

**Nieuwe Scheikunde**

# GROENE CHEMIE

**MODULE 04**

**DOCENTENTEKST**



slo



=====

#### Colofon

Het auteursrecht van de module Groene Chemie berust bij de VNCI te Den Haag. De VNCI is derhalve de rechthebbende zoals bedoeld in de hieronder vermelde creative commons licentie.

De auteurs van de module Groene Chemie zijn: Kitty Jansen, Miek Scheffers en Arno Verhofstad.

Véronique van de Reijt was coach van het auteursteam.

#### Disclaimer

De VNCI en door VNCI ingehuurde auteurs hebben bij de ontwikkeling van het onderwijsmateriaal gebruik gemaakt van materiaal van derden. Bij het verkrijgen van toestemming, het achterhalen en voldoen van de rechten op teksten, illustraties, enz. is de grootst mogelijke zorgvuldigheid betracht. Mochten er desondanks personen of instanties zijn die rechten menen te kunnen doen gelden op tekstgedeeltes, illustraties, enz. van dit onderwijsmateriaal, dan worden zij verzocht zich in verbinding te stellen met VNCI.

Hoewel het onderwijsmateriaal met zorg is samengesteld, is het mogelijk dat het onjuistheden en/ of onvolledigheden bevat. De VNCI aanvaardt geen enkele aansprakelijkheid voor enige schade, voortkomend uit (het gebruik van) dit materiaal.

Creative Commons Naamsvermelding-Niet-Commercieel-Gelijk delen 3.0 Nederland licentie <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/nl/>

Aangepaste versies van de module Groene Chemie mogen alleen verspreid worden indien het in het colofon vermeld wordt dat het een aangepaste versie betreft, onder vermelding van de naam van de auteur van de wijzigingen.

© 2010 De Vereniging van de Nederlandse Chemische Industrie (VNCI), Den Haag.

Deze (boekvorm)versie van de module Groene Chemie is gemaakt in opdracht van SLO binnen het kader van het project Nieuwe Scheikunde – VNCI – C3 – SLO. Het betreft een aangepaste versie van de (web-based) module Groene Chemie die op de website [www.scheikundeinbedrijf.nl](http://www.scheikundeinbedrijf.nl) staat. De aanpassingen zijn echter geen inhoudelijke aanpassingen.

Eindredactie (boekvormversie): Jan de Gruijter en Frans Carelsen

Basisontwerp (boekvormversie): Twin Media bv, Culemborg

SLO, Enschede, November 2010

# INHOUD

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| MOGELIJKE LESVERDELINGEN     | 005 |
| OPMERKINGEN                  | 006 |
| UITWERKINGEN ALLE ANTWOORDEN | 007 |
| EXPERIMENTEN                 | 022 |
| LEGE BLOKSCHEMA'S CASUSSEN   | 024 |





# MOGELIJKE LESVERDELINGEN

## MOGELIJKHEDEN T.A.V. DE LESOPBOUW

### Variant 1

- Les 1:** Start met *Hoofdstuk Introductie + film TiO<sub>2</sub> en de groene/blauwe fles* als demo of als leerlingenexperiment (verschillende groepjes, doen verschillende bereidingswijzen).
- Les 2/3/4:** Introductie van *eindopdracht* (doel van de module formuleren)  
Verwerking *Hoofdstuk Hoe Groen is een proces?*
- Les 5/6:** Verwerking *Hoofdstuk Energiebalansen*
- Les 7/8:** Verwerking *Hoofdstuk Proceschemie*
- Les 9/10/11:** Casus Titaandioxide en/of Casus Adipinezuur (verschillende groepjes doen verschillende casussen) + voorbereiden presentatie
- Les 12:** Presentaties

### Variant 2

- Les 1:** Start met *Hoofdstuk Introductie + film TiO<sub>2</sub> en de groene/blauwe fles* als demo of als leerlingenexperiment (verschillende groepjes, doen verschillende bereidingswijzen).
- Les 2 t/m 8:** Introductie van *eindopdracht* (doel van de module formuleren)
- Roulatie van telkens 2 lessen met betrekking tot de volgende onderwerpen (Verschillende groepjes leerlingen starten bij verschillende onderwerpen):  
*Hoofdstuk Hoe groen is een proces?*  
*Hoofdstuk Energiebalansen*  
*Hoofdstuk Proceschemie*

**Les 9/10/11:** Casus Titaandioxide en/of Casus Adipinezuur (verschillende groepjes doen verschillende casussen) + voorbereiden presentatie

**Les 12:** Presentaties

Eventuele uitbreiding van de module met de kanjeronderwerpen.

### Variant 3

#### 12 lessen

Het is ook mogelijk om een van de casussen (bv. Adipinezuur) als voorbeeld te nemen en gedurende de module gezamenlijk met de leerlingen te behandelen (telkens na behandeling van een van de drie hoofdonderwerpen Hoe groen is chemie?, Energiebalansen en Proceschemie) en dan als afsluiting de leerlingen aan de slag laten gaan met de andere casus (Titaandioxide).

#### Opmerkingen

- 1 De module is te gebruiken in 5 havo en in 5 vwo. Voor 5 havo kan men de moeilijkere opgaven weglaten, voor 5 vwo de eenvoudiger opgaven. In de tabel staat een voorbeeld aangegeven. In de worddocumenten kunt u dit eenvoudig aanpassen. Denk wel aan de doornummering van de opgaven, ook bij de antwoorden.

|                          | Eventueel weglaten<br>5 Havo        | Eventueel weglaten<br>5 vwo |
|--------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| Introductie              | -                                   | -                           |
| Hoe groen is een proces? | 7 (aangepaste 7 staat in de DT), 13 | 1, 2b, 2c, 3a, 3b,          |
| Energiebalansen          | 11, 15, 17                          | 5, 6, 9                     |
| Proceschemie             | 10, 13                              | 6, 7, 12                    |

- 2 Bij de voorbeeldreacties in “Hoe groen is een reactie?” zijn de vergelijkingen ook in molecuulformules weergegeven. U kunt de vergelijkingen in structuurformules weglaten voor 5 havo.
- 3 In het stuk “energiebalansen” wordt ook gewerkt met  $Q = cm\Delta T$  en met vormingsenergieën, hoewel deze onderwerpen op dit moment niet tot het eindexamenprogramma behoren. Wij zijn van mening dat bij een context als “Groene Chemie” energiestromen en energieveranderingen een essentiële rol hebben.
- 4 Bij de casussen zijn de reactie-omstandigheden vereenvoudigd weergegeven, zodat het voor de leerlingen niet te gecompliceerd zou worden. Zo spreken we ook over  $H_2SO_4$  in reactievergelijkingen, omdat er ten eerste soms weinig water aanwezig is en ten tweede om de hydratatie-energie te vermijden.
- 5 Deze docentenhandleiding bevat gedeeltelijk ingevulde en lege blokschema's, die u eventueel kunt gebruiken voor de leerlingen.

# UITWERKINGEN OPGAVEN

Groene Chemie



## UITWERKINGEN VAN DE OPGAVEN BIJ DE INTRODUCTIE

### Opgave 1

| Proces                                     | Product                                      |
|--|--|
| Grondstofwinning                           | Aardolie<br>Kolen uit mijnen                 |
| Zware chemische industrie<br>(basischemie) | Benzine, etheen uit aardolie<br>Zwavelzuur   |
| Farmaceutische industrie                   | Aspirine, iboprufen, alle medicijnen         |
| Polymere materialen industrie              | PVC, polyetheen                              |
| Voedings- en genotsmiddelen industrie      | Sauzen, aardappelzetmeel, bier, wijn         |
| Verf- en coatingsindustrie                 | Verf, vernis                                 |
| Cosmetische industrie                      | Crèmes, lotions, shampoo's                   |
| Recycling                                  | Aluminium uit blikjes, wc-papier uit kranten |

### Opgave 2

- Principe 7: Het suikerriet groeit het volgende jaar weer aan.
- Principe 10.
- Principe 7, want het biomateriaal groeit weer aan en principe 3 omdat er netto minder CO<sub>2</sub> vrij komt.
- Principe 6.

