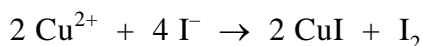


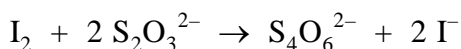
Brons

Brons is een legering van koper en tin. Speelklokken in carillons worden van brons gegoten. De klank van zo'n klok hangt onder andere af van de samenstelling van het brons. Nadat de klok is gegoten, wordt hij gestemd. Dit gebeurt door aan de binnenkant van de klok wat brons weg te slijpen tot hij de juiste toonhoogte heeft. Het slijpsel dat daarbij ontstaat, wordt gebruikt om achteraf nog eens de samenstelling van het brons te bepalen.

Bij zo'n bepaling laat men het slijpsel reageren met warm geconcentreerd salpeterzuur. Het koper wordt dan omgezet tot Cu^{2+} ; het tin wordt omgezet tot het zeer slecht oplosbare tinsteen (SnO_2). Het tinsteen wordt door filtratie verwijderd en met koud water gespoeld. Het totale filtraat wordt kwantitatief overgebracht in een erlenmeyer. Vervolgens wordt de hoeveelheid Cu^{2+} bepaald. Daartoe wordt een overmaat van een oplossing van kaliumjodide toegevoegd. De volgende reactie treedt op:



De hoeveelheid jood wordt nu bepaald door een titratie met een oplossing van natriumthiosulfaat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$). Als indicator wordt zetmeel toegevoegd. De vergelijking van de reactie die tijdens de titratie plaatsvindt, is:



Bij een bepaling werd 150 mg slijpsel van een bronzen klok afgewogen. Om alle gevormde jood te laten reageren, was 18,3 mL 0,101 M natriumthiosulfaatoplossing nodig.

- 4p 1 Bereken het massapercentage koper in het brons van de klok.

De klank van oude klokken is vaak heel mooi. Men vermoedt dat deze mooie klank wordt veroorzaakt doordat in het brons van de klok, behalve koper en tin, ook nog lood aanwezig is.

In een klas wordt besproken of de hiervoor beschreven werkwijze om het massapercentage koper in brons te bepalen, ook kan worden toegepast als het brons lood bevat. Een leerling denkt dat de aanwezigheid van lood in het brons geen probleem is. Hij neemt aan dat lood bij de reactie met salpeterzuur wordt omgezet tot PbO_2 . Om zijn veronderstelling te verduidelijken, wijst hij op Binas-tabel 99.

- 2p 2 Geef een argument dat de leerling kan hebben gebruikt om, met behulp van Binas-tabel 99, uit te leggen dat lood wordt omgezet tot PbO_2 .

De leraar zegt dat de leerling een redelijke veronderstelling heeft gedaan, maar dat lood in salpeterzuur wordt omgezet tot Pb^{2+} . Een verdere omzetting van Pb^{2+} tot PbO_2 vindt niet plaats. In Binas-tabel 48 zijn daarover gegevens te vinden.

- 2p **3** Leg met behulp van gegevens uit Binas-tabel 48 uit dat lood in salpeterzuur wordt omgezet tot Pb^{2+} en dat het gevormde Pb^{2+} daarna niet verder wordt omgezet tot PbO_2 . Neem aan dat bij de omstandigheden waarbij de bepaling wordt uitgevoerd Binas-tabel 48 gebruikt mag worden.

Een andere leerling merkt op dat bij de bepaling nu ook Pb^{2+} met I^- zal gaan reageren en dat daardoor de bepaling een onjuiste uitkomst krijgt.

- 2p **4** Geef de vergelijking van de reactie tussen Pb^{2+} en I^- .
2p **5** Leg uit of de leerling gelijk heeft met zijn uitspraak dat de uitkomst van de bepaling onjuist wordt.

Tenslotte moeten de leerlingen een werkwijze bedenken om aan te tonen dat het brons van een oude kerkklok lood bevat.

- 3p **6** Beschrijf een werkwijze waarmee wordt aangetoond dat het brons van een oude kerkklok lood bevat. Geef in je beschrijving
- een globale aanduiding van de werkwijze;
 - de naam (namen) van de te gebruiken stof(fen) of oplossing(en);
 - de waarneming waaruit blijkt dat inderdaad lood in het brons aanwezig is.

