

## Examenopgaven vwo industrie

[Filmpje](#) met wat je hierover moet weten bij het examen.

De opgaven van de (her)examens van 2021 en 2022 staan hier niet bij, zodat je die als heel examen kunt oefenen. De antwoorden staan onderaan, via de link/QR code kun je steeds een uitlegfilmje vinden.



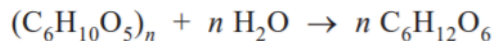
### 2012-II (pilot)

Eerste-generatie bio-ethanol werd geproduceerd uit suiker, afkomstig van eetbare gewassen. Tweede-generatie bio-ethanol wordt geproduceerd uit oneetbare, houtachtige gewassen zoals stro. De voornaamste bestanddelen van stro zijn cellulose, hemicellulose en lignine.

In een proeffabriek voor de tweede-generatie bio-ethanol wordt cellulose afkomstig van stro met behulp van enzymen afgebroken tot monosachariden. Hemicellulose wordt afgebroken tot sachariden met kortere ketens en lignine wordt in dit proces niet afgebroken.

- 1p **22** Geef een mogelijke verklaring voor het feit dat de enzymen die cellulose en hemicellulose afbreken, lignine niet kunnen afbreken.

De afbraak van cellulose kan worden weergegeven met de volgende reactievergelijking:



Vervolgens wordt het ontstane glucose door bakkersgist omgezet tot ethanol:



De proeffabriek verwerkt op deze manier jaarlijks 30.000 ton stro tot 5,4 miljoen liter ethanol.

- 4p **23** Bereken het rendement voor de omzetting van cellulose tot ethanol. Ga ervan uit dat:
- de ethanol-opbrengst uit hemicellulose te verwaarlozen is;
  - het gebruikte stro 35,0 massa% cellulose bevat;
  - de dichtheid van ethanol  $0,80 \text{ kg L}^{-1}$  bedraagt;
  - 1 ton  $1 \cdot 10^6 \text{ g}$  is.

Een hoog rendement in de productie van tweede-generatie bio-ethanol wordt onder meer bereikt door het stro voor te behandelen met stoom, waardoor cellulose beter enzymatisch afbreekbaar wordt.

Het stro wordt hierbij in een reactor (reactor 1) geleid. Tevens wordt stoom reactor 1 ingeleid. Hierdoor wordt het hemicellulose omgezet tot sachariden met kortere ketens en andere afbraakproducten, maar wordt cellulose nauwelijks afgebroken.

In reactor 1 ontstaat afvalwater, waarin mineralen uit het stro en de afbraakproducten van hemicellulose zijn opgelost. Het afvalwater wordt de reactor uitgeleid en deels ingedampt in ruimte A. De stroperige vloeistof die ontstaat bevat voornamelijk korte ketens van C5-monosachariden en wordt C5-melasse genoemd. Deze C5-melasse kan worden gebruikt in veevoer.

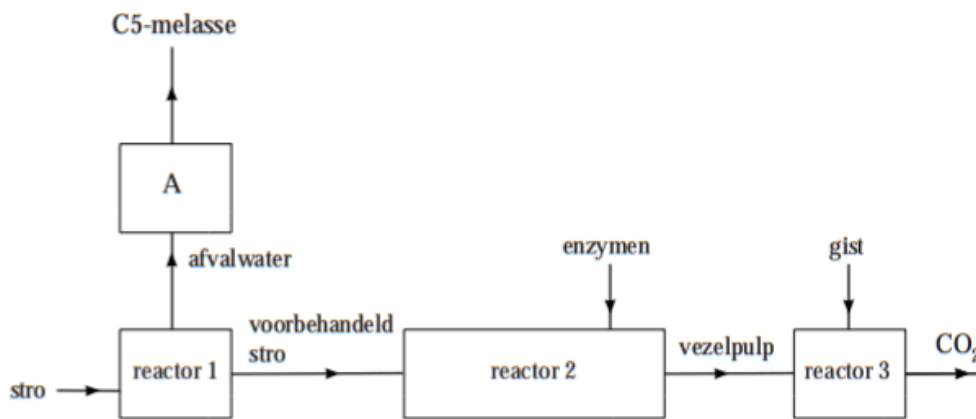
- 2p **24** Geef de namen van de twee scheidingsmethoden die in reactor 1 worden toegepast.

Het voorbehandelde stro afkomstig uit reactor 1 bevat geen hemicellulose meer. Het mengsel wordt naar reactor 2 geleid. In reactor 2 vindt met behulp van enzymen gedeeltelijke hydrolyse van cellulose tot glucose en andere sachariden met korte ketens plaats. Glucose remt de werking van deze enzymen. Het in reactor 2 ontstane mengsel, vezelpulp genaamd, wordt naar reactor 3 geleid, waar er gist aan wordt toegevoegd. In deze reactor gaat de afbraak van cellulose en andere sachariden door de enzymen nog steeds door. De CO<sub>2</sub> die ontstaat bij het gisten wordt direct afgevangen en opgeslagen. Het tegelijkertijd plaatsvinden van de enzymatische afbraak van cellulose en het gisten is voordelig voor de snelheid waarmee ethanol gevormd wordt.

- 3p **25** Leg uit waarom het voordelig is voor de snelheid waarmee ethanol gevormd wordt als de afbraak van cellulose en het gisten tegelijkertijd plaatsvinden.

Het uit reactor 3 afkomstige mengsel, vezelbier genaamd, wordt in een destillatietoren geleid waar ethanol wordt afgescheiden. Het residu van de destillatie, vezelafval genaamd, wordt gescheiden in ruimte B in een vaste en een vloeibare fractie. De vaste fractie bevat voornamelijk lignine. Dit wordt in ruimte C gedroogd en tot korrels samengeperst. De vloeibare fractie wordt naar reactor 2 geleid. Ook al het in het proces vrijgekomen water wordt teruggeleid naar reactor 2.

- 4p **26** Op de uitwerkbijlage is het onvolledige blokschema van de ethanolfabriek weergegeven. Maak het blokschema af door blokken en pijlen met stofstromen toe te voegen.  
Noteer hierin:
- de destillatietoren met een blok;
  - stofnamen bij de pijlen/stofstromen.
- Stofstromen voor enzymen en gist hoeven niet te worden getekend.



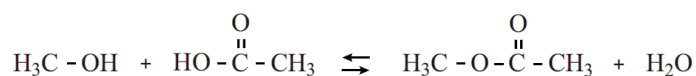
[Uitlegfilmpje](#)



2014-II (pilot)

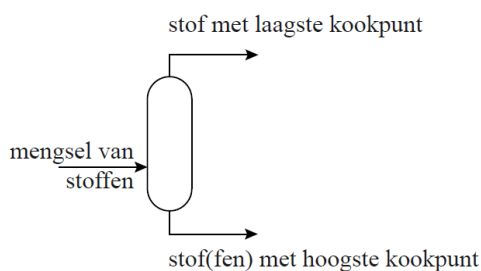
## Methylethanoaat

Methylethanoaat is in gebruik als oplosmiddel en als basis voor lakken. De productie van methylethanoaat ( $C_3H_6O_2$ ) gebeurt door estervorming uit methanol en ethaanzuur. Als katalysator wordt zwavelzuur toegepast. Deze estervorming is een evenwichtsreactie.



Doordat de vorming van methylethanoaat een evenwichtsreactie is, zijn na de estervorming enkele scheidingsstappen nodig om het mengsel van stoffen afkomstig uit de reactor te scheiden. Deze scheiding kan worden bereikt met destillatie. Uit de reactor komt een mengsel van vijf stoffen: ethaanzuur, methanol, methylethanoaat, water en zwavelzuur. In een destillatiestap wordt steeds één stof uit het mengsel afgescheiden. Aangenomen mag worden dat de scheiding volledig is. In dat geval zijn vier destillatiestappen nodig na de reactie om het mengsel volledig te scheiden. Dit gebeurt in destillatiekolommen, waarvan er in figuur 1 één schematisch is weergegeven.

**figuur 1**



- 2p 20 Leg uit, met behulp van gegevens uit de tabel met kookpunten hieronder, wat de minimumtemperatuur moet zijn om in de tweede destillatiekolom een scheiding te bewerkstelligen ( $p = p_0$ ).