### Opgave 3

- Het is beter om verontreiniging te voorkomen omdat verontreinigingen in het eindproduct moeten worden verwijderd. Dit houdt in dat er meer scheidingsmethoden moeten worden toepassen, maar ook dat er meer afval is.
- Een katalysator zorgt ervoor dat het proces bij een lagere temperatuur kan verlopen dan zonder katalysator. Een betere katalysator kan b.v. zorgen voor een hogere opbrengst of minder bijproducten.
- Wanneer de producten in een oplosmiddel zitten, moeten ze gescheiden worden van dit oplosmiddel, b.v. door een filtratie of een destillatie.

### Opgave 4

Eigen inzicht

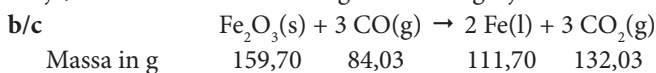
## UITWERKING OPGAVEN “HOE GROEN IS EEN PROCES?”

### Opgave 5

Een proces met atoomconomie 65% produceert minder afval dan een proces met atoomconomie van 30%. Het proces met atoomconomie 65% is dus groener op dit gebied.

### Opgave 6

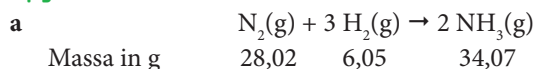
- ja, want de massa van de beginstoffen is gelijk aan de massa van de producten.





$$d \quad \text{atoomeconomie} = \frac{\text{massa product in reactievergelijking}}{\text{massa alle producten in reactievergelijking}} \times 100\%$$

$$\text{atoomeconomie} = \frac{2 \times 55,85}{159,7 + 84,03} \times 100\% = 46,13\%$$

**Opgave 7**

Massa in g            28,02      6,05            34,07

- b Dit kan met behulp van de wet van massabehoud:  $28,02 + 6,048 = 34,068 = 34,07$   
Of de massa van 2 mol  $\text{NH}_3$  weegt  $2 \times 17,034 = 34,068 = 34,07$

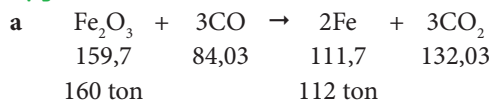
$$c \quad \text{atoomeconomie} = \frac{\text{massa product in reactievergelijking}}{\text{massa alle producten in reactievergelijking}} \times 100\%$$

$$\text{Atoomeconomie} = 34,07 / (28,02 + 6,05) \times 100\% = 100\%$$

Er is maar een gewenst product, dus is de atoomeconomie van zelf 100%.

$$d \quad \text{rendement} = \frac{\text{praktische opbrengst}}{\text{theoretisch opbrengst}} \times 100\%$$

$$\text{rendement} = \frac{28,00}{34,07} \times 100\% = 82,18\%$$

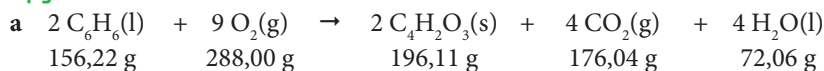
**Opgave 8**

159,7      84,03      111,7      132,03

160 ton                      112 ton

$$\text{theoretische opbrengst} = \frac{160 \times 111,7}{159,7} = 112 \text{ ton}$$

- b Uit 160 ton ijzererts ontstaat theoretisch  $\frac{60 \times 111,7}{159,7} = 112$  ton ijzer. Nu is de praktische opbrengst 90 ton, dus het rendement is  $\frac{90}{112} \times 100\% = 80\%$ .

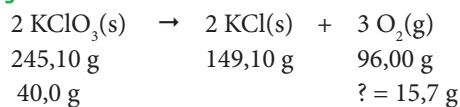
**Opgave 9**

156,22 g      288,00 g      196,11 g      176,04 g      72,06 g

$$\text{atoomeconomie} = \frac{\text{massa product in reactievergelijking}}{\text{massa alle producten in reactievergelijking}} \times 100\%$$

$$b \quad \text{atoomeconomie} = \frac{196,11}{156,22 + 288,00} \times 100\%$$

$$\text{theoretische opbrengst is ; het } \frac{100 \times 196,11}{156,22} = 125 \text{ kg} \quad \text{rendement is } \frac{100}{125} \times 100\% = 80,0\%$$

**Opgave 10**


a  $? = 40,0 \times 96,00 / 245,10 = 15,7 \text{ g}$

b 
$$E = \frac{\text{massa uitgangsstoffen} - \text{massa werkelijke opbrengst product}}{\text{massa werkelijke opbrengst product}}$$

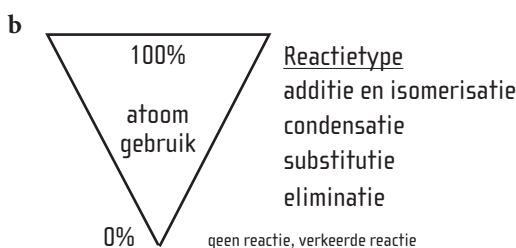
$$E = \frac{40,0 - 15,7}{15,7} = 1,55$$

c De werkelijke opbrengst aan  $\text{O}_2$  is  $0,67 \times 15,7 = 10,5 \text{ g}$ .

$$E = \frac{40,0 - 10,5}{10,5} = 2,81$$

**Opgave 11a**

| Reactietype  | Nr | Atoom-economie | E-factor |
|--------------|----|----------------|----------|
| Additie      | 4  | 100%           | 0        |
| Condensatie  | 5  | 85,00%         | 0,1764   |
| Eliminatie   | 2  | 16,99          | 4,884    |
| Isomerisatie | 3  | 100%           | 0        |
| Substitutie  | 1  | 35,41%         | 1,824    |


**Opgave 12**

- a De MAC-waarde is de maximaal aanvaardbare concentratie in  $\text{mgm}^{-3}$  lucht. Het is dus een maat voor de giftigheid van een stof.
- b De MAC-waarden kun je als maatstaf gebruiken om de Q-waarde af te leiden. Het is geen absolute overeenkomst, maar wanneer de MAC-waarde laag is, is het natuurlijk een erg giftige en dus vervuilende stof.
- c Koolstofdioxide heeft een MAC-waarde van  $9000 \text{ mgm}^{-3}$ . In het schema van de leerlingentekst staan de niet schadelijke stoffen op 1. De giftige stoffen op 100 ... 1000. Koolstofdioxide heeft dan een Q-waarde van ongeveer 10. Zwaveldioxide heeft een MAC-waarde van  $5 \text{ mg.m}^{-3}$ . Erg giftig dus. Dus een hoge Q-waarde: ongeveer 1000.
- d Hoe kleiner EQ, hoe minder bijproducten en des te onschadelijker deze bijproducten zijn. Een productieproces met een lage EQ is erg schoon en milieuvriendelijk.