Ammoniak

Ammoniak wordt bereid uit een mengsel van stikstof en waterstof in de molverhouding $\text{N}_2 : \text{H}_2 = 1 : 3$. Dit gasmengsel, ook wel synthesegas genoemd, wordt in de ammoniakfabriek gemaakt uit aardgas, water en lucht. Op de volgende pagina's staat een beschrijving met bijbehorend blokschema van een productieproces van ammoniak. De beschrijving en het blokschema zijn ontleend aan een brochure van DSM.

brochure

In de nieuwe ammoniakfabriek 3 - kortweg AFA 3 genaamd - wordt uit de grondstoffen aardgas, water en lucht ammoniak gemaakt. Uit deze grondstoffen wordt een gasmengsel gesynthetiseerd dat bestaat uit stikstof en waterstof in de verhouding 1 : 3. Uit dit gasmengsel, synthesegas genaamd, wordt ammoniak gemaakt.

Het productieproces van ammoniak kan in de volgende zeven stappen worden onderverdeeld:

- **Stap 1** Kraken van aardgas met stoom
- **Stap 2** Verwijdering van koolstofmonooxide
- **Stap 3** Verwijdering van koolstofdioxide
- **Stap 4** Nareiniging van het synthesegas
- **Stap 5** Drukverhoging van het synthesegas
- **Stap 6** Vorming van ammoniak
- **Stap 7** Winning van ammoniak

Stap 1

Aardgas (dat voor ongeveer 88% uit methaan bestaat) en stoom worden in een kraakoven omgezet in waterstof, koolstofmonooxide en koolstofdioxide.

Vervolgens wordt lucht aan het gasmengsel toegevoerd in de zogenoemde naverbrander om de benodigde stikstof in te brengen en de resterende methaan te kraken. Het ruwe gasmengsel dat de naverbrander verlaat, bestaat uit waterstof, stikstof, koolstofmonooxide, koolstofdioxide en stoom.

Stap 2

De koolstofmonooxide in het ruwe gasmengsel wordt met stoom en onder invloed van een katalysator omgezet in koolstofdioxide.

Stap 3

In een waskolom worden koolstofdioxide en water uit het gasmengsel verwijderd met behulp van een wasvloeistof. De wasvloeistof wordt vervolgens in druk verlaagd, waarbij de opgenomen koolstofdioxide weer vrijkomt. De wasvloeistof wordt daarna door een zogeheten stripper gevoerd, waar de laatste resten koolstofdioxide eruit worden verwijderd. De vloeistof wordt vervolgens teruggepompt naar de waskolom.

Stap 4

Na stap 3 noemt men het verkregen gas synthesegas. Dit gas bevat nog resten koolstofmonooxide en koolstofdioxide. Om die resten te verwijderen, wordt het gasmengsel over een zogenoemde methaniseringsinstallatie geleid, waarbij de gassen samen met een klein gedeelte van de aanwezige waterstof reageren tot methaan en waterdamp.

Stap 5

Het synthesegas afkomstig uit stap 4 wordt op de gewenste druk van 210 bar gebracht.