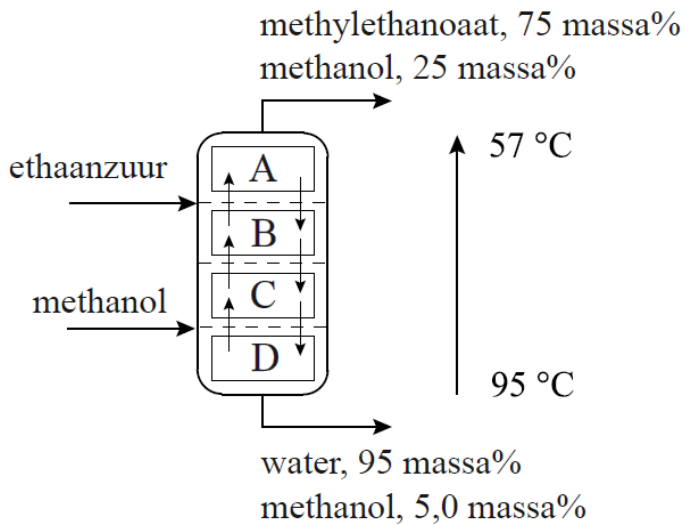
stof	kookpunt ( $^{\circ}\text{C}$ , $p = p_0$ )
ethaanzuur	118
methanol	65
methylethanoaat	57
water	100
zwavelzuur	330

In de jaren '80 van de vorige eeuw heeft men een chemisch technologisch proces ontwikkeld, waarin een reactor en een destillatietoren worden gecombineerd. Dit proces heet 'reactieve destillatie'. Door tijdens de reactie het reactiemengsel te verwarmen, verdampt methylethanoaat uit het reactiemengsel.

- 2p 21 Leg uit wat de invloed is op de ligging van het evenwicht wanneer methylethanoaat uit het reactiemengsel verdampt.

Aan de universiteit van Oldenburg in Duitsland zijn experimenten gedaan om de productie van methylethanoaat te verbeteren. Deze experimenten zijn gedaan in een fabriek op kleine schaal, een zogenoemde proeffabriek. In de proeffabriek wordt de 'reactieve destillatie' uitgevoerd in een zogenoemde reactieve-destillatiekolom. Deze kolom is verdeeld in vier compartimenten en staat verticaal, zoals in figuur 2 is weergegeven. In compartiment C vindt de reactie plaats. De plaatsen waar ethaanzuur en methanol worden toegevoegd, zijn ook aangegeven. In de kolom neemt de temperatuur van beneden naar boven geleidelijk af van  $95\text{ }^{\circ}\text{C}$  naar  $57\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Het ethaanzuur en de methanol worden van te voren op de vereiste temperatuur gebracht.

**figuur 2**



Ethaanzuur is in een deel van de kolom ook extractiemiddel: alle water en in mindere mate methanol lossen in het ethaanzuur op, methylethanoaat lost slecht op.

2p 22 Leg uit waarom water beter oplost in ethaanzuur dan methylethanoaat.

In de reactieve-destillatiekolom vindt een voortdurende uitwisseling van stoffen tussen de compartimenten plaats: vloeistoffen/oplossingen stromen van boven naar beneden en van beneden naar boven, gassen stromen alleen naar boven.

Wat in de verschillende compartimenten gebeurt, hangt af van de vulling van dat compartiment, de zogenoemde pakking. In de bovenbedoelde reactieve-destillatiekolom worden drie soorten pakkingen gebruikt:

- destillatiepakking: deze zorgt voor een optimaal verloop van een destillatie;
- extractiepakking: deze zorgt voor een optimaal verloop van een extractie;
- reactiepakking: deze zorgt voor een optimaal verloop van een reactie.

Aan de reactiepakking is eveneens de katalysator voor de vorming van methylethanoaat gebonden. Deze katalysator hoeft dus niet uit het reactiemengsel te worden verwijderd.

Per compartiment kunnen in principe drie verschillende soorten pakkingen tegelijk worden toegepast. De reactiepakking bevindt zich alleen in compartiment C.

- 3p 23 Geef voor de compartimenten B en C aan welke stoffen het compartiment van boven en van onder binnenkomen wanneer de kolom in bedrijf is. Gebruik figuur 2. Houd er rekening mee dat:
- stoffen onder hun kookpunt ook in dampvorm kunnen voorkomen;
  - stoffen boven hun kookpunt ook in oplossing kunnen voorkomen.
- Geef je antwoord in de vorm:  
compartiment B: stof (stoffen) die van boven komt (komen): ...  
compartiment B: stof (stoffen) die van beneden komt (komen): ...  
compartiment C: stof (stoffen) die van boven komt (komen): ...  
compartiment C: stof (stoffen) die van beneden komt (komen): ...
- 2p 24 Leg uit welk type (welke typen) pakking(en) in compartiment B wordt (worden) toegepast.

In figuur 2 zijn ook de resultaten vermeld die zijn verkregen in de proeffabriek van de universiteit van Oldenburg.

- 2p 25 Leg aan de hand van figuur 2 uit hoe groot het rendement is van de productie van methylethanoaat ten opzichte van ethaanzuur.

[Uitlegfilmpje](#)

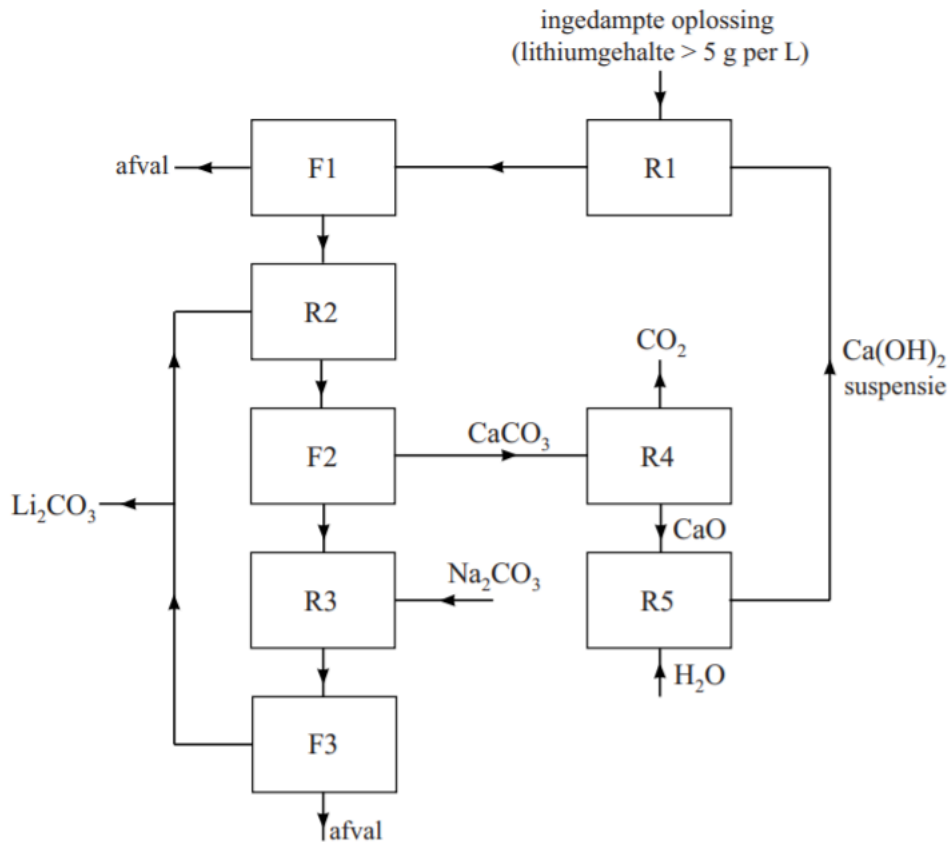


2015 II pilot

De vraag naar lithium neemt sterk toe. Het wordt steeds meer verwerkt in batterijen en in accu's van elektrische auto's. Drooggevalen zoutmeren in het Andesgebergte bevatten het grootste deel van de winbare wereldvoorraad lithium. Diep onder het oppervlak van deze zoutlagen bevinden zich holtes die zich gevuld hebben met water dat verzadigd is met natriumchloride. De oplossing bevat tevens magnesium-, kalium- en lithiumzouten. Het lithiumgehalte van de oplossing kan wel  $1 \text{ g L}^{-1}$  bedragen. De oplossing wordt opgepompt en in bassins door zonnewarmte langzaam ingedampd totdat het lithiumgehalte van de oplossing minstens  $5 \text{ g L}^{-1}$  bedraagt. Door het indampen stijgt ook de verhouding tussen de concentraties van de lithium- en natriumionen.

- 3p 18 Leg uit dat door indampen de verhouding  $\frac{[\text{Li}^+]}{[\text{Na}^+]}$  toeneemt. Neem aan dat de ingedampte en opgepompte oplossing dezelfde temperatuur hebben.