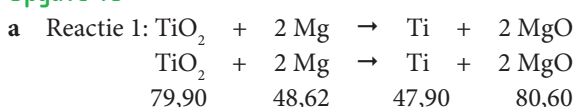
## Opgave 13

| Begrip                    | Omschrijving  |
|---------------------------|---|
| Atoomeconomie             | De (molecuul)massa van het product wordt gedeeld door de (molecuul)massa van alle producten. Dit quotiënt vermenigvuldigd met 100%, geeft de atoomeconomie.                             |
| E-factor                  | De (molecuul)massa van alle reactanten minus de (molecuul)massa van het gewenste product, gedeeld door de (molecuul)massa van het gewenste product, rekening houdend met het rendement. |
| Vervuilingcoëfficiënt $Q$ | Een arbitraire waarde van een stof, welke de vervuilingswaarde aangeeft. De MAC-waarde van een stof kan gebruikt worden om de $Q$ te duiden. (komt hiermee overeen.)                    |
| Praktische opbrengst      | De hoeveelheid stof die in de praktijk gevormd wordt.   |
| Theoretische opbrengst    | De hoeveelheid stof die theoretisch gevormd kan worden, gebruikmakend van een stoichiometrische reactievergelijking.  |
| Rendement                 | De praktische hoeveelheid product gedeeld door de theoretische hoeveelheid product, vermenigvuldigd met 100%.   |

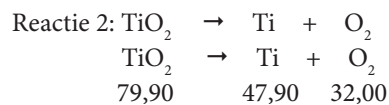
## Opgave 14

- Een reactie zonder oplosmiddel is groener dan een reactie met water als oplosmiddel en deze is weer groener dan een reactie met methyleenchloride als oplosmiddel. Methyleenchloride is een giftige stof. Wanneer er een oplosmiddel wordt gebruikt. Moet deze ook meestal verwijderd worden via een scheidingsmethode.
- Een reactie die bij 200 °C plaats vindt is veel minder groen (gebruikt veel meer energie) dan een reactie die bij kamertemperatuur plaatsvindt.
- Een reactie zonder droogmiddel is groener dan een reactie met droogmiddel, omdat een droogmiddel weer een extra scheidingsmethode meebrengt Het droogmiddel behoort dan ook tot een van de stoffen die nodig is om een goed product te produceren.
- Een zuivering d.m.v. kristallisatie is groener dan een m.b.v. destillatie. Met kristallisatie is de temperatuur van het mengsel minder hoog dan wanneer destillatie gebruikt wordt. Bij kristallisatie wordt minder energie verbruikt dan bij destillatie.
- Een synthese waarbij de reactanten uit biomassa afkomstig zijn is groener dan waarbij de reactanten uit aardolie afkomstig zijn., omdat bij grondstoffen uit biomassa er sprake is van duurzame grondstoffen.

## Opgave 15



$$\text{atoomeconomie} = \frac{47,90}{79,90 + 48,60} \times 100\% = 37,28\%$$

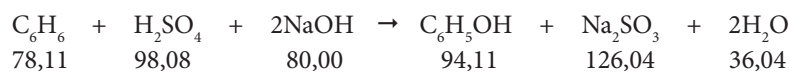


$$\text{atoomeconomie} = \frac{47,90}{79,90} \times 100\% = 59,95\%$$

- b** Uit de berekening van atoomeconomie is reactie 2 meer economisch, er zijn geen andere uitgangsstoffen nodig.
- c** Wanneer zuurstof wordt verkocht, worden alle producten gebruikt en is de atoomeconomie vervolgens 100%.

### Opgave 16

**a** Proces 1:



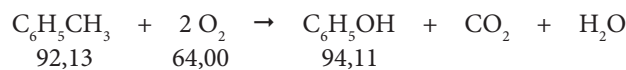
$$\text{atoomeconomie} = \frac{\text{massa product in reactievergelijking}}{\text{massa alle producten in reactievergelijking}} \times 100\%$$

$$\text{atoomeconomie} = \frac{94,11}{78,11 + 98,08 + 80,00} \times 100\%$$

$$E = \frac{\text{massa uitgangsstoffen} - \text{massa werkelijke opbrengst product}}{\text{massa werkelijke opbrengst product}} \times 100\%$$

$$E = \frac{78,11 + 98,08 + 80,00 - 94,11}{94,11} = 1,722$$

Proces 2:



$$\text{atoomeconomie} = \frac{94,11}{92,13 + 64,00} \times 100\% = 60,28\%$$

$$\text{E-factor} = \frac{92,13 + 64,00 - 94,11}{94,11} = 0,6591$$

b Proces 1:

| Stof       | Q (schatting) |
|------------|---------------|
| $C_6H_6$   | 1000          |
| $H_2SO_4$  | 500           |
| NaOH       | 500           |
| $C_6H_5OH$ | 50            |
| $Na_2SO_3$ | 0             |
| $H_2O$     | 0             |

Proces 2:

| Stof         | Q (schatting) |
|--------------|---------------|
| $C_6H_5CH_3$ | 400           |
| $O_2$        | 0             |
| $C_6H_5COOH$ | 1             |
| $C_6H_5OH$   | 50            |

Op grond van de schattingen voor Q lijkt proces 2 groener.

## UITWERKING OPGAVEN ENERGIEBALANSEN GROENE SCHEIKUNDE

### Opgave 17

- a smelten is een endotherm proces, omdat er bindingen verbroken moeten worden. Het verbreken van bindingen kost altijd energie.
- b Bij condenseren ontstaan er (vanderwaals)bindingen tussen de moleculen. Hierbij komt altijd energie vrij.

### Opgave 18

- a  $3,0 \text{ m}^3$  water heeft een massa van  $0,998 \cdot 10^3 \cdot 3,0 = 2,99 \cdot 10^3 \text{ kg}$ .  
Om  $3,0 \text{ m}^3$  te verhitten van 25 tot 95 °C kost  
 $Q = cm\Delta T = 4,18 \cdot 10^3 \cdot 2,99 \cdot 10^3 \cdot 70 = 8,75 \cdot 10^8 \text{ J}$ .
- b 100 kg stoom afkoelen van 200 °C tot 20 °C gaat in drie stappen:
- afkoelen van 200 °C tot stoom van 100 °C
  - condenseren van stoom naar vloeistof
  - afkoelen van water van 100 °C tot 20 °C
- Stap 1:  
 $Q = cm\Delta T = 2,0 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 100 = 2,0 \cdot 10^7 \text{ J}$
- Stap 2:  
 $Q = 2,26 \cdot 10^6 \cdot 100 = 2,26 \cdot 10^8 \text{ J}$
- Stap 3:  
 $Q = cm\Delta T = 4,18 \cdot 10^3 \cdot 100 \times 80 = 33,4 \cdot 10^6 \text{ J}$
- Samen:  $2,79 \cdot 10^8 \text{ J}$

### Opgave 19

- a  $2 \text{ C(s)} + 4 \text{ H}_2\text{(g)} + \text{O}_2\text{(g)} \rightarrow 2 \text{ CH}_4\text{O(l)}$
- b Binas tabel 57B:  $-2,40 \cdot 10^5 \text{ Jmol}^{-1}$

**Opgave 20**

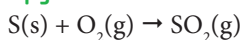
- a Nee, want AgBr ontstaat uit de ionen  $\text{Ag}^+$  en  $\text{Br}^-$  en niet uit de elementen Ag(s) en  $\text{Br}_2(\text{l})$ .  
 b Ja, de elementen zijn inderdaad Na(s) en  $\text{Cl}_2(\text{g})$   
 c Nee, dit gaat om een ontleding in de elementen. De reactiewarmte zal – vormingswarmte zijn vanwege de wet van behoud van energie.

**Opgave 21**

100 g  $\text{H}_2\text{O}_2$  komt overeen met  $100/34,01 = 2,94$  mol. De ontledingswamte is  $+1,88 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ . De reactiewarmte is dus  $2,94 \cdot 1,88 \cdot 10^5 \text{ J} = + 5,53 \cdot 10^5 \text{ J}$

**Opgave 22**

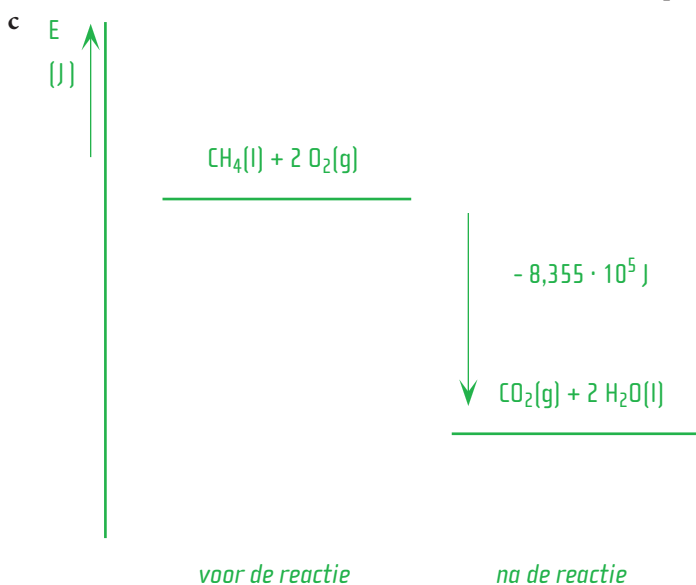
- a De vormingswarmte van calciumcarbonaat bedraagt volgens Binas tabel 57A  $-12,07 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ . De ontledingswarmte is dan  $+ 12,07 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ .  
 b  $2 \text{ CaCO}_3(\text{s}) \rightarrow 2 \text{ Ca}(\text{s}) + 2 \text{ C}(\text{s}) + 3 \text{ O}_2(\text{g})$

**Opgave 23**

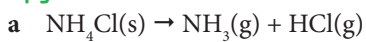
De reactievergelijking voor de vorming van  $\text{SO}_2$  is gelijk aan de vergelijking voor de verbranding van S(s).