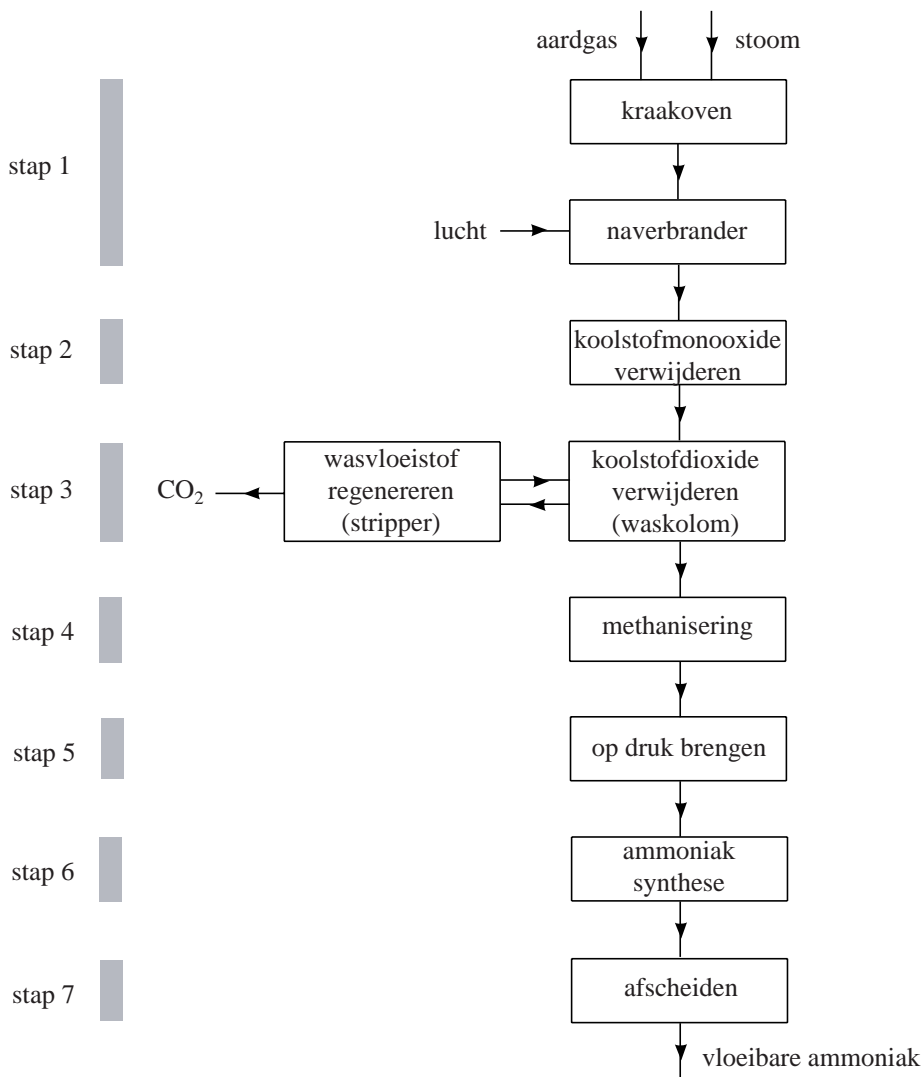
Stap 6

Het hogedruk mengsel van waterstof en stikstof wordt toegevoerd aan de synthesereactor waarin het reageert tot gasvormige ammoniak. Ook deze reactie vindt plaats onder invloed van een katalysator.

Stap 7

Het is onmogelijk alle waterstof en stikstof in één keer om te zetten in ammoniak. Daarom bevat de gasstroom uit de reactor behalve ammoniak ook nog waterstof en stikstof. Door het afkoelen van de gasstroom tot –23 graden Celsius wordt de gevormde ammoniak vloeibaar en kan uit de gasstroom worden afgescheiden. Het resterende waterstof/stikstof-mengsel wordt teruggevoerd naar de synthesereactor.

blokschema



In de kraakoven vinden twee reacties plaats:



Beide reacties treden niet volledig op.

De temperatuur in de kraakoven is ongeveer 800 °C.

Het warmte-effect van reactie 1 is tegengesteld aan het warmte-effect van reactie 2. Daarom is het op voorhand niet te voorspellen of de kraakoven moet worden verhit of gekoeld om deze op een constante temperatuur te houden.

- 3p **7** Bereken de reactiewarmte van reactie 1 en de reactiewarmte van reactie 2 in J per mol H₂O.
- 2p **8** Ga aan de hand van de berekende reactiewarmtes van reactie 1 en reactie 2 na of de kraakoven moet worden verhit of gekoeld om deze op een constante temperatuur te houden.

Als wasvloeistof voor het verwijderen van koolstofdioxide in stap 3 wordt vaak een oplossing van kaliumcarbonaat gebruikt. Het koolstofdioxide reageert in deze oplossing.

- 3p **9** Geef de vergelijking van de reactie waarmee koolstofdioxide uit het gasmengsel wordt verwijderd.

De beschrijving van stap 3 is niet volledig. Na verwijdering van de koolstofdioxide kan de overgebleven vloeistof niet zonder meer worden teruggepompt naar de waskolom.