## blokschema



In de bijlage bij dit examen is in een blokschema vereenvoudigd weergegeven hoe in een continu proces zuiver lithiumcarbonaat verkregen wordt uit de ingedampte oplossing.

In het proces wordt onder andere gebruikgemaakt van de eigenschap dat de oplosbaarheid van lithiumcarbonaat bij 100 °C kleiner is dan bij 20 °C. Het blokschema bevat reactoren (R) en filters (F). Bij elk filter geeft de pijl omlaag het filtraat weer en de horizontale pijl het residu. De reacties in R1 en R2 vinden plaats bij 20 °C.

In R1 worden vooral de magnesiumionen uit de oplossing verwijderd. In R2 wordt vast lithiumcarbonaat toegevoegd aan de oplossing die uit F1 komt zodat de calciumionen uit de oplossing worden verwijderd. Aan de oplossing die uit F2 komt, wordt natriumcarbonaat toegevoegd en in R3 wordt op een hogere temperatuur gebracht. Daardoor ontstaat in R3 vast lithiumcarbonaat. Het residu uit F3 bestaat uit vast lithiumcarbonaat met een hoge zuiverheid. Een deel van dit lithiumcarbonaat wordt teruggevoerd in R2. De rest van het lithiumcarbonaat wordt opgeslagen en geleverd aan fabrieken die daaruit lithium produceren.

Wanneer in R2 te weinig lithiumcarbonaat wordt toegevoegd verloopt de omzetting in R2 onvolledig.

- 3p 19 Leg uit wat het effect is op
- het rendement van de productie van lithiumcarbonaat
  - de zuiverheid van lithiumcarbonaat
- wanneer in R2 te weinig lithiumcarbonaat wordt toegevoegd.

Door het toevoegen van extra water lossen lithiumsulfaat en aluminiumsulfaat op. Uit deze oplossing kan ook lithiumcarbonaat worden bereid volgens het blokschema op de bijlage. Vergeleken met de oplossing die onder de zoutlaag wordt opgepompt, bevat de oplossing veel minder natrium-, magnesium- en chloride ionen en veel meer waterstof-, aluminium- en sulfaationen.

- 3p 22 Leg uit voor elk van de drie ionsoorten (waterstof, aluminium en sulfaat) waar in het blokschema deze ionen worden verwijderd. Gebruik hierbij onder andere Binas-tabel 45.

Uit gegevens in deze opgave kan worden afgeleid dat de productie van lithiumcarbonaat uit de opgepompte oplossing goedkoper is dan uit spodumeen.

- 2p 23 Noem twee factoren waardoor de productie uit de opgepompte oplossing goedkoper is dan de productie uit spodumeen.

[uitlegfilmpje](#)



### 2016 voorbeeldexamen

In de bioreactor is de concentratie hexaanzuur laag, zodat het aanwezige hexaanzuur geheel is opgelost. Om hexaanzuur uit het reactiemengsel te isoleren, hebben de onderzoekers twee methoden onderzocht.

#### Methode 1

De pH van het reactiemengsel wordt verlaagd tot  $\text{pH} = 5,00$  door geconcentreerd zoutzuur aan de inhoud van de bioreactor toe te voegen. Hierdoor stijgt de concentratie van hexaanzuur en daalt de concentratie van hexanoaat. Het opgeloste hexaanzuur wordt door middel van extractie met een geschikte vloeistof van de rest van het reactiemengsel gescheiden. Na de extractie wordt het hexaanzuur met behulp van destillatie gescheiden van het oplosmiddel dat opnieuw wordt gebruikt.



## Methode 2

De pH van het reactiemengsel wordt verhoogd tot pH = 7,00 door geconcentreerd natronloog toe te voegen. Hierdoor stijgt de concentratie van hexanoaat en daalt de concentratie van hexaanzuur. Als aan het ontstane mengsel een overmaat calciumchloride-oplossing wordt toegevoegd, ontstaat een neerslag van het slecht oplosbare calciumhexanoaat. Het neerslag wordt gefiltreerd waarna het calciumhexanoaat met geconcentreerd zoutzuur wordt omgezet tot vast hexaanzuur.

De onderzoekers maken een afweging welke methode de voorkeur heeft bij toepassing op grote schaal. Ze vergelijken beide methoden op basis van het energieverbruik en de afvalproductie.

- 2p **12** Geef aan welke methode de voorkeur heeft als gelet wordt op het energieverbruik. Licht je antwoord toe.
- 2p **13** Geef voor beide methodes aan welke stoffen/deeltjes afkomstig van de toegevoegde oplossingen in de afvalstroom aanwezig zijn.

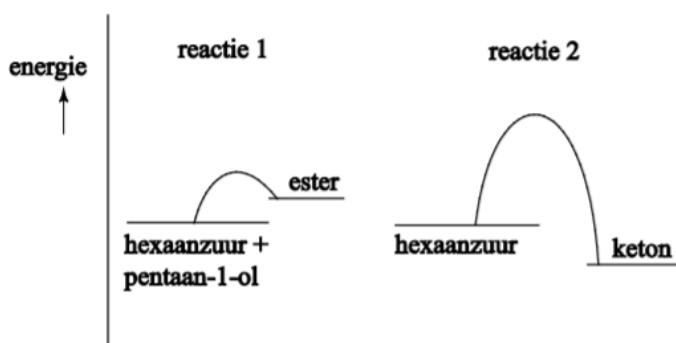
De onderzoekers wilden uitzoeken of ketonisatie ook verloopt als hexaanzuur verontreinigd is met bijvoorbeeld een alcohol. Als dat lukt, hoeft hexaanzuur niet eerst gezuiverd te worden en kan het reactiemengsel afkomstig van de bioreactor na afscheiding van water en de daarin opgeloste stoffen direct gebruikt worden voor ketonisatie.

Men ging bij het onderzoek uit van een mengsel van hexaanzuur en pentaan-1-ol. Het blijkt dat er twee reacties tegelijk verlopen:

- 1 de vorming van de ester van hexaanzuur en pentaan-1-ol, dit is een evenwicht (reactie 1);
- 2 de ketonisatie van hexaanzuur, dit is een aflopende reactie (reactie 2).

In figuur 2 zijn de energiediagrammen weergegeven van de beide reacties.

**figuur 2**



Of de ester of het keton ontstaat, blijkt sterk af te hangen van de temperatuur. Als het reactiemengsel langere tijd op hogere temperaturen wordt gehouden, wordt uitsluitend het keton aangetroffen.

- 3p 15 Leg onder andere met behulp van de energiediagrammen uit waarom alleen het keton wordt aangetroffen als het reactiemengsel langere tijd op hogere temperaturen wordt gehouden en waarom de ester niet wordt aangetroffen.

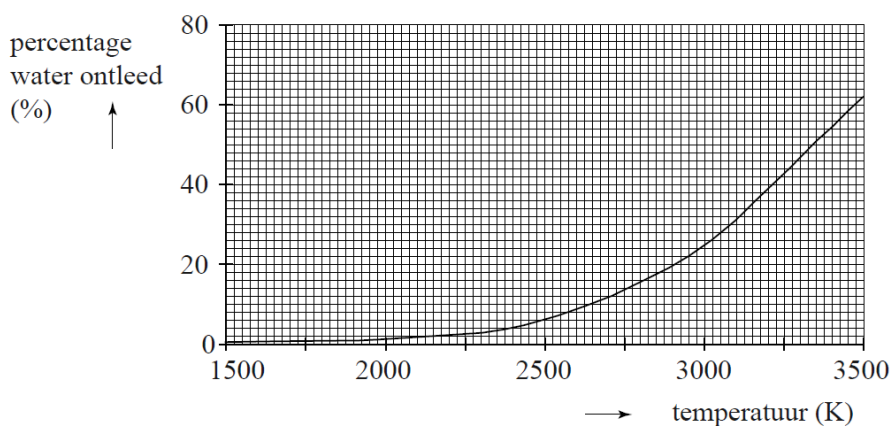
[uitlegfilmpje](#)



2016 I

Als waterdamp wordt verhit, blijkt water namelijk te ontleden in waterstof en zuurstof. In diagram 1 is weergegeven welk percentage van de watermoleculen is ontleed afhankelijk van de temperatuur.

**diagram 1**



Tussen 2000 K en 3500 K is de ontleding van waterdamp een evenwicht.

- 4p 7 Geef de evenwichtsvoorwaarde van dit evenwicht en leg met behulp van diagram 1 uit hoe de waarde van de evenwichtsconstante  $K$  verandert als de temperatuur stijgt.