**Opgave 24**

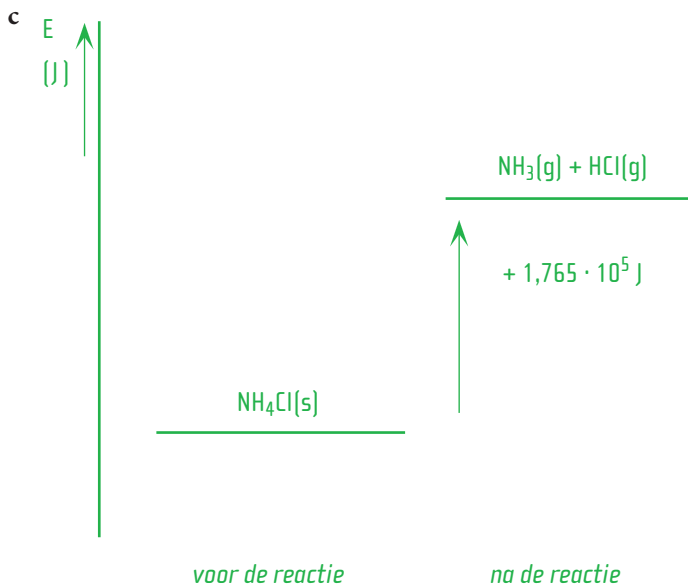
- a  $\text{CH}_4(\text{g}) + 2 \text{ O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2 \text{ H}_2\text{O}(\text{l})$   
 b  $\Delta E \text{ reactie} = (+ 0,76 - 3,935 - 2 \cdot 2,86) \cdot 10^5 = -8,355 \cdot 10^5 \text{ J}$  per mol methaan



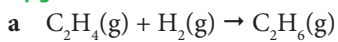
**Opgave 25**



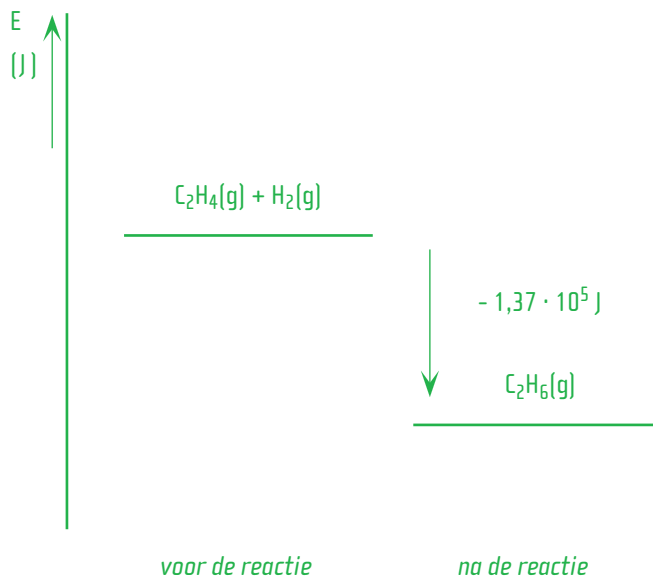
**b**  $\Delta E_{\text{reactie}} = (+ 3,15 - 0,462 - 0,923) \cdot 10^5 = +1,765 \cdot 10^5 \text{ J per mol ammoniumchloride.}$



**Opgave 26**



**b**  $\Delta E_{\text{reactie}} = (-0,51 - 0,86) \cdot 10^5 = - 1,37 \cdot 10^5 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \text{ ethaan.}$



**Opgave 27**

- a Binas tabel 9 levert als smeltpunt 1811 K.
- b Fase-overgang van vloeibaar ijzer naar vast ijzer bij 1811K:  
 $Q = mc = 7,5 \cdot 10^6 \times 0,276 \cdot 10^6 = 2,07 \cdot 10^{12} \text{ J/dag}$   
 Afkoelen vast ijzer van 1811 K naar 298 K:  
 $Q = mc \cdot \Delta T = 7,5 \cdot 10^6 \times 0,46 \times 10^3 \cdot 1513 = 5,2 \cdot 10^{12} \text{ J/dag}$   
 Totaal  $7,3 \cdot 10^{12} \text{ J/dag}$
- c Voor het verhitten van  $1,0 \text{ m}^3 (= 0,998 \cdot 103 \text{ kg})$  water van 290 tot 350 K is er nodig:  
 $Q = mc \cdot \Delta T = 4,18 \cdot 10^3 \cdot 0,998 \cdot 10^3 \cdot 60 = 2,50 \cdot 10^8 \text{ J}$ .  
 Er kan dus  $5,2 \cdot 10^{12} : 2,50 \cdot 10^8 = 2,1 \cdot 10^4 \text{ m}^3$  water mee verhit worden van 290 tot 350 K.

**Opgave 28**

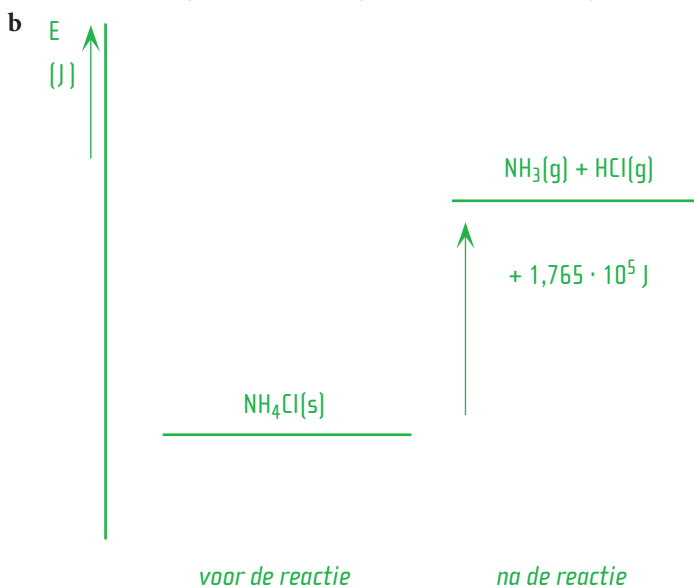
Stel de eindtemperatuur op  $T$ . Dan wordt het rookgas afgekoeld van 700 K tot  $T$  K. Het water wordt opgewarmd van 333 K tot 363 K.

$$Q = mc \cdot \Delta T; Q_{\text{afgestaan}} = Q_{\text{opgenomen}};$$

$$12 \times 1000 \times (700 - T) = 15 \times 4200 \times 30; T = 542,5 \text{ K}.$$

**Opgave 29**

a  $\Delta E \text{ reactie} = (8,22 - 3 \times 1,105) \cdot 10^5 = = 4,905 \cdot 10^5 \text{ J/2 mol Fe}$

