

OPGAVE 1

Een bereidingswijze van fosfor, P_4 , kan men als volgt weergeven:



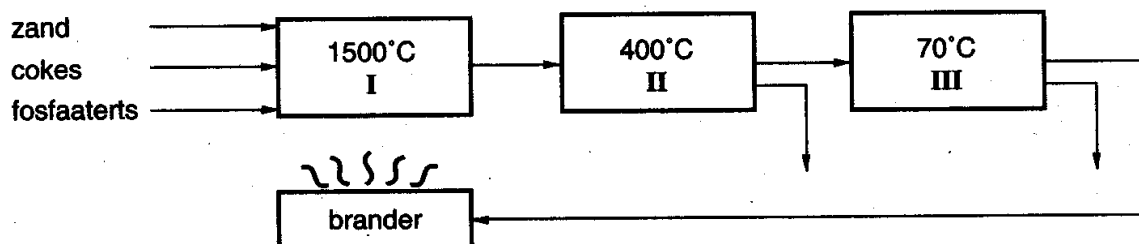
- 01 Neem bovenstaande reactievergelijking over en maak hem kloppend door de juiste coëfficiënten in te vullen.

Bij deze fosforbereiding gebruikt men als grondstoffen: zand, cokes en een fosfaaterts.

- 02 Geef voor achtereenvolgens $Ca_3(PO_4)_2$, SiO_2 en C aan in welke van de hierboven genoemde grondstof ze voorkomen.
- 03 Bereken de atomeconomie van deze reactie. Zie tabel 37H van BINAS.

De bereiding en zuivering van fosfor kan als volgt worden weergegeven:

Uit het reactiemengsel dat in ruimte I is ontstaan, wint men fosfor door gebruik te maken



van verschillen in smeltpunten en kookpunten. In de volgende tabel staan enkele smelt- en kookpunten in Kelvin ($0\text{ }^\circ\text{C} = 273\text{ K}$) vermeld:

	smeltpunt	kookpunt
$CaSiO_3$	1540 K	
P_4	317 K	554 K
CO	68 K	82 K

In de ruimtes II en III koelt men het reactiemengsel stapsgewijs af: eerst in II tot $400\text{ }^\circ\text{C}$ en daarna in III tot $70\text{ }^\circ\text{C}$.

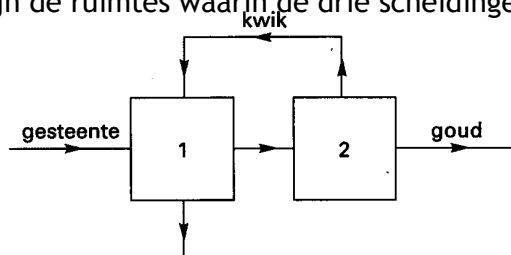
- 04 Leg uit dat op deze manier fosfor van de andere reactieproducten wordt gescheiden.

Het gas koolstofmonoxide heeft een eigenschap waardoor het niet in het milieu terecht mag komen. Dankzij een andere eigenschap van koolstofmonoxide kan het bij deze fosforbereiding weer nuttig gebruikt worden.

- 05 Geef deze beide eigenschappen.
- 06 Bereken de E-factor van dit proces. Zie tabel 37H van BINAS. Neem aan dat het rendement 100% is.

OPGAVE 2

Goud wordt gewonnen uit gesteenten waarin zich kleine korreltjes goud bevinden. Bij een oudere methode van goudwinning wordt vloeibaar kwik gebruikt. Het kwik wordt gemengd met gemalen goudbevattend gesteente, waarbij de goudkorreltjes oplossen in het kwik. Om na het toepassen van deze scheidingsmethode zuiver goud te verkrijgen, moeten achtereenvolgens nog twee scheidingsmethoden worden toegepast. In het onderstaande blokschema zijn de ruimtes waarin de drie scheidingen plaatsvinden aangeduid met 1 en 2.



- 07 Geef de namen van de drie scheidingsmethoden die bij 1 en 2 worden toegepast.
 Noteer je antwoord als volgt:
 bij 1: en
 bij 2:

Tegenwoordig mengt men meestal het goudbevattende gesteente met een oplossing die cyanide-ionen, CN^- , bevat. Door een redoxreactie ontstaan in het mengsel ionen met de formule $\text{Au}(\text{CN})_2^-$. Bij deze reactie is CN^- geen oxidator en geen reductor. Er is bij de reactie nog een andere stof nodig.

- 08 Is er, naast CN^- , een oxidator nodig of een reductor nodig om $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ uit goud te kunnen krijgen? Geef, mede aan de hand van de lading van de goudionen in $\text{Au}(\text{CN})_2^-$, een verklaring voor je antwoord.