Uit metingen blijkt dat bij de reactie van ethyn met zuurstof vooral koolstofmonoïoxide en waterstof worden gevormd.

- 3p 8 Bereken de reactiewarmte per mol ethyn van de reactie waarbij ethyn met zuurstof reageert tot koolstofmonoïoxide en waterstof.  
Gebruik Binas-tabel 57.

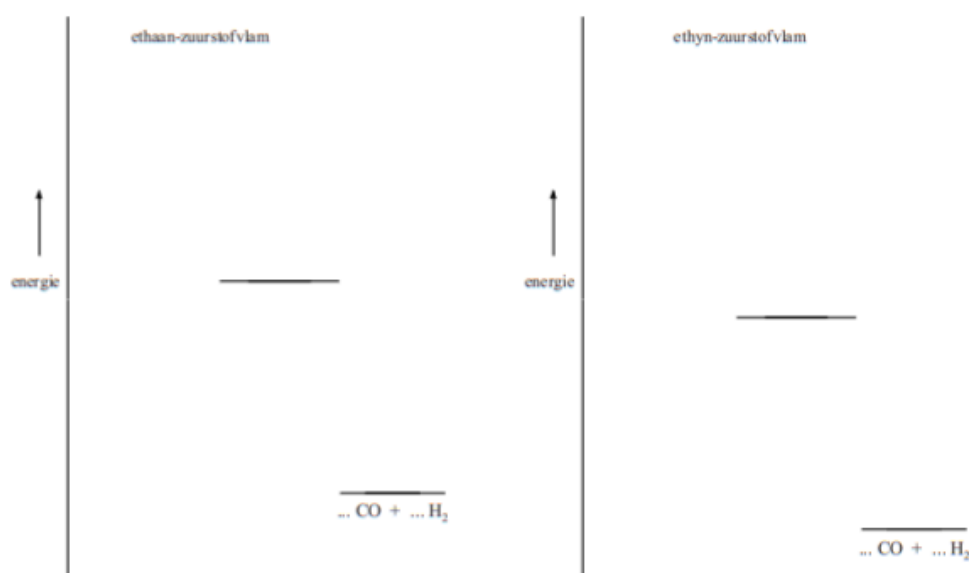
Op basis van de aanname dat de verbrandingsproducten van de ethyn-zuurstofvlam CO en H<sub>2</sub> zijn, kan worden berekend dat dan een temperatuurstijging van ruim  $3 \cdot 10^3$  K bereikt wordt.

De temperatuurstijging die kan worden bereikt met een ethaan-zuurstofvlam, waarbij ook CO en H<sub>2</sub> ontstaan, is lager dan van de ethyn-zuurstofvlam.

Dit wordt onder andere veroorzaakt doordat bij de ethaan-zuurstofvlam meer mol gas moet worden verwarmd. Ook is de reactiewarmte lager.

Op de uitwerkbijlage bij dit examen zijn twee energiediagrammen weergegeven. Hierin zijn de energieniveaus van de niet-ontleedbare stoffen en de reactieproducten al aangegeven.

- 3p 9 Maak op de uitwerkbijlage de energiediagrammen voor beide reacties af zodat duidelijk wordt waarom de reactiewarmte van de ethaan-zuurstofvlam lager is dan die van de ethyn-zuurstofvlam.  
Gebruik Binas-tabel 57B.  
Geef in de diagrammen het volgende aan:
- de ontbrekende energieniveaus van de beginstoffen;
  - de molecuulformules en coëfficiënten van de reacties.





[Uitlegfilmpje](#)

Chips voor elektronica worden gemaakt van dunne ronde schijven zeer zuiver silicium, wafers genoemd. Het benodigde silicium wordt gewonnen uit de steensoort kwartsiet. Hieruit kan silicium worden verkregen met een zuiverheid van ruim 98%. Dit wordt metallurgical-grade silicium (MGS) genoemd. MGS dient als grondstof voor de bereiding van electronical grade silicium (EGS), dat een zuiverheid heeft van 99,999999999%. Het productieproces van EGS uit MGS staat in de uitwerkbijlage die bij dit examen hoort in een onvolledig blokschema weergegeven. In reactor R1 reageert MGS met HCl. Hierbij wordt het silicium uit MGS omgezet tot  $\text{SiHCl}_3$  en waterstof. Het HCl reageert hierbij volledig.

- 2p 17 Geef de vergelijking voor de reactie van Si (uit MGS) en HCl tot  $\text{SiHCl}_3$  en waterstof.

Behalve  $\text{SiHCl}_3$  en waterstof ontstaan nog allerlei andere reactieproducten in R1. De voornaamste reactieproducten en hun kookpunten staan vermeld in tabel 1. De siliciumverbindingen die in R1 worden gevormd, hebben verschillende kookpunten. Dit kan worden verklaard aan de hand van de sterkte van de bindingen tussen de moleculen. Tussen de moleculen van een aantal van de in tabel 1 genoemde stoffen is een dipool-dipoolbinding aanwezig. Deze binding wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van één of meer polaire Si-Cl atoombindingen.

Atoomsoorten in MGS	Kookpunt (K)	Reactieproduct na reactie met HCl	Kookpunt (K)
Si	3538	$\text{SiH}_3\text{Cl}$	243
		$\text{SiH}_2\text{Cl}_2$	281
		$\text{SiHCl}_3$	306
		$\text{SiCl}_4$	331
Al	2792	$\text{AlCl}_3$	466
Fe	3134	$\text{FeCl}_2$	1296
		$\text{FeCl}_3$	589

De in R1 ontstane stoffen  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{FeCl}_2$  en  $\text{FeCl}_3$  worden in R1 al direct afgevoerd als afval. Het mengsel van gassen en vloeistoffen dat overblijft, wordt in S1 gedestilleerd bij 308 K. In alle destillatiestappen in dit proces komt (komen) de stof(fen) met het laagste kookpunt boven uit de destillatiekolom.

In S2 wordt het uit S1 afkomstige mengsel gedestilleerd bij 303 K, waardoor zeer zuiver  $\text{SiHCl}_3$  wordt verkregen.

In reactor R2 wordt het  $\text{SiHCl}_3$  met waterstof weer omgezet tot gasvormig silicium en HCl. In R2 vindt dus de omgekeerde reactie plaats van R1. Het silicium rijpt hierbij op een kristallisatiekern van zeer zuiver silicium. Zo ontstaat een staaf vast silicium (EGS).

$\text{SiHCl}_3$  reageert in R2 echter ook met het in R2 gevormde HCl, waarbij  $\text{SiCl}_4$  en  $\text{H}_2$  ontstaan. In R2 reageert niet al het  $\text{SiHCl}_3$  met  $\text{H}_2$ , waardoor slechts een rendement van 30% wordt behaald.

In S3 wordt het gasmengsel afkomstig uit S2 en R2 gebracht. In S3 worden waterstof en HCl gescheiden van de siliciumverbindingen. De siliciumverbindingen worden weer teruggevoerd in het proces.

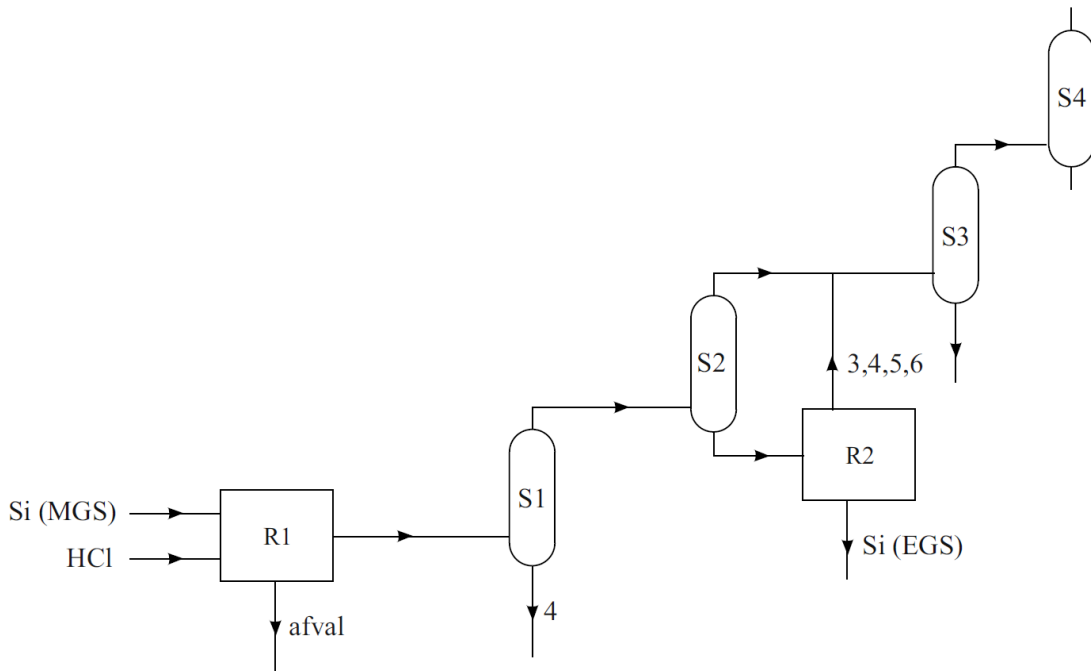
In S4 worden waterstof en HCl van elkaar gescheiden, waarna ze elk worden teruggevoerd in het proces.