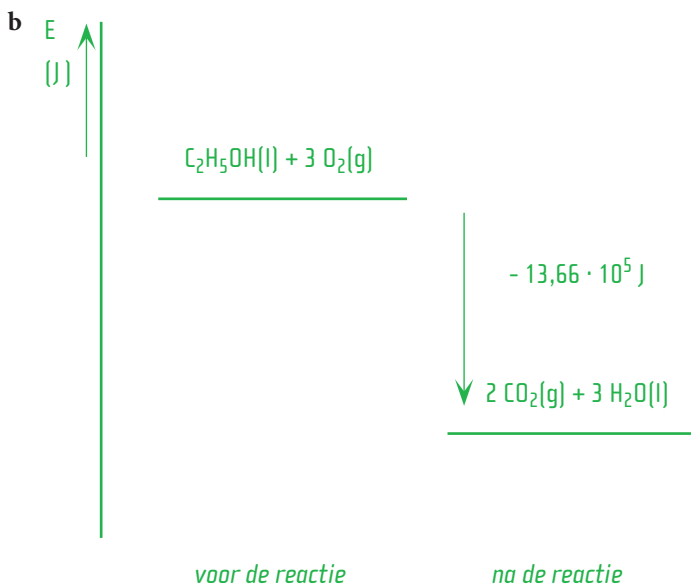


c  $7500 \text{ ton Fe} = 7,500 \cdot 10^9 / 55,85 = 1,342 \cdot 10^8 \text{ mol Fe} = 1,342 \cdot 10^8 \times 2,453 \cdot 10^5 = 3,29 \cdot 10^{13} \text{ J}$



**Opgave 30**

a  $\Delta E_{\text{reactie}} = (2,79 - 2 \times 3,935 - 3 \times 2,86) \cdot 10^5 = -13,66 \cdot 10^5 \text{ J/mol C}_2\text{H}_5\text{OH}$



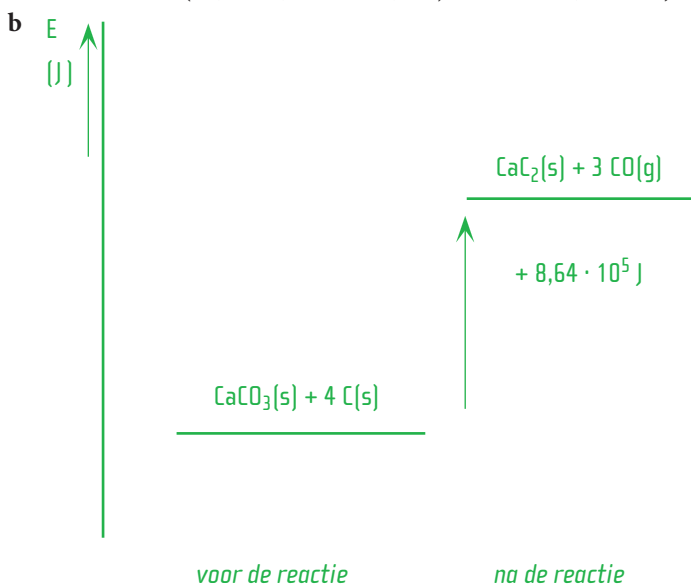
**Opgave 31**

a  $1000 \text{ ton ethanol} = 1,000 \cdot 10^9 \text{ g ethanol} = 1,000 \cdot 10^9 / 46,07 = 2,171 \cdot 10^7 \text{ mol ethanol} = 2,171 \cdot 10^7 \times -0,45 \cdot 10^5 = -0,9770 \cdot 10^{12} \text{ J}$

b  $0,9770 \cdot 10^{12} / (4,2 \times 80) = 2,9 \cdot 10^9 \text{ g} = 2,9 \text{ ton water}$

**Opgave 32**

a  $\Delta E_{\text{reactie}} = (12,07 - 0,12 - 3 \times 1,105) \times 10^5 = -8,64 \cdot 10^5 \text{ J/mol CaC}_2$



c Per mol  $\text{CaC}_2$  ontstaat 3 mol CO. De energie die bij verbranding hiervan vrijkomt is  $3 \times -2,83 \cdot 10^5 \text{ J} = -8,49 \cdot 10^5 \text{ J}$ . Dus nog nodig:  $8,64 \cdot 10^5 - 8,49 \cdot 10^5 = 0,15 \cdot 10^5 \text{ J}$  per mol  $\text{CaC}_2$ .

d Nog nodig  $0,15 \cdot 10^5 \text{ J}$  per mol  $\text{CaC}_2$ .  
 $0,15 \cdot 10^5 / 12,99 \cdot 10^5 = 0,0115 \text{ mol ethyn per mol CaC}_2$ .

**Opgave 33**

$$Q = mc\Delta T; Q_{\text{afgestaan}} = Q_{\text{opgenomen}}; 2 \times 1880 \times 50 = m_{\text{water}} \times 4200 \times 70; m_{\text{water}} = 0,64 \text{ kg/s}$$

**Opgave 34**

$$Q = mc\Delta T; Q_{\text{afgestaan}} = Q_{\text{opgenomen}};$$

$$20 \times c_{\text{olie}} \times 70 = 12 \times 2,2c_{\text{olie}} \times (T_{\text{eind}} - 10) + 0,04(20 \times c_{\text{olie}} \times 70)$$

$$T_{\text{eind}} = 61 \text{ } ^\circ\text{C}$$

**UITWERKINGEN VAN DE OPGAVEN BIJ BLOKSCHEMA'S****Opgave 35**

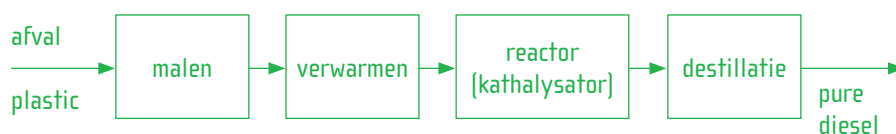
- a  $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}(\text{g})$
- b Alleen het probleem dat het etheen kan zijn verontreinigd met andere gassen vanuit het kraakproces. Het is ook niet nodig dat de katalysator wordt teruggewonnen, want deze zit op een vaste drager. Er ontstaan geen bijproducten en het ethanol reageert ook niet verder.

**Opgave 36**

| Scheidingsmethode | Berust op verschil in | Wordt gebruikt bij    |
|-------------------|-----------------------|-----------------------|
| Destilleren       | kookpunt              | oplossingen           |
| Filtreren         | deeltjesgrootte       | suspensies            |
| Centrifugeren     | dichtheid             | suspensies, emulsies  |
| Extraheren        | oplosbaarheid         | mengsel vaste stoffen |

**Opgave 37**

- a Hoeveelheid kunststof =  $5 \cdot 10^8 / 1,05 = 5 \cdot 10^8 \text{ dm}^3 = 5 \cdot 10^5 \text{ m}^3$
- b Hergebruik van het materiaal van de producten.
- c Ja. Door hergebruik van materiaal gebruik je geen nieuwe aardolie. Het proces maakt gebruik van een katalysator.
- d

**Opgave 38**

A filtratie; B extractie; C afval; D destillatie, E hexaan

**Opgave 39**

- 1  $\text{H}_2$
- 2  $\text{H}_2\text{O}$
- 3  $\text{H}_2\text{O}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$
- 4  $\text{O}_2$
- 5 X
- 6  $\text{H}_2\text{X}$
- 7  $\text{H}_2\text{O}$

**Opgave 40**

- a  $\text{CH}_3\text{OH}(\text{l}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow 3 \text{H}_2(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g})$   
 b Zuurstof kan ook met het waterstof reageren.  
 c  $2 \text{CO}(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow 2 \text{CO}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2(\text{g})$   
 d De scheiding van koolstofdioxide en waterstof moet nog gebeuren.  
 e Nee, aan een blokschema is niet te zien of het om een continu proces of een batchproces gaat.