- 2p **10** Leg uit dat na verwijdering van de koolstofdioxide de overgebleven vloeistof niet zonder meer kan worden teruggepompt naar de waskolom.

Het blokschema is niet helemaal in overeenstemming met de tekst van de brochure.

Na stap 4 moet bijvoorbeeld nog wat gebeuren voordat stap 5 kan plaatsvinden.

Ook is bij stap 7 het schema niet volledig.

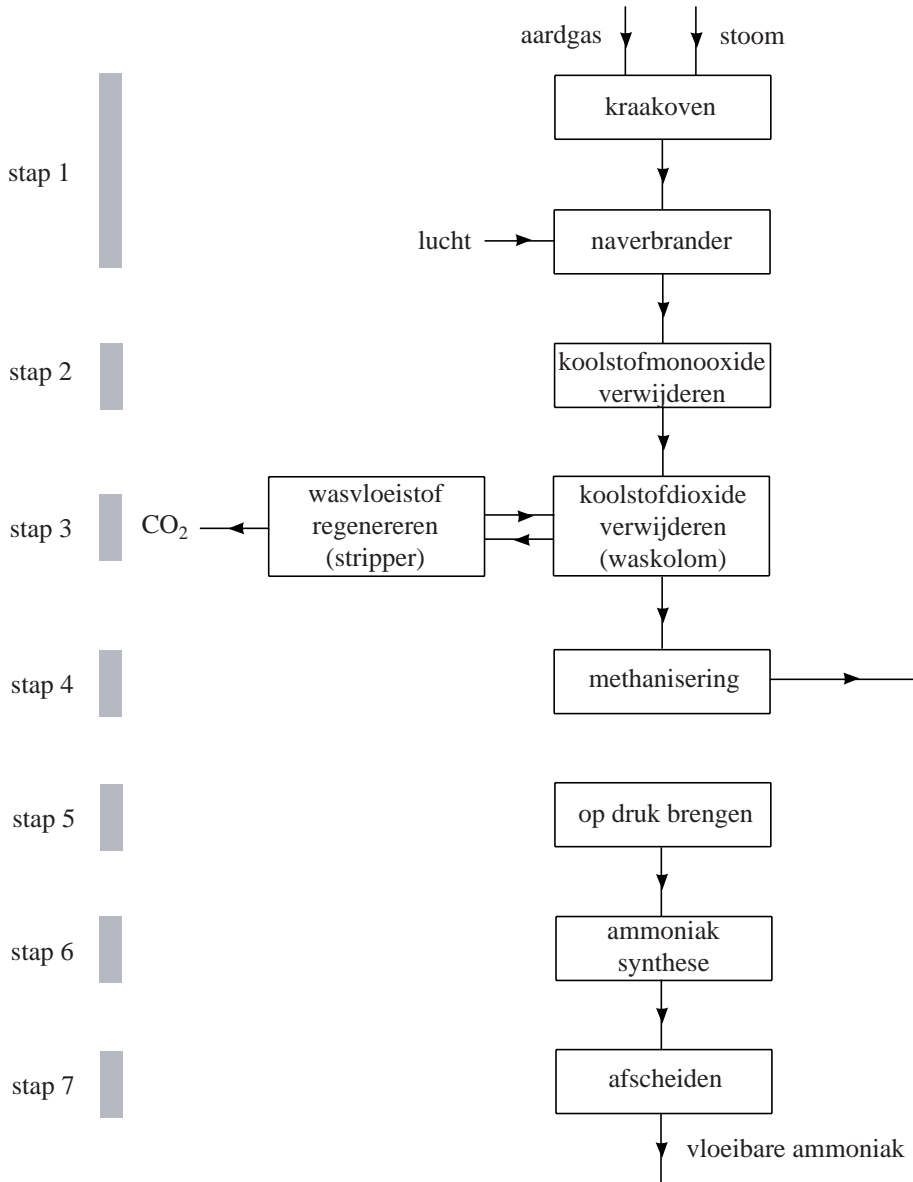
Op de uitwerkbijlage is het schema nogmaals opgenomen. De uitgaande pijl uit het blok methanisering is hierin naar rechts getekend.