Het  $\text{SiCl}_4$  afkomstig uit S1 wordt niet teruggevoerd in het proces.

In het proces wordt geen  $\text{H}_2$  van buiten aangevoerd.

- 5p 20 Vul het blokschema op de uitwerkbijlage aan door in het blokschema de ontbrekende pijlen te tekenen. Geef bij alle pijlen de ontbrekende stofstromen aan met de volgende nummers:

1	$\text{SiH}_3\text{Cl}$	4	$\text{SiCl}_4$
2	$\text{SiH}_2\text{Cl}_2$	5	$\text{H}_2$
3	$\text{SiHCl}_3$	6	HCl



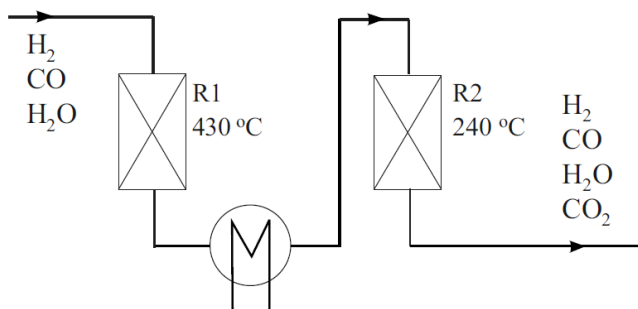
[uitlegfilmpje](#)



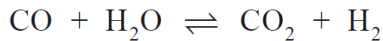
## 2016 II

Ammoniak wordt in Europa vooral geproduceerd uit stikstof en methaan. Methaan treedt in het proces op als energiebron maar ook als bron van waterstofatomen. Om waterstof te produceren uit methaan wordt bij hoge temperatuur en druk methaan in reactie gebracht met water en zuurstof. Hierbij wordt een gasmengsel van  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  en  $\text{H}_2$  verkregen. Om een groot deel van het aanwezige  $\text{CO}$  te verwijderen, wordt vervolgens in twee reactoren de zogeheten gas-shift reactie uitgevoerd. In figuur 1 is weergegeven hoe dit deel van het proces wordt uitgevoerd. Zowel in R1 als in R2 is een katalysator aanwezig en heerst een hoge druk.

**figuur 1**



In beide reactoren treedt onderstaand evenwicht op.



In de gasstroom na R1 bedraagt het volumepercentage CO nog 2-4% en na R2 is er nog 1% CO.

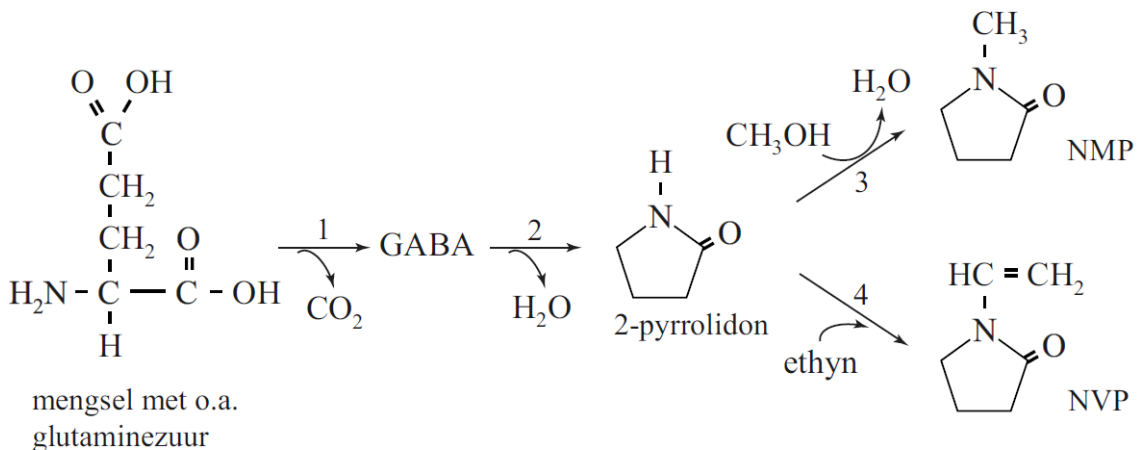
- 2p 22 Leg uit of de reactie naar rechts van dit evenwicht exotherm of endotherm is.
- 1p 23 Geef aan welk doel de hogere temperatuur in R1 heeft.
- De waterstof afkomstig uit R2 wordt in een aantal stappen afgescheiden van de rest van het gasmengsel. Allereerst wordt water afgescheiden. Daarna wordt  $\text{CO}_2$  gescheiden van de overige gassen.
- 2p 24 Leg uit op welke wijze  $\text{CO}_2$  kan worden afgescheiden uit het gasmengsel dat is ontstaan na het verwijderen van water uit het gasmengsel afkomstig van R2.

[Uitlegfilmpje](#)



2017 I

figuur 1



In reactie 1 uit figuur 1 wordt het onzuivere glutaminezuur omgezet tot de stof GABA en  $\text{CO}_2$ . In een scheidingsruimte wordt GABA gescheiden van het afval, waarin onder andere ongereageerde aminozuren aanwezig zijn. In reactie 2 treedt ringsluiting van GABA op waarbij water ontstaat.

In reactie 2 ontstaat 2-pyrrolidon, de grondstof voor zowel NMP als NVP. Voor de productie van NVP laat men in reactie 4 het 2-pyrrolidon reageren met ethyn.

De onderzoeker heeft de verschillende stappen voor de productie van NMP en NVP uit glutaminezuur onderzocht met behulp van laboratoriumreactoren. Op basis van de resultaten heeft hij een industrieel productieproces ontworpen. Dit proces kan worden weergegeven met een blokschema. Dit blokschema is op de uitwerkbijlage onvolledig weergegeven.

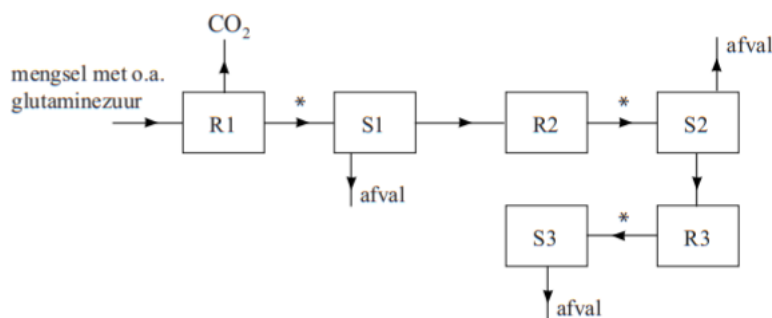
Hieronder is het productieproces van NMP en NVP beschreven.

- 1 In reactor R1 wordt een mengsel van aminozuren ingevoerd. In R1 vindt reactie 1 uit figuur 1 plaats.  
Voor reactie 1 zijn zowel de omzetting als de selectiviteit 100%.
- 2 In scheidingsruimte S1 wordt het mengsel afkomstig uit R1 volledig gescheiden in GABA en afval van de ongereageerde aminozuren.
- 3 In R2 vindt reactie 2 plaats.  
Voor reactie 2 zijn zowel de omzetting als de selectiviteit 100%.
- 4 In R2 treedt ook reactie 3 op. Methanol is hier in overmaat aanwezig. Voor reactie 3 is de omzetting 50% en de selectiviteit 92%.
- 5 In S2 wordt het mengsel afkomstig uit R2 met behulp van destillatie gescheiden in vier stromen: NMP, 2-pyrrolidon, methanol en afval. De overmaat methanol kan voor 95% worden teruggevoerd naar R2. De overige 5% bevindt zich met onder andere water in het afval van S2.
- 6 Het 2-pyrrolidon dat in R2 niet heeft gereageerd wordt volledig doorgevoerd naar reactor R3. Hier treedt reactie 4 op.  
Voor reactie 4 is de omzetting 100% en de selectiviteit 90%.
- 7 In S3 wordt ten slotte het NVP gescheiden van een afvalstroom.