**Opgave 41**

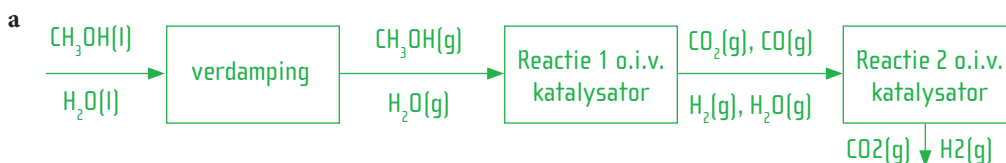
- a Een homogeen proces, omdat het alleen gasen gaat.  
 b Een continu proces kan goed. Omdat de katalysator vastzit op een drager, is er geen scheiding achteraf nodig voor de katalysator. Nog niet al het etheen zal gereageerd hebben, dus moet je wel het ethanol scheiden van het etheen en waterdamp om het etheen te kunnen recirculeren.

**Opgave 42**

Aangezien stoffen continu worden aangevoerd en afgevoerd, zal het bij een continu proces horen.

**Opgave 43**

- a Bij een trage reactie kan men beter een aantal reactoren in serie zetten, zodat de stoffen een langere tijd met elkaar kunnen reageren in achtereenvolgende reactoren. Parallele plaatsing heeft meer zin, wanneer je een grotere opbrengst wil hebben, omdat er nu eenmaal maar weinig kan reageren in een microreactor.  
 b De stoffen zijn over een groot wandoppervlak verdeeld, waardoor het contactoppervlak ook tussen de reagerende stoffen groot is. Dit heeft een hogere snelheid tot gevolg.  
 c De stoffen zijn in contact met een groot wandoppervlak, waardoor energie kan worden afgevoerd of toegevoerd. Deze energie-overdracht gaat daardoor sneller.

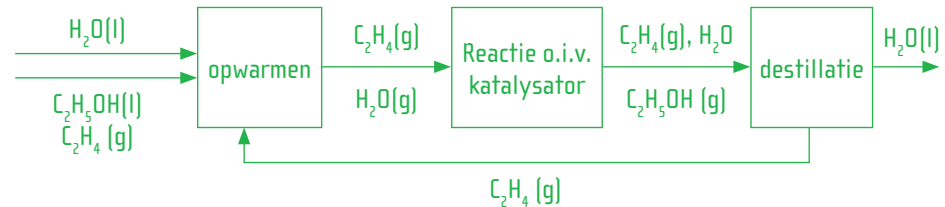
**Opgave 44**


- b Reactor 2  
 hoofdreactie  $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow 3 \text{H}_2(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g})$   
 nevenreactie  $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g}) \rightarrow 2 \text{H}_2(\text{g}) + \text{CO}(\text{g})$   
 Reactor 3  
 $\text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g})$
- c hogere snelheid  
 snellere energie-overdracht  
 veiliger door kleinere hoeveelheden

**Opgave 45**

a Etheen heeft een veel lager kookpunt dan ethanol en water, doordat deze beiden wel H-bruggen kunnen vormen en etheen niet. Destillatie is een geschikte methode.

b



**Opgave 46**

a De kookpunten van waterstof, etheen en ethaan zijn resp. 20 K, 169 K en 185 K. Er had dus een afkoeling plaats moeten vinden tot 169 K, zodat etheen en ethaan waren gecondenseerd.

b Het kost inderdaad energie om een gasmengsel af te koelen.

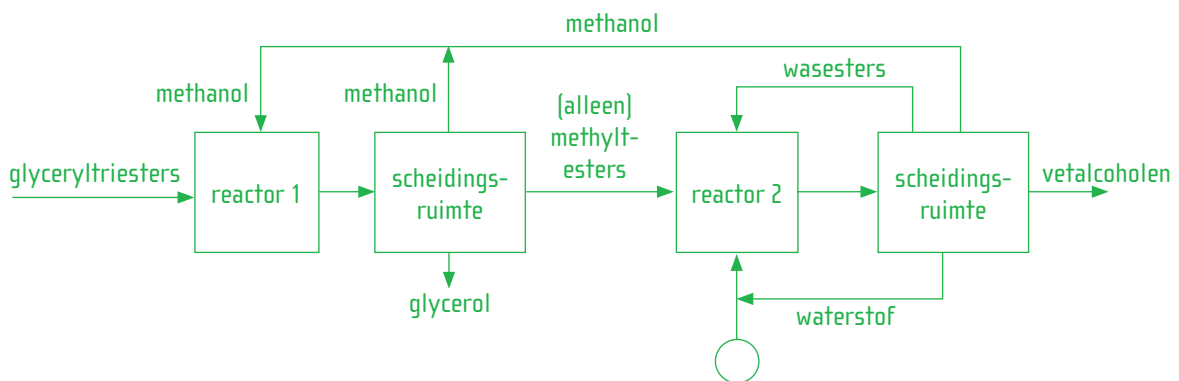
**Opgave 47**

a Er wordt 40 mol etheen omgezet per uur. Per circulatie wordt er 5% omgezet: 2 mol etheen dus én 2 mol water. Er zijn 20 circulaties nodig in één uur om 40 mol te kunnen bereiden. Dan wordt er  $20 \times 38 \text{ mol} = 760 \text{ mol}$  etheen via de recirculatielus teruggevoerd naar de reactor.

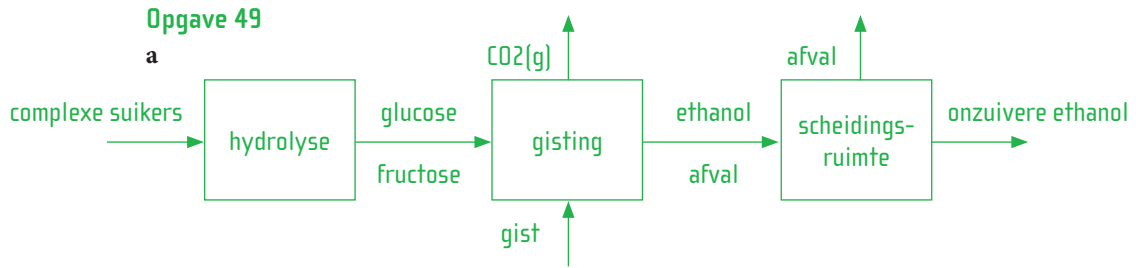
b Er is slechts 24 mol water aanwezig. Daarvan wordt bij iedere circulatie 2 mol omgezet. Met 20 circulaties geeft dat  $20 \times 22 = 440 \text{ mol}$  water die teruggevoerd wordt per uur naar de reactor.

c Er wordt 40 mol ethanol gevormd dus, uiteindelijk ook 40 mol etheen en 40 mol water omgezet. Dit moet dus worden toegevoegd.

**Opgave 48**



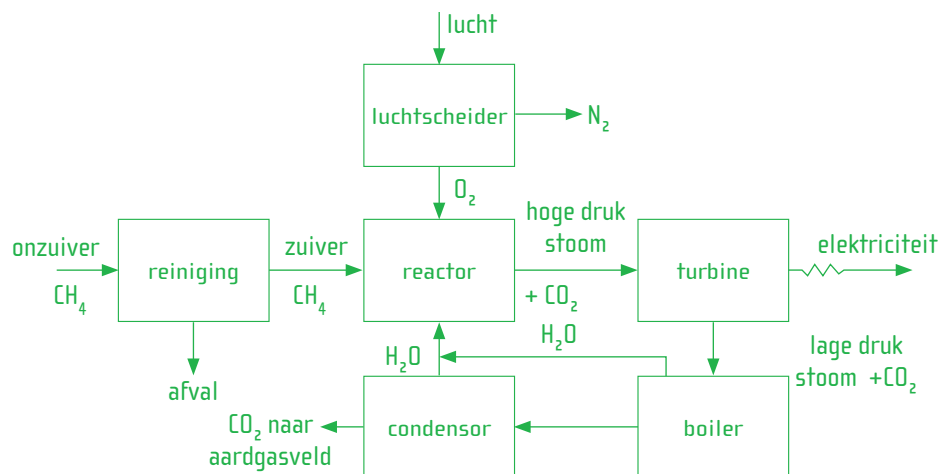
A



- b Zuiver chemisch bekeken is het continu proces efficiënter: het werkt sneller, je krijgt een zuiverder product. Het hangt af waarvoor je de alcohol produceert. Wanneer zuiver alcohol nodig is, lijkt het continu proces beter.
- c In groen opzicht bekeken heeft de gisting veel voordelen: de grondstof is hernieuwbaar, je hebt wel een katalysator nodig, maar ook gist is afbreekbaar en hernieuwbaar. Er zou alleen nog een groene manier gevonden moeten worden om zuiverder alcohol te krijgen, want voor vele processen is er zuiver alcohol nodig.