- 4p **11** Completeer het blokschema op de uitwerkbijlage zo, dat het in overeenstemming is met de tekst van de brochure.
- Teken daartoe extra stofstromen en één of meer extra blokken.
 - Zet de formules van de stoffen bij de stofstroom uit het blok methanisering en bij de zelfgetekende stofstromen.
 - Geef aan wat in het (de) zelfgetekende blok(ken) gebeurt.
 - Houd rekening met hergebruik van stoffen.

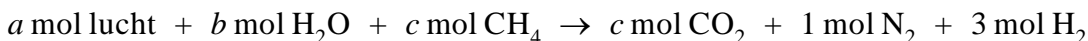
uitwerkbijlage

Naam kandidaat _____ Kandidaatnummer _____

11



Het is voor de fabriek van belang te weten hoeveel aardgas, stoom en lucht voor het proces nodig zijn. Om dit te berekenen, kan de vorming van het synthesegas uit methaan, stoom en lucht in een totaalvergelijking worden weergegeven. Zo'n vergelijking ziet er als volgt uit:



- 5p **12** Bereken a , b en c . Ga ervan uit dat een mol lucht bestaat uit 0,79 mol N_2 en 0,21 mol O_2 . Geef de uitkomsten in twee decimalen.

Waterstof op aanvraag

Sinds 1998 wordt in auto's geëxperimenteerd met een brandstofcel, waarin de brandstof (waterstof) wordt geleverd door een oplossing van natriumboorhydride (NaBH_4): het 'waterstof op aanvraag' systeem. Het natriumboorhydride kan worden gemaakt uit borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), een mineraal dat op vrij grote schaal in de natuur voorkomt. In de eerste stap van deze bereiding wordt $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ omgezet tot H_3BO_3 . Via een aantal hierop volgende stappen wordt H_3BO_3 omgezet tot NaBH_4 .

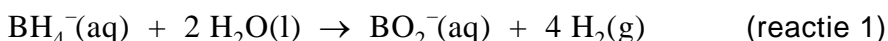
Om de omzetting van $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ tot H_3BO_3 te laten verlopen, wordt aan borax een oplossing van een sterk zuur toegevoegd, bijvoorbeeld verdund zwavelzuur met $\text{pH} = -0,15$. Hierbij lost de $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ op. De $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$ ionen reageren vervolgens met de zure oplossing. Bij deze reactie wordt uitsluitend H_3BO_3 gevormd.

- 3p **13** Geef de vergelijking van de reactie waarin $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$ met de zure oplossing wordt omgezet tot H_3BO_3 .

In verdund zwavelzuur met $\text{pH} = -0,15$ mag het H_2SO_4 worden beschouwd als een eenwaardig zuur (een zuur dat per molecuul één H^+ ion afstaat). Van het aantal HSO_4^- ionen is in deze oplossing namelijk een heel klein percentage omgezet tot SO_4^{2-} ionen.

- 3p **14** Bereken hoeveel procent van de HSO_4^- ionen in deze oplossing is omgezet tot SO_4^{2-} ionen.

Een oplossing van natriumboorhydride is stabiel. Wanneer een oplossing van natriumboorhydride met een bepaalde vaste katalysator in contact wordt gebracht, verloopt de volgende reactie:



Reactie 1 is een redoxreactie.

- 3p **15** Geef de vergelijking van de halfreactie van BH_4^- . Hierin komen uitsluitend BH_4^- , BO_2^- , H_2O , OH^- en e^- voor.

In een artikel over dit ‘waterstof op aanvraag’ systeem komt het volgende tekstfragment voor:

tekstfragment

Opgelost in water kan de brandstof gemakkelijk en vooral veilig worden meegenomen in een auto; de tank hoeft niet onder druk te staan en uitgebreide veiligheidsmaatregelen zijn niet nodig. De waterstof komt pas vrij als men de oplossing met behulp van een pomp langs een platina-katalysator laat stromen, op het moment dat men het nodig heeft. Er bevindt zich nooit meer dan 2,5 gram waterstof in de brandstofleidingen, equivalent aan één glaasje benzine. Dit minimaliseert het brandgevaar.

naar: Chemisch2Weekblad

- 3p **16** Ga door middel van een berekening na hoeveel mL benzine het bedoelde glaasje bevat, waarover in het tekstfragment wordt geschreven.
- Met equivalent wordt hier bedoeld: evenveel energie leverend.
 - Ga ervan uit dat in de brandstofleidingen de temperatuur 273 K is en dat $p = p_0$.
 - Gebruik bij de berekening onder andere gegevens uit Binas-tabel 28A en neem aan dat de gegevens uit deze tabel met betrekking tot benzine ook gelden bij 273 K.