De term omzetting geeft aan welk percentage van het aantal mol beginstof in een reactie is omgezet. De term selectiviteit geeft aan welk percentage van het aantal mol omgezette stof heeft gereageerd tot het gewenste product.

- 3p 27 Maak het blokschema op de uitwerkbijlage compleet.
- Noteer ontbrekende pijlen en ontbrekende stoffen bij de pijlen. Houd daarbij rekening met hergebruik van stoffen.
  - Waar in het blokschema een \* voorkomt, hoeft niets te worden aangegeven.





De bovenstaande meetgegevens zijn verkregen in een laboratoriumopzet van de fabriek. De metingen zijn gedaan aan een mengsel van aminozuren waarin 1538 kg glutaminezuur aanwezig was.

- 3p 28 Bereken de massa NMP en de massa NVP die uit deze hoeveelheid glutaminezuur werden gevormd.

[Uitlegfilmpje](#)



2017-II

Europese chemici zijn erin geslaagd om vliegtuigbrandstof (kerosine) te produceren uit koolstofdioxide en water. De onderzoekers gebruikten voor deze omzetting een zogeheten solar-reactor. Hierin wordt zonlicht gebundeld waardoor in de reactor een zeer hoge temperatuur ontstaat. De reactie (reactie 1) tussen koolstofdioxide en water verloopt bij hoge temperatuur (1000 K).



De gevormde zuurstof moet worden verwijderd voordat het gasmengsel verder kan worden gebruikt. De onderzoekers hebben hiervoor in de reactor een fijn gas aangebracht, bedekt met cerium(III)oxide. Als cerium(III)oxide reageert met zuurstof ontstaat cerium(IV)oxide (reactie 2). Uiteindelijk wordt door reacties 1 en 2 een mengsel van CO en H<sub>2</sub> verkregen.

Het in de reactor gevormde cerium(IV)oxide kan door sterke verhitting weer worden omgezet tot cerium(III)oxide (reactie 3).

De onderzoekers willen reacties 1 en 2 uitvoeren met een continue instroom en uitstroom van de gassen.

Om de productie van CO en H<sub>2</sub> uit te voeren als een continuproces moeten reacties 1 en 3 tegelijk plaatsvinden.

- 3p **4** Geef een mogelijk blokschema van deze productie van CO en H<sub>2</sub>. Uit het antwoord moet blijken dat het proces als een continuproces verloopt. Geef reactoren en stofstromen weer. Zet bij alle stofstromen de namen en/of formules van de stoffen.

Het gasmengsel waar de zuurstof uit is verwijderd, ook wel syngas genoemd, werd door de onderzoekers met het Fischer-Tropsch-proces omgezet tot kerosine. De gevormde kerosine had een gemiddelde molecuulformule van C<sub>14</sub>H<sub>28</sub>. Als bijproduct ontstond alleen water.

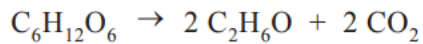
- 2p **5** Geef de vergelijking voor de vorming van deze kerosine met het Fischer-Tropsch-proces.

[uitlegfilmpje](#)



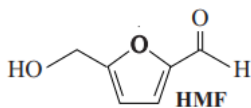
## 2018 I

Een ander gebruik van glucose is vergisting tot bio-ethanol, een proces dat kan worden weergegeven met onderstaande reactievergelijking.



De atomeconomie van de vergisting van glucose is minder gunstig dan de atomeconomie van de productie van HMF uit glucose. Voor de productie van HMF is geen andere beginstof dan glucose nodig.

- 3p 2 Bereken de atomeconomie van de productie van ethanol uit glucose en de atomeconomie van de productie van HMF uit glucose.  
Gebruik Binas-tabel 37H of ScienceData-tabel 1.7.7.



[uitlegfilmpje](#)



<https://examengemak.nl/file/Vwo%20-%20Scheikunde%20-%202018%20-%20I%20-%20Opg%203.pdf>



[uitlegfilmpje](#)

## 2018 II

<https://examengemak.nl/file/Vwo%20-%20Scheikunde%20-%202018%20-%20II%20-%20Opg%204.pdf>

[Uitlegfilmpje](#)



<https://scheikundehavovwo.nl/>

2019 I

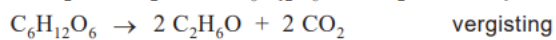
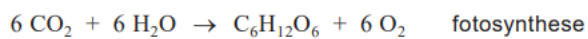
<https://examengemak.nl/file/Vwo%20-%20Scheikunde%20-%202019%20-%20I%20-%20Opg%201.pdf>

[uitlegfilmpje](#)



2019 II

Om te kunnen berekenen wat de minimale hoeveelheid energie is die nodig is om ethanol te produceren uit CO<sub>2</sub>, wordt zetmeel weggelaten uit bovenstaande omzettingen. De resterende processen kunnen dan worden weergegeven met de volgende reactievergelijkingen:



- 2p 8 Geef de totaalvergelijking voor deze vorming van ethanol uit CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O.  
2p 9 Bereken de reactiewarmte in joule per mol ethanol van deze vorming van ethanol ( $T = 298 \text{ K}$ ,  $p = p_0$ ). Neem aan dat water en ethanol in vloeibare vorm voorkomen.

[Uitlegfilmpje](#)



<https://examengemak.nl/file/Vwo%20-%20Scheikunde%20-%202019%20-%20II%20-%20Opg%203.pdf>

[uitlegfilmpje](#)



## Antwoorden

### 2012 II pilot

#### 22 maximumscore 1

Voorbeelden van een juist antwoord zijn:

- Enzymen zijn stereospecifiek, de structuur van lignine is anders dan die van cellulose/hemicellulose, dus kan hetzelfde enzym lignine niet afbreken.
- Vanwege de netwerkstructuur kan het enzym niet aan lignine binden en dus de reactie niet katalyseren.
- Vanwege de netwerkstructuur kan het enzym de juiste plekken in lignine niet bereiken om de hydrolyse-reactie te katalyseren.

#### 24 maximumscore 2

Extractie en zeven/filtreren / bezinken en afschenken.

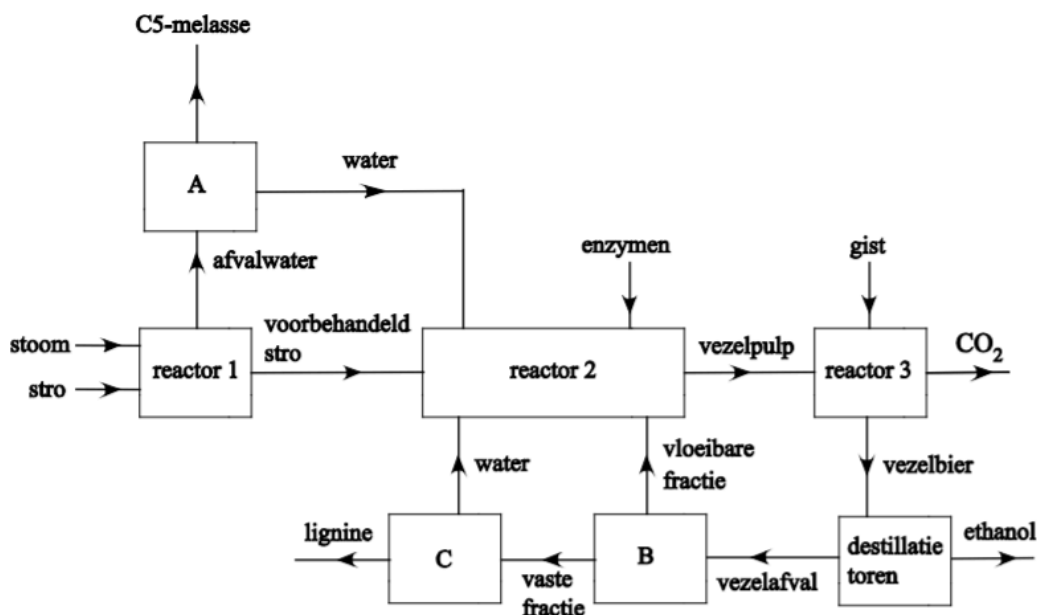
#### 25 maximumscore 3

Een voorbeeld van een juist antwoord is:

Bij de hydrolyse van cellulose ontstaat glucose. Glucose remt de enzymen en remt dus de afbraak van cellulose. In reactor 2 gaat de afbraak dus langzamer naarmate er meer glucose wordt gevormd. In reactor 3 zet gist glucose om tot ethanol, waardoor de concentratie glucose daalt en de enzymen minder / niet meer geremd worden. De enzymen kunnen cellulose dus sneller afbreken. Hierdoor wordt ethanol dus sneller gevormd.