**Opgave 50**

- a Zero emission power plant
- b Iedere bron die koolstof, (zuurstof) en waterstof bevat.
- c De brandstof moet gasvormig en vrij van deeltjes zijn
- d Door omgekeerde destillatie: door de lucht dus af te koelen.
- e Het verdampen van het water kost energie. Deze energie wordt betrokken uit de warmte energie van de verbrandingsgassen.
- f Hete stoom is een gas, die kan dus bewegende delen in beweging brengen.
- g Via een generator
- h  $\text{CH}_4(\text{g}) + 2 \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$
- i Als je lucht gebruikt, krijg je ook stikstof, wat edelgassen en andere vervuilende stoffen mee.
- j 275 kiloton =  $275 \cdot 10^6$  kg koolstofdioxide.  
Dit is  $275 \cdot 10^6 : 44,01$  kmol  $\text{CO}_2$ .  
Er is dus evenveel kmol methaan verbrand (zie reactievergelijking).  
Dit komt overeen met  $275 \cdot 10^6 : 44,01 \times 16,042$  kg =  $100 \cdot 10^6 = 1,0 \cdot 10^8$  kg
- k



- l Er wordt weinig afval geproduceerd. Er wordt zoveel mogelijk hergebruikt. Er wordt zo weinig mogelijk energie verspild.
- m Koelwater hergebruiken; katalysator ontwikkelen zodat reactie bij lagere temperatuur kan verlopen.

## EXPERIMENTEN

## EXPERIMENT 1

## DE BLAUWE FLES

Je bent op zoek naar een leuke demonstratieproef om te doen op je basisschool. Je hebt de beschikking over twee voorschriften van “de blauwe fles”. De ene helft van de klas voert voorschrift 1 uit, de andere helft voorschrift 2.

## Voorschrift 1

## Benodigdheden

- 20,0 gram glucose
- 16,0 gram kaliumhydroxide
- 1,0 mg methyleenblauw
- 600 mL water.
- pH papier
- erlenmeyer 1 L met stop of een plastic frisdrankfles met schroefdop

## Uitvoering

- Breng in een erlenmeyer van 1 L 600 mL water.
  - Voeg de kaliumhydroxide toe.
  - Schud/roer zo lang totdat alle kaliumhydroxide is opgelost.
  - Meet de pH van de oplossing. Noteer de waarde.
  - Voeg de glucose toe. Zorg dat alles oplost.
  - Voeg de methyleenblauw toe en zorg dat het goed oplost.
  - Schud de inhoud nog een keer goed.
  - Noteer je waarneming.
  - Zet de fles weg en wacht.
  - Bij een duidelijke verandering mag je nog een keer goed schudden.
  - Zet de fles weer weg en wacht.
  - et cetera
- 
- meet na 30 minuten nogmaals de pH. Noteer deze waarde.

## Voorschrift 2

## Benodigdheden

- 2,40 g ascorbinezuur
  - 75 mg natriumwaterstofcarbonaat
  - 3,0 mg methyleenblauw
  - 1,00 g natriumchloride
  - 36 mg blauw kopersulfaat,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
  - 600 mL water
  - pH papier
  - erlenmeyer 1 L met stop of een plastic frisdrankfles met schroefdop
- 
- Breng in een erlenmeyer van 1 L 600 mL water.
  - Voeg de natriumwaterstofcarbonaat toe.
  - Schud/roer zo lang totdat alle natriumwaterstofcarbonaat is opgelost.
  - Meet de pH van de oplossing. Noteer de waarde.

- Voeg de ascorbinezuur toe. Zorg dat alles oplost.
  - Voeg de natriumchloride toe. Zorg dat alles oplost.
  - Voeg de methyleenblauw toe en zorg dat het goed oplost.
  - Voeg als laatste blauw kopersulfaat toe.
  - Schud de inhoud nog een keer goed.
  - Noteer je waarneming.
  - Zet de fles weg en wacht.
  - Bij een duidelijke verandering mag je nog een keer goed schudden.
  - Zet de fles weer weg en wacht.
  - et cetera
- 
- Meet na 30 minuten nogmaals de pH. Noteer deze waarde.

Tijdens het wachten krijg je uitleg over de twaalf principes van de groene chemie.

Besprek daarna welke proef je het beste kunt kiezen gebaseerd op de principes van de groene chemie.

## EXPERIMENT 2

### NEUTRALISATIEWARMTE

#### Benodigheden:

- 1 2 bekers van 100 mL
- 2 25,0 mL 2,0 M zwavelzuuroplossing
- 3 25,0 mL 4,0 M natronloog
- 4 een thermometer of een temperatuursensor gekoppeld aan Coach 6

#### Uitvoering:

- 1 Meet de temperatuur van de beide oplossingen.
- 2 Plaats de thermometer of sensor in een van de bekers.
- 3 Start de temperatuurmeting met Coach en giet de andere er (voorzichtig) bij.
- 4 Meet de hoogst bereikte temperatuur.

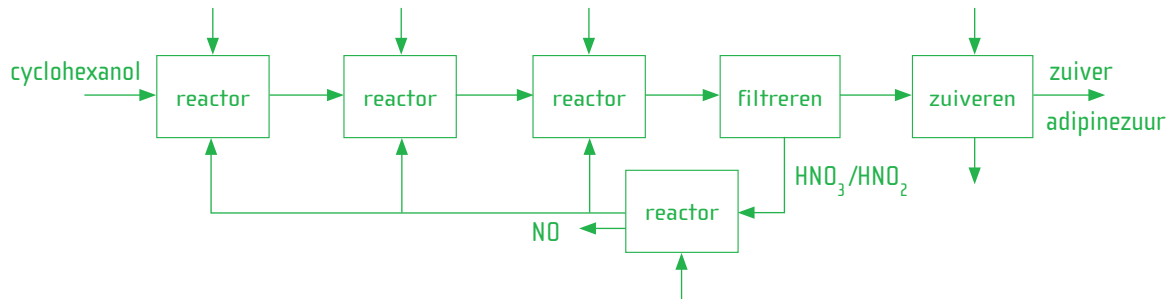
## EXPERIMENT 3

### OPLOSARMTE

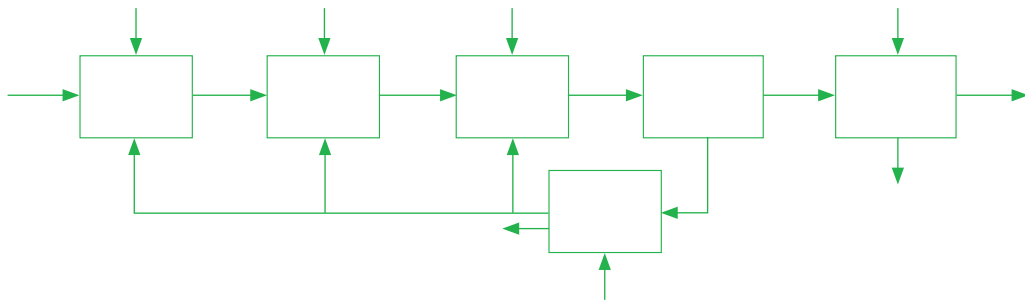
Ontwerp zelf een experiment waarbij je voldoende nauwkeurig de oplosarmte van ammoniumnitraat kunt bepalen.