Tijdens de ontwikkeling van het ‘waterstof op aanvraag’ systeem heeft men een aantal factoren onderzocht die van invloed zijn op de hoeveelheid waterstof die per seconde kan worden geproduceerd. Eén van die factoren is de snelheid waarmee de NaBH_4 oplossing langs de platina-katalysator wordt gepompt.

- 3p **17** Welke drie factoren, die van invloed zijn op de waterstofproductie, zal men ook hebben onderzocht?

Een auto die rijdt op het ‘waterstof op aanvraag’ systeem tankt dus geen benzine, maar een oplossing van NaBH_4 . Van een bepaald type auto die wordt aangedreven door een waterstof brandstofcel, is gegeven dat hij op 1,0 kg waterstof 70 km kan rijden. Wanneer de waterstof wordt geproduceerd via reactie 1 uit een NaBH_4 oplossing, is uit te rekenen hoeveel km zo’n auto per 1,0 liter NaBH_4 oplossing kan rijden.

- 5p **18** Geef deze berekening. Gebruik daarbij de volgende gegevens:
- de NaBH_4 oplossing bevat 20,0 massaprocent NaBH_4 ;
 - de dichtheid van de oplossing bedraagt $1,03 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$;
 - alle NaBH_4 wordt omgezet.

Weekmaker

Sommige plastics zoals PVC (polychlooretheen) zijn stijve en stugge materialen. Om ze soepel te maken, wordt vaak gebruik gemaakt van zogenoemde weekmakers.

In een tijdschrift stond een artikel over weekmakers. In het volgende tekstfragment staat een deel van dit artikel. Weekmakers zijn bij kamertemperatuur vloeistoffen.

tekstfragment

Weekmakers worden aan polymeren toegevoegd om een meer flexibel eindproduct te krijgen of om een specifieke verwerkingsmethode mogelijk te maken. Weekmakers ontlenen hun werking aan het feit dat ze de interacties tussen de polymeerketens verzwakken, waardoor een materiaal minder stijf wordt. Hoe meer een weekmaker in staat is om zich tussen de polymeerketens door te bewegen, hoe efficiënter de weekmaker is. Een hoge mate van beweeglijkheid leidt echter ook tot een grotere kans dat de weekmaker uit het polymeer migreert naar de omgeving. De migratie van weekmakers naar het milieu kan aanleiding geven tot allerlei ongewenste (eco)toxicologische effecten.

naar: "Kunststof en Rubber", K. Molenveld, WUR, Wageningen

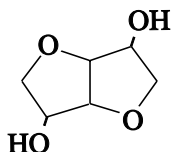
Met "interacties tussen de polymeerketens" wordt een bepaald type binding bedoeld.

Plastics worden vaak ingedeeld in thermoplasten en thermoharders.

- 3p 19 Leg uit dat het gebruik van een weekmaker zinvol is bij een thermoplast en niet bij een thermoharder. Betrek in je uitleg de soort(en) binding die in thermoplasten en thermoharders voorkomt (voorkomen).

Vanwege de mogelijke bezwaren van het gebruikelijke type weekmakers wordt op een instituut in Wageningen onderzocht of weekmakers zijn te ontwikkelen die vriendelijker zijn voor mens en milieu. Daarbij heeft men gevonden dat de stof isosorbide een geschikte stof is om weekmakers te synthetiseren die aan de gestelde voorwaarden voldoen.