**26 maximumscore 4**

Een juist antwoord kan er als volgt uitzien:



2014 II pilot

**20 maximumscore 2**

Een voorbeeld van een juist antwoord is:

(In de eerste kolom wordt de stof met het laagste kookpunt afgescheiden.)

In de tweede kolom wordt (dus) methanol afgescheiden. (Het kookpunt van methanol is 65 °C.) De minimale temperatuur is 65 °C.

**21 maximumscore 2**

Een voorbeeld van een juist antwoord is:

Doordat methylethanoaat uit het evenwicht verdwijnt, wordt het evenwicht aflopend naar rechts / verschuift de ligging van het evenwicht naar rechts.

**22 maximumscore 2**

Voorbeelden van juiste antwoorden zijn:

- Ethaanzuur is polair/hydrofiel. Water is ook polair/hydrofiel. Methylethanoaat is apolair/hydrofoob. (Daarom lost water beter op in ethaanzuur dan methylethanoaat.)
- Zowel ethaanzuur(moleculen) als water(moleculen) bezit(ten) OH groepen / kan (kunnen) waterstofbruggen vormen. Methylethanoaat(moleculen) bezit(ten) geen OH groepen / kan (kunnen) minder waterstofbruggen vormen. (Daarom lost water beter op in ethaanzuur dan methylethanoaat.)

**23 maximumscore 3**

- compartiment B: stoffen die van boven komen: ethaanzuur en methanol
- compartiment B: stoffen die van beneden komen: methanol, methylethanoaat en water
- compartiment C: stoffen die van boven komen: ethaanzuur, methanol en water
- compartiment C: stoffen die van beneden komen: methanol en water

**24 maximumscore 2**

Een voorbeeld van een juist antwoord is:

In compartiment B komen alle vier de stoffen voor. (Daar moeten dus water en methanol in ethaanzuur oplossen en moet methylethanoaat verdampen.)

In compartiment B worden dus de extractiepakking en de destillatiepakking toegepast.

**2015 II (pilot)**

**18 maximumscore 3**

Een juist antwoord kan als volgt geformuleerd zijn:

Door indampen (wordt het volume kleiner en) neemt  $[\text{Li}^+]$  toe.  $[\text{Na}^+]$  blijft gelijk doordat de oplossing al verzadigd was met natriumchloride. (Er zal

natriumchloride neerslaan. Dus de verhouding  $\frac{[\text{Li}^+]}{[\text{Na}^+]}$  neemt toe.)

**19 maximumscore 3**

Een juist antwoord kan als volgt geformuleerd zijn:

Een deel van de calciumionen blijft opgelost (wanneer te weinig lithiumcarbonaat wordt toegevoerd in R2) en slaat in R3 neer samen met lithiumcarbonaat. Lithiumcarbonaat is dan verontreinigd met meer calciumcarbonaat. Het rendement (van de productie van lithiumcarbonaat) verandert niet doordat de lithiumionen in R3 worden omgezet tot lithiumcarbonaat.

**22 maximumscore 3**

Een voorbeeld van een juist antwoord is:

De waterstofionen worden in R1 verwijderd door de reactie met  $\text{OH}^-$ , de aluminiumionen worden in F1 verwijderd als aluminiumhydroxide, en de sulfaationen worden verwijderd in het afval dat uit F3 komt want calciumsulfaat is matig oplosbaar.

**23 maximumscore 2**

Voorbeelden van juiste factoren zijn:

- er is geen zwavelzuur nodig
- bij de productie uit spodumeen moet worden verhit/verwarmd tot hoge temperatuur/1100 °C
- het materiaal van de fabrieksinstallaties (voor de productie uit spodumeen) moet bestand zijn tegen hoge temperatuur / zwavelzuur

per juiste factor

1

Voorbeelden van onjuiste factoren zijn:

- er is minder calciumhydroxide nodig
- het is goed/beter voor het milieu

**2016 voorbeeldexamen**

**12 maximumscore 2**

Een voorbeeld van een juist antwoord is:

Methode 1: hexaanzuur is na de extractie opgelost in het oplosmiddel. Dit kan gescheiden worden door destillatie, hetgeen (veel) energie kost.

Methode 2: bij de scheiding / het filtreren wordt geen/weinig energie verbruikt. Methode 2 verdient dus de voorkeur.

**13 maximumscore 2**

Een voorbeeld van een juist antwoord is:

Methode 1: Van het toegevoegde zoutzuur komt de  $\text{Cl}^-$  (en eventuele overmaat zoutzuur) (en de aanwezige  $\text{Na}^+$  uit het reactiemengsel) in de afvalstroom terecht.

Methode 2: (Natronloog, een overmaat calciumchloride-oplossing en zoutzuur worden toegevoegd.) Van de toegevoegde oplossingen komen  $\text{Na}^+$  ionen en de overmaat calciumchloride in de afvalstroom terecht.



**15 maximumscore 3**

Een voorbeeld van een juist antwoord is:

De vorming van het keton heeft een hoge activeringsenergie. Hierdoor verloopt de vorming van het keton pas bij hogere temperaturen.

(De vorming van de ester is een evenwicht. Bij hogere temperaturen ligt dit evenwicht rechts.) Doordat het keton (in een aflopende reactie) wordt gevormd uit één van de beginstoffen van het evenwicht, zal het evenwicht aflopen naar links / de kant van de beginstoffen. (Hierdoor zal na afloop van de reactie bij hogere temperaturen alleen het keton worden aangetroffen en geen ester.)

**2016 I****7 maximumscore 4**

Voorbeelden van een juist antwoord zijn:

–  $K = \frac{[H_2]^2 \times [O_2]}{[H_2O]^2}$ . Uit het diagram blijkt dat bij hogere temperatuur het evenwicht  $2 H_2O \rightleftharpoons 2 H_2 + O_2$  naar rechts verschuift. De waarde van  $K$  neemt dus toe naarmate de temperatuur stijgt.

–  $K = \frac{p_{H_2}^2 \times p_{O_2}}{p_{H_2O}^2}$ . Uit het diagram blijkt dat bij hogere temperatuur de  $p_{H_2}$  en de  $p_{O_2}$  stijgen (en de  $p_{H_2O}$  daalt). De waarde van  $K$  neemt dus toe naarmate de temperatuur stijgt.

**8 maximumscore 3**

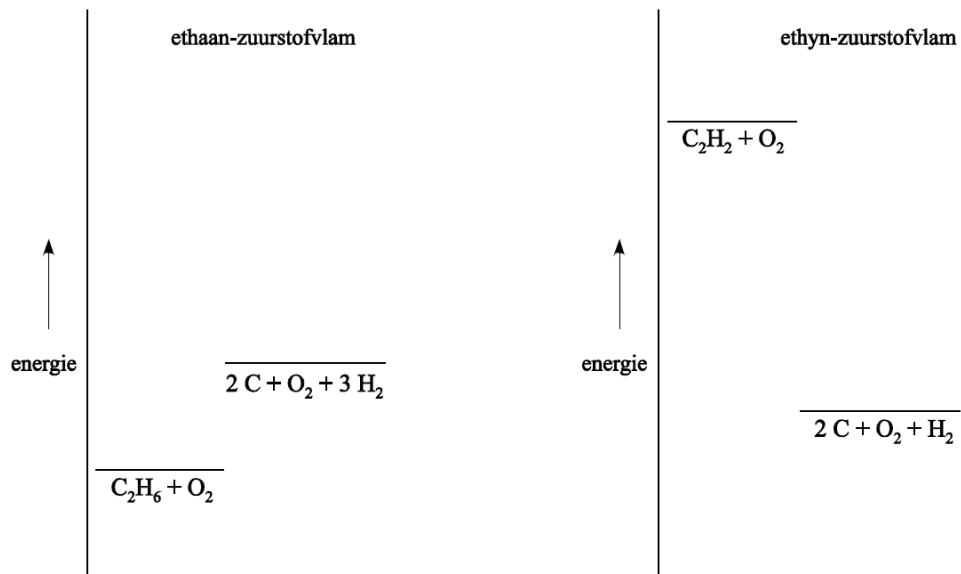
Een juiste berekening leidt tot de uitkomst  $-4,48 \cdot 10^5$  (J per mol ethyn).

$C_2H_2 + O_2 \rightarrow 2 CO + H_2$  / per mol ethyn ontstaat 2 mol CO.