**BLOKSCHEMA'S CASUSSEN**

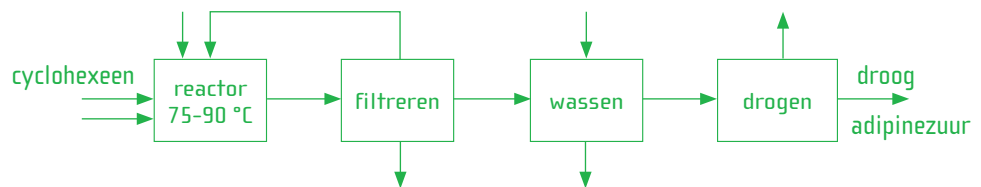
**Casus adipinezuur Salpeterzuurproces, gedeeltelijk leeg**



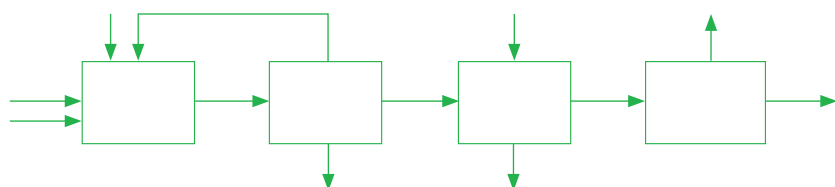
**Casus adipinezuur, Salpeterzuurproces, volledig leeg**



**Casus adipinezuur, Waterstofperoxideproces, gedeeltelijk leeg**

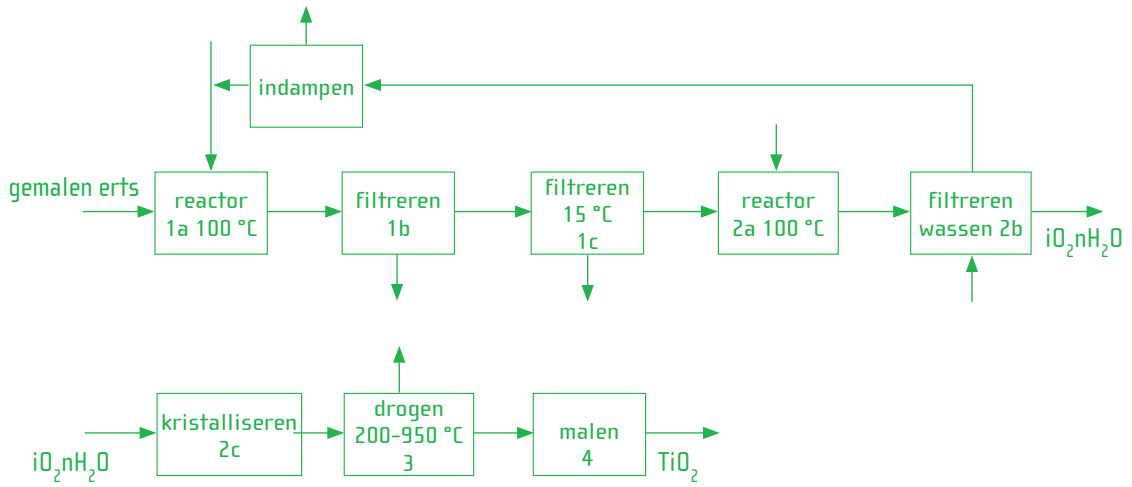


**Casus adipinezuur, waterstofperoxideproces, volledig leeg**

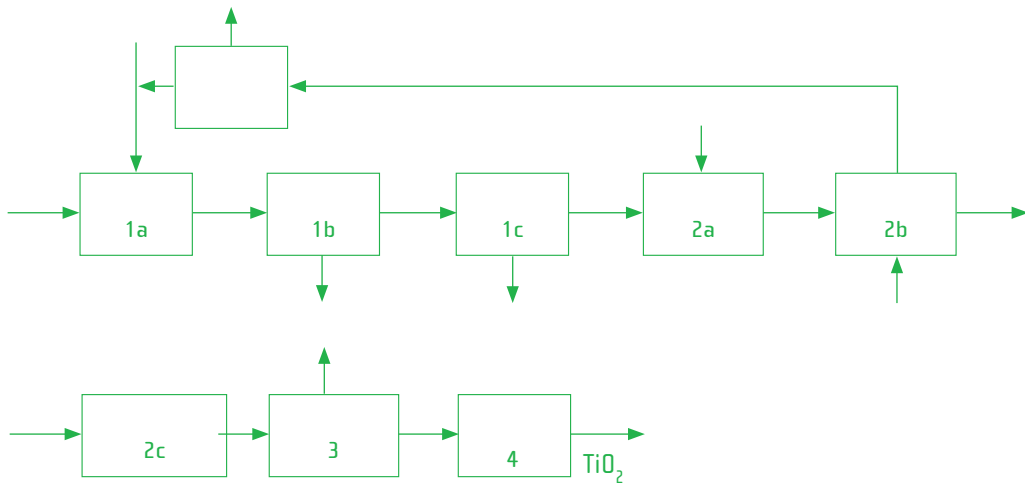




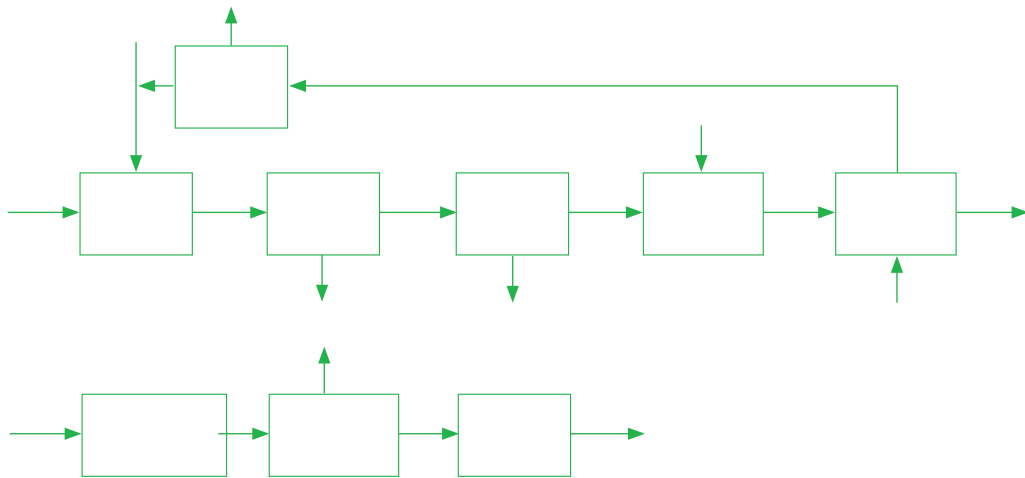
Casus Titaandioxide, Sulfaatproces, gedeeltelijk leeg



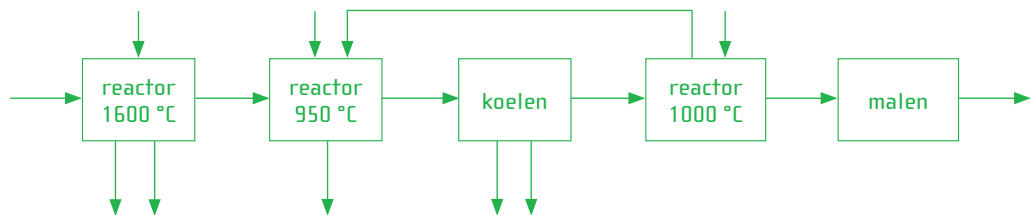
Casus Titaandioxide, Sulfaatproces, gedeeltelijk leeg 2



Casus Titaandioxide, Sulfaatproces, volledig leeg



Casus Titaandioxide, chlorideproces, gedeeltelijk leeg



Casus Titaandioxide, chlorideproces, geheel leeg