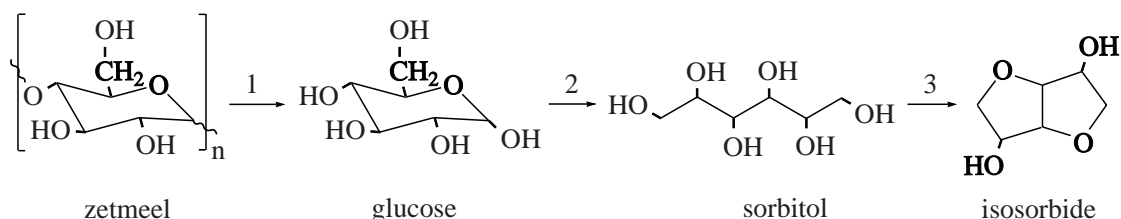
De structuurformule van isosorbide kan als volgt worden weergegeven:



Een voorbeeld van zo'n nieuw type weekmaker is de di-ester van isosorbide en 2-ethylhexaanzuur.

- 5p **20** Geef de reactievergelijking voor het ontstaan van deze weekmaker. Gebruik daarin structuurformules voor de organische verbindingen. Voor isosorbide mag de structuurformule worden gebruikt die op de vorige pagina is weergegeven.

Als grondstof voor de bereiding van isosorbide wordt zetmeel gebruikt. Bij deze bereiding spelen drie omzettingen een rol. Hieronder zijn deze omzettingen schematisch weergegeven.

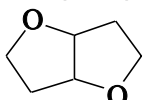


Voor omzetting 1 is behalve zetmeel nog een stof X nodig. Voor omzetting 2 is behalve glucose nog een stof Y nodig.

- 2p **21** Geef de namen van de stoffen X en Y. Noteer je antwoord als volgt:
 stof X is: ...
 stof Y is: ...

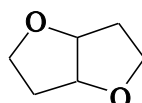
De omzetting van sorbitol tot isosorbide verloopt in een aantal stappen. Bij het onderzoek in Wageningen bleek dat het handig is om het isosorbide niet eerst te isoleren tijdens de bereiding van de weekmaker. Eén van de onderzoekers heeft een reactieschema en aanvullende gegevens verstrekt over de wijze waarop de productie van de weekmaker vanuit sorbitol verloopt. Deze informatie is te vinden op pagina 12.

In het reactieschema zijn sommige structuurformules ruimtelijk getekend. In deze structuren komen de bindingen die zijn getekend met \blacktriangleright uit het vlak van tekening naar voren en de bindingen die zijn getekend met \dots liggen achter het vlak van tekening. Door de formules op deze manier weer te geven, wordt onder andere duidelijk dat 1,4-sorbitan en 3,6-sorbitan stereo-isomeren zijn. Maar de gegeven schematische weergave van het molecuul isosorbide kan een misverstand oproepen. Door het molecuul zo weer te geven, lijkt het alsof het

gedeelte  vlak is. Dat geldt wel bij benadering voor elk van beide

vijfringen afzonderlijk, maar de hoek tussen de vlakken van beide vijfringen is niet gelijk aan 180° . Beide vijfringen liggen dus niet in één plat vlak.

- 2p **22** Leg uit dat de hoek tussen de vlakken van beide vijfringen in het gedeelte