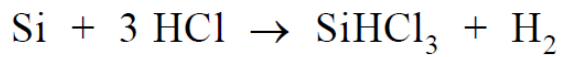
$\Delta E = -(+2,27 \cdot 10^5) + 2 \times (-1,105 \cdot 10^5) = -4,48 \cdot 10^5$  (J mol<sup>-1</sup>).

9 maximumscore 3

Een juist antwoord kan als volgt zijn weergegeven:

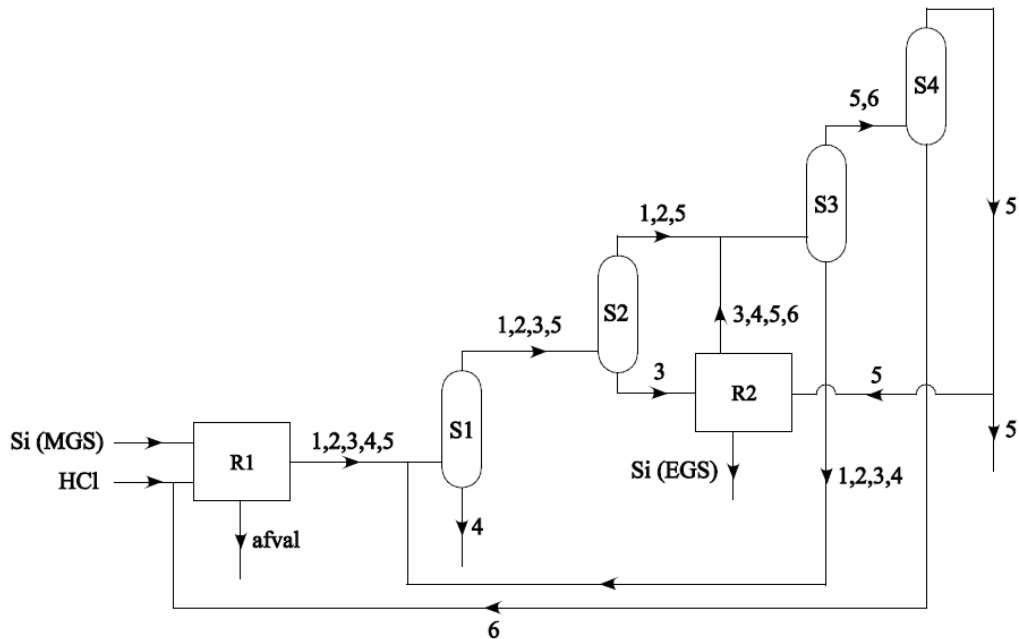


17 maximumscore 2



20 maximumscore 5

Een juist antwoord kan als volgt zijn weergegeven:



2016 II

**22 maximumscore 2**

Een voorbeeld van een juist antwoord is:

Na R2 is het volumepercentage van CO in het gasmengsel lager, dus het evenwicht is naar rechts verschoven. In R2 heerst een lagere temperatuur dan in R1, dus de reactie naar rechts is exotherm.

**23 maximumscore 1**

Een voorbeeld van een juist antwoord is:

Door de hoge(re) temperatuur in R1 wordt de reactiesnelheid groter / de insteltijd van het evenwicht korter / de omzettingssnelheid van CO groter.

**24 maximumscore 2**

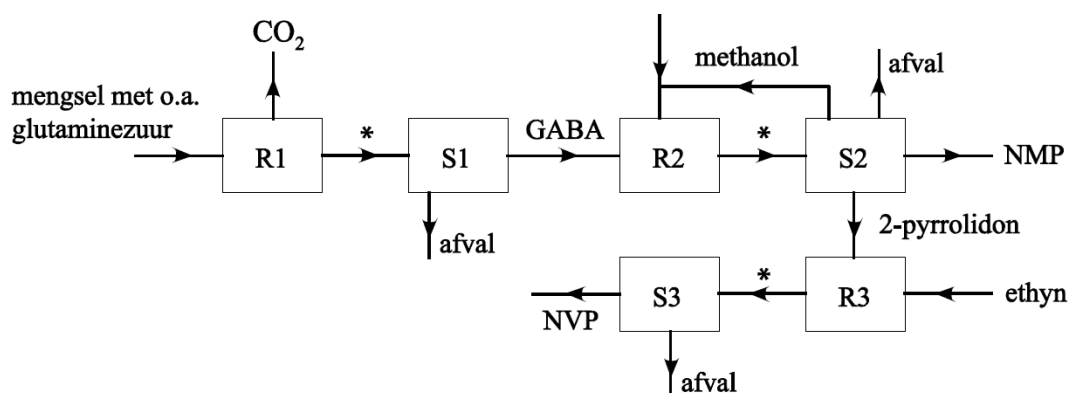
Voorbeelden van een juist antwoord zijn:

- Koolstofdioxide kan worden afgescheiden van de overige gassen door het gasmengsel af te koelen. Het zal bij een hogere temperatuur condenseren dan de overige gassen.
- In water opgelost koolstofdioxide gedraagt zich als een zwak zuur. Het CO<sub>2</sub> kan worden afgescheiden van de overige gassen door het gasmengsel door een basische oplossing te leiden. Het opgeloste CO<sub>2</sub> reageert met de oplossing, terwijl de overige gassen niet reageren en ook niet oplossen.

2017 I

**27 maximumscore 3**

Een juist antwoord kan als volgt zijn weergegeven:



**28 maximumscore 3**

Een voorbeeld van een juiste berekening is:

$$\frac{1538 \times 10^3}{147,13} \times \frac{100}{10^2} \times \frac{100}{10^2} \times \frac{50}{10^2} \times \frac{92}{10^2} \times 99,13 = 4,8 \cdot 10^5 \text{ g (NMP)}$$

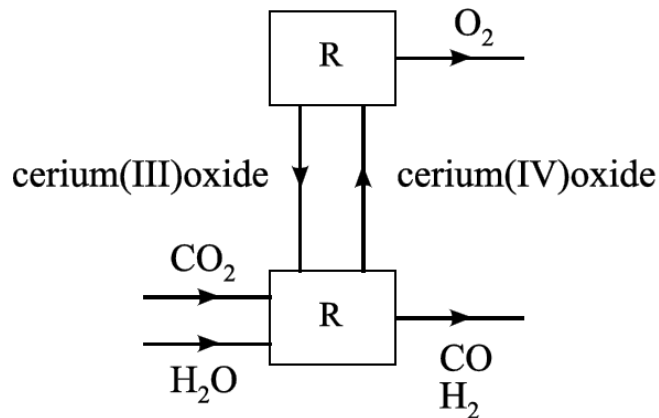
en

$$\frac{1538 \times 10^3}{147,13} \times \frac{100}{10^2} \times \frac{100}{10^2} \times \frac{100-50}{10^2} \times \frac{100}{10^2} \times \frac{90}{10^2} \times 111,14 = 5,2 \cdot 10^5 \text{ g (NVP)}$$

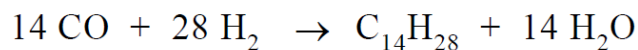
2017 II

**4 maximumscore 3**

Een juist antwoord kan als volgt zijn weergegeven:



**5 maximumscore 2**



2018 I

**2 maximumscore 3**

Een juist antwoord kan als volgt zijn weergegeven:

$$\text{Ethanol uit glucose: } \frac{2 \times 46,1}{180} \times 10^2 = 51,2(\%)$$

$$\text{HMF uit glucose: } \frac{126}{180} \times 10^2 = 70,0(\%)$$

2018 II

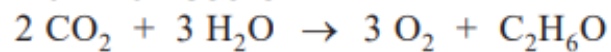
<https://havovwo.nl/vwo/vsk/bestanden/vsk18iiant4.pdf>

2019 I

<https://havovwo.nl/vwo/vsk/bestanden/vsk19iant1.pdf>

2019 II

**8 maximumscore 2**



**9 maximumscore 2**

Voorbeelden van een juiste berekening zijn:

$$(2 \times 3,94 + 3 \times 2,86 - 2,78) \cdot 10^5 = -13,68 \cdot 10^5 \text{ (J mol}^{-1}\text{)}$$

of

$$-E_{\text{begin}} + E_{\text{eind}} =$$

$$-\left[2 \times (-3,94 \cdot 10^5) + 3 \times (-2,86 \cdot 10^5)\right] + (-2,78 \cdot 10^5) = -13,68 \cdot 10^5 \text{ (J mol}^{-1}\text{)}$$

<https://havovwo.nl/vwo/vsk/bestanden/vsk19iiant3.pdf>