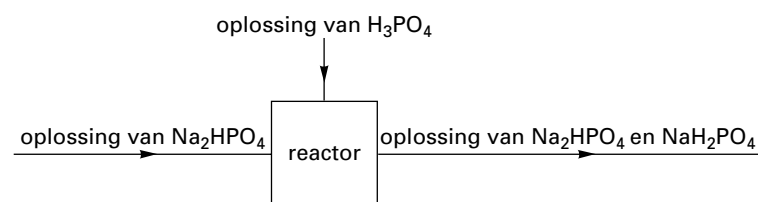
- 4p **17** □ Leid uit bovenstaande gegevens de (verhoudings)formule van natriumtrifosfaat af.

De oplossing waarin de stoffen  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  en  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  in de molverhouding 2,0 : 1,0 in opgeloste vorm voorkomen, wordt in de industrie bereid in een continu proces. Hierbij worden opgelost fosforzuur ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) en een overmaat opgelost  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  in een reactor geleid. In de reactor reageert het  $\text{H}_3\text{PO}_4$  met een deel van het  $\text{HPO}_4^{2-}$ :



Andere reacties treden in de reactor niet op.

Hieronder is dit continue proces in een blokschema weergegeven.



De hoeveelheden opgelost  $\text{H}_3\text{PO}_4$  en opgelost  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  die per seconde in de reactor worden geleid, worden zo gekozen dat in de oplossing die de reactor verlaat, de molverhouding  $\text{HPO}_4^{2-} : \text{H}_2\text{PO}_4^-$  gelijk is aan 2,0 : 1,0.

In een bepaalde fabriek waarin dit continue proces plaatsvindt, wordt per seconde 11 mol opgelost  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  in de reactor geleid.

- 4p **18** □ Bereken hoeveel mol opgelost  $\text{H}_3\text{PO}_4$  men per seconde in de reactor moet leiden om de oplossing met de gewenste molverhouding  $\text{HPO}_4^{2-} : \text{H}_2\text{PO}_4^- = 2,0 : 1,0$  te bereiden.

Om te controleren of in de oplossing die de reactor verlaat de molverhouding  $\text{HPO}_4^{2-} : \text{H}_2\text{PO}_4^-$  inderdaad 2,0 : 1,0 is, kan men de pH van die oplossing meten.

- 4p **19** □ Bereken de pH van de oplossing die de reactor verlaat als in die oplossing bij 298 K de molverhouding  $\text{HPO}_4^{2-} : \text{H}_2\text{PO}_4^-$  inderdaad 2,0 : 1,0 is.



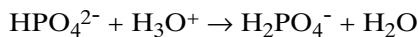
In de praktijk blijkt het meten van de pH van de oplossing niet voldoende nauwkeurig te zijn om vast te stellen of in de oplossing die de reactor verlaat sprake is van de gewenste molverhouding.

Er wordt een andere manier gebruikt om de molverhouding  $\text{HPO}_4^{2-} : \text{H}_2\text{PO}_4^-$  nauwkeurig te bepalen.

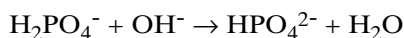
Die andere manier is de bepaling van het zogenoemde NaP getal. Het NaP getal van een oplossing is de verhouding tussen het aantal natriumionen in die oplossing en het aantal fosforatomen (gebonden in de negatieve ionen) in die oplossing. Ter verduidelijking een voorbeeld: het NaP getal van een oplossing van natriumfosfaat ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ) is dus  $\frac{3}{1} = 3$ .

Om vast te stellen of de oplossing van  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  en  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  die de reactor verlaat, de juiste samenstelling heeft, kan men twee achtereenvolgende titraties uitvoeren. De eindpunten van beide titraties worden bepaald met behulp van een pH-meter.

Eerst wordt de oplossing van  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  en  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  getitreerd met zoutzuur. Daarbij treedt uitsluitend de volgende reactie op:



De oplossing die bij het eindpunt van deze titratie is ontstaan, wordt vervolgens getitreerd met natronloog. Daarbij treedt uitsluitend de volgende reactie op:



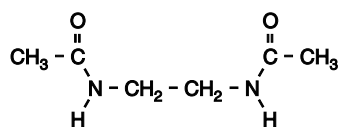
Bij zo'n bepaling bleek voor de eerste titratie 0,90 mmol  $\text{H}_3\text{O}^+$  en voor de tweede titratie 1,50 mmol  $\text{OH}^-$  nodig te zijn. Uit deze titratiegegevens kan het NaP getal van de onderzochte oplossing berekend worden. Uit die berekening volgt dat de molverhouding  $\text{HPO}_4^{2-} : \text{H}_2\text{PO}_4^-$  in de onderzochte oplossing niet gelijk is aan 2,0 : 1,0.

- 3p **20**  Leid van een oplossing waarin de molverhouding  $\text{HPO}_4^{2-} : \text{H}_2\text{PO}_4^-$  wèl gelijk is aan 2,0 : 1,0, het NaP getal, in twee significante cijfers, af.
- 3p **21**  Leid, met behulp van de gegevens die bij de titraties zijn verkregen, het NaP getal van de onderzochte oplossing, in twee significante cijfers, af.

*Let op: de laatste vragen van dit examen staan op de volgende pagina.*

## Opgave 5

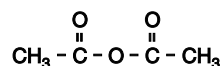
De industriële bereiding van het wasmiddelbestanddeel TAED (tetraacetylethyleendiamine) vindt plaats in een fabriek via de bereiding van het tussenproduct DAED (diacetylethyleendiamine). DAED heeft de volgende structuurformule:



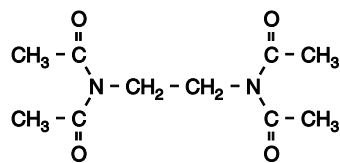
DAED wordt bij het industriële proces gevormd in een reactor waarbij een stof X met azijnzuur reageert in de molverhouding 1 : 2. Bij die reactie wordt behalve DAED uitsluitend water gevormd.

3p **22** □ 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:

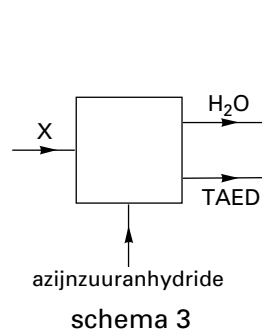
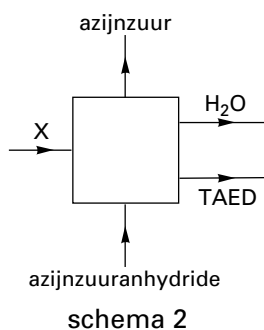
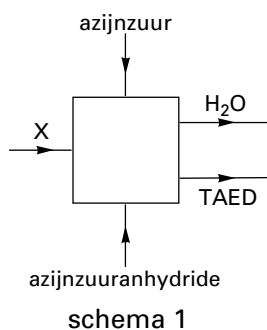


DAED en azijnzuuranhydride reageren in de molverhouding 1 : 2; daarbij ontstaan uitsluitend TAED en azijnzuur. De structuurformule van TAED is:



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.



5p **23** □ Leg uitgaande van de gegeven molverhoudingen uit welk van deze schema's de aan- en afvoer van stoffen in de fabriek juist weergeeft.

Einde