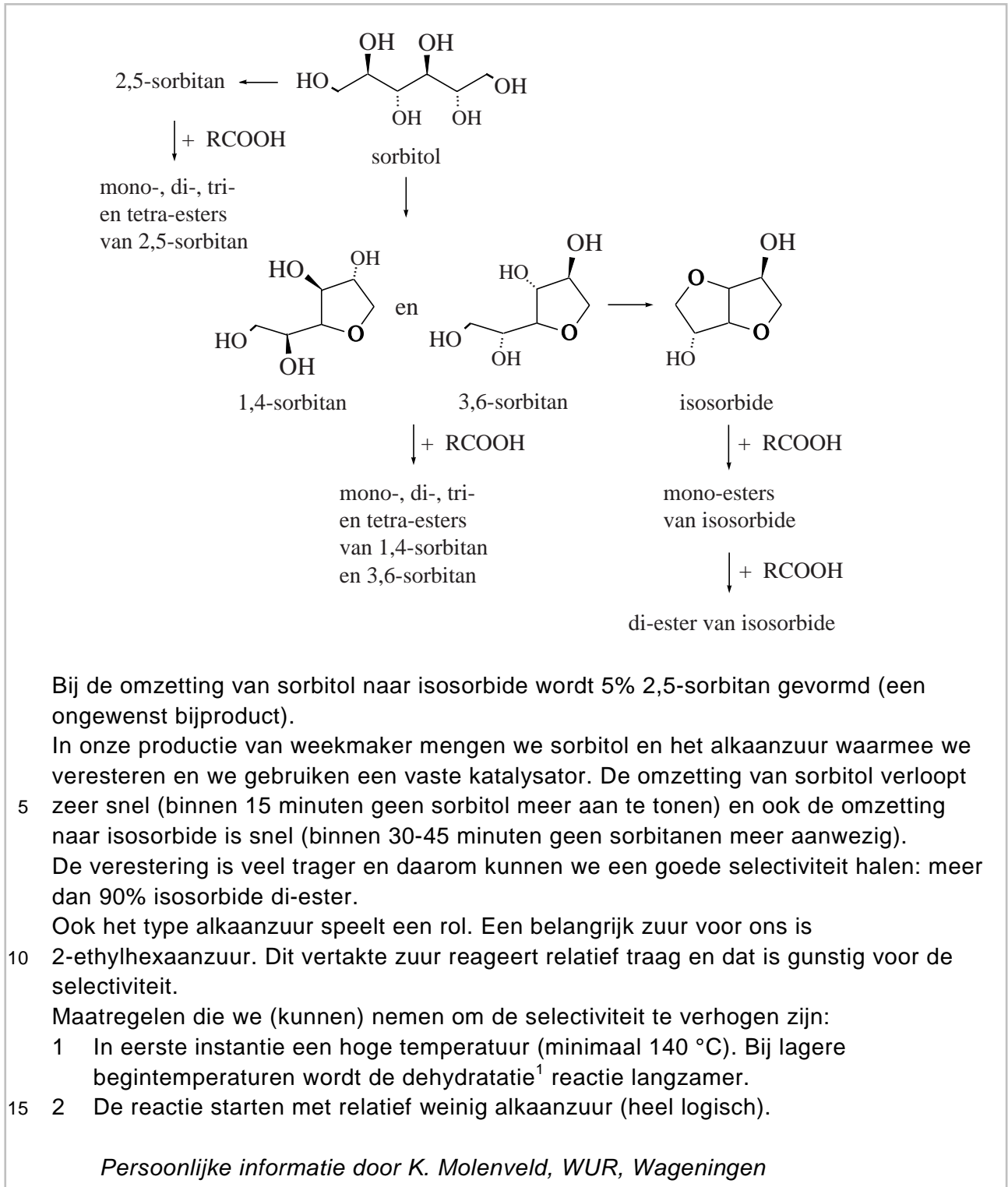
 van het isosorbidemolecuul niet gelijk is aan 180° .

Bij de vorming van 1,4-, 2,5-, en 3,6-sorbitan vindt dehydratatie plaats. De getallen in de voorvoegsels van de namen van deze stoffen geven de nummers aan van de C atomen van het sorbitolmolecuul waarvan de OH groepen met elkaar hebben gereageerd.

Met behulp van deze gegevens en de informatie uit de voetnoot op pagina 12 kan de structuurformule van 2,5-sorbitan worden afgeleid.

- 3p **23** Geef de structuurformule van 2,5-sorbitan. Teken hierin alle C, H en O atomen.
- 2p **24** Leg uit waarom de genoemde verschillen in reactiesnelheid (zie regels 4 tot en met 8) maken dat een goede selectiviteit wordt bereikt bij de beschreven bereiding van de weekmaker. Betrek in je uitleg één of meer gegevens uit het reactieschema.
- 1p **25** Leg uit waarom starten met relatief weinig alkaanzuur bij de beschreven bereiding van de weekmaker de selectiviteit verhoogt (zie regel 15).

reactieschema en toelichting



noot 1 Onder dehydratatie wordt een reactie verstaan waarbij water wordt afgesplitst. In dit geval reageren twee OH groepen in hetzelfde molecuul met elkaar. Hierbij wordt tevens een cyclische ether gevormd.