De oplossing met ionen $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ wordt vervolgens gemengd met het metaal zink. Hierbij treedt een reactie op, waarbij het metaal goud en ionen met de formule $\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}$ ontstaan.

- 09 Geef de vergelijking van deze reactie.

Na verwijdering van het goud uit het ontstane mengsel wordt het cyanidehoudende water opgeslagen in grote kunstmatige meren waaruit het cyanide binnen enkele maanden als HCN verdampft.

In augustus 1995 brak in Guyana een dam van een dergelijk meer. Er stroomde 25 miljoen liter water, dat met cyanide vergiftigd was, in een grote rivier. Hierbij kwam ongeveer 1000 kg CN^- in het rivierwater terecht. Omdat deze rivier door de bevolking als drinkwaterbron werd gebruikt, ontstond een gevaarlijke situatie. Een dag na de ramp was de concentratie cyanide in de rivier door verdunning met het rivierwater 10 keer zo klein geworden als in het kunstmatige meer. Een concentratie vanaf $1,0 \cdot 10^{-4}$ mol CN^- per liter is dodelijk voor de mens.

- 10 Kon de bevolking, gezien de concentratie van het CN^- , een dag na de ramp weer veilig uit de rivier drinken? Geef, aan de hand van een berekening, een verklaring voor je antwoord.

OPGAVE 3

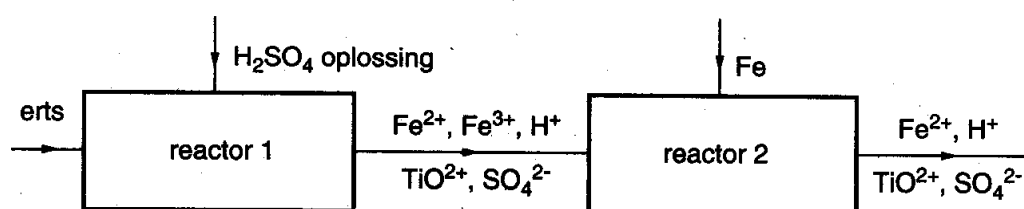
Van het element titaan, Ti, zijn meerdere zuurstofverbindingen bekend. De meest voorkomende is TiO_2 , die als witte kleurstof in verf wordt gebruikt.

- 11 Geef de naam van TiO_2 .

Een bepaald soort erts dat als grondstof wordt gebruikt voor de bereiding van TiO_2 bevat ionen Fe^{2+} , Fe^{3+} en TiO_3^{2-} . Dit erts heeft de verhoudingsformule $\text{Fe}_6(\text{TiO}_3)_7$.

- 12 Leid af in welke aantalsverhouding ($\text{Fe}^{2+} : \text{Fe}^{3+}$) deze ionen in dit erts voorkomen.

Van één van de industriële bereidingswijzen van TiO_2 zijn hieronder de eerste stappen in een blokschema weergegeven:

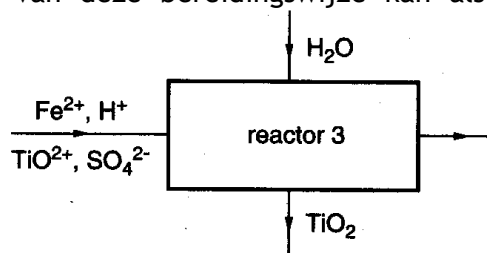


Bij deze industriële bereiding van TiO_2 wordt het erts eerst met een zwavelzuuroplossing behandeld. In reactor 1 ontstaat daardoor een oplossing met onder andere ionen Fe^{3+} . Omdat Fe^{3+} later in het proces aanleiding kan geven tot de vorming van stoffen die de kwaliteit van het eindproduct aantasten, moeten deze ionen worden omgezet in ionen

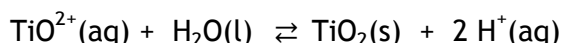
Fe^{2+} . Dat gebeurt in reactor 2. Daar wordt door toevoeging van ijzer (in de vorm van afvalblik) het Fe^{3+} omgezet in Fe^{2+} .

- 13 Geef de vergelijking van de reactie die bij deze omzetting optreedt.

De laatste stap van deze bereidingswijze kan als volgt met een blokschema worden weergegeven:



In oplossingen met ionen TiO^{2+} bestaat het volgende evenwicht:



Daardoor kan men TiO_2 laten neerslaan door water toe te voegen. In plaats daarvan zou men ook door toevoegen van natriumhydroxide het TiO_2 uit de oplossing kunnen verkrijgen.

- 14 Leg dit uit aan de hand van bovenstaande evenwichtsreactie.

De reden dat men geen natriumhydroxide gebruikt om het TiO_2 uit de oplossing te laten neerslaan is, dat daardoor een stof zou kunnen ontstaan die het gevormde TiO_2 zou verontreinigen.

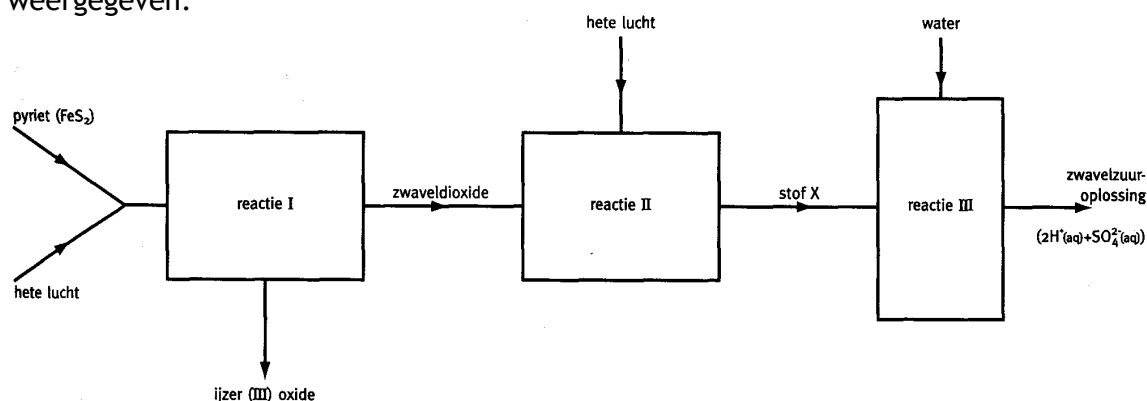
- 15 Geef de formule van die stof.

Nadat het TiO_2 is afgescheiden, blijft een oplossing over die door de fabriek in het oppervlaktewater geloosd wordt.

- 16 Geef de formules van de ionen die zich bevinden in de oplossing die de fabriek verlaat.

OPGAVE 4

Pyriet, FeS_2 , wordt gebruikt om zwavelzuur te maken. De bereiding verloopt in drie stappen. In onderstaand blokschema is de bereiding van zwavelzuur uit pyriet schematisch weergegeven.



Schema 2

- 17 Geef de vergelijking van de reactie die in stap 1 plaatsvindt.

Tijdens stap 2 ontstaat een stof, die in het blokschema als stof X is aangeduid.

- 18 Geef de formule van stof X.

- 19 Geef de vergelijking van de reactie in blok 3.

OPGAVE 5

Alcohol kan bereid worden door de additie van water aan etheen.

- 20 Geef hiervan de reactievergelijking in structuurformules.

Alcohol ontstaat ook bij de vergisting van een oplossing van glucose ($C_6H_{12}O_6$). Hierbij ontstaat een oplossing met een alcoholpercentage van 12%.

- 21 Geef de reactievergelijking voor de vergisting van glucose.
22 Bereken de *E*-factor van de vergisting van glucose. Zie tabel 37H van BINAS.

Als de additie van water aan etheen een rendement heeft van 100%, zal de *E*-factor voor deze reactie gelijk zijn aan 0. Er is dan geen afval.

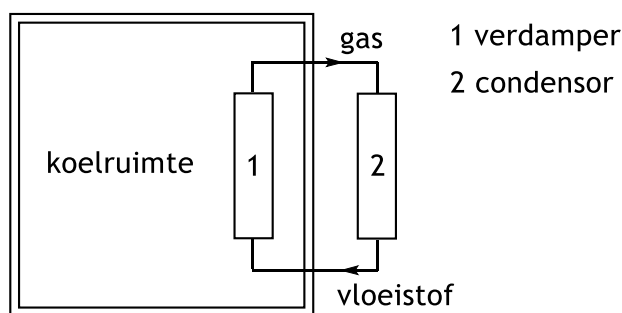
Om de keuze te maken voor een duurzaam proces speelt niet alleen de *E*-factor een rol.

- 23 Noem voor beide productiemethoden een aspect dat overwogen moeten worden om te kunnen bepalen welk proces het meest duurzaam is.

OPGAVE 6

In een koelinstallatie circuleert een koelmiddel in een gesloten kringloop zoals schematisch is weergegeven in onderstaande figuur.

In de verdamper verdampt het koelmiddel. Hierdoor daalt de temperatuur in de koelruimte.



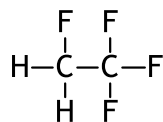
- 24 Leg uit dat door het verdampen van het koelmiddel de temperatuur in de koelruimte daalt.

Als koelmiddel werden in het verleden CFK's gebruikt. CFK's zijn verbindingen van chloor, fluor en koolstof. Tegenwoordig mogen CFK's niet meer worden gebruikt, omdat ze de ozonlaag aantasten. Ozon wordt daarbij omgezet in zuurstof.

- 25 Geef de reactievergelijking van de omzetting van ozon in zuurstof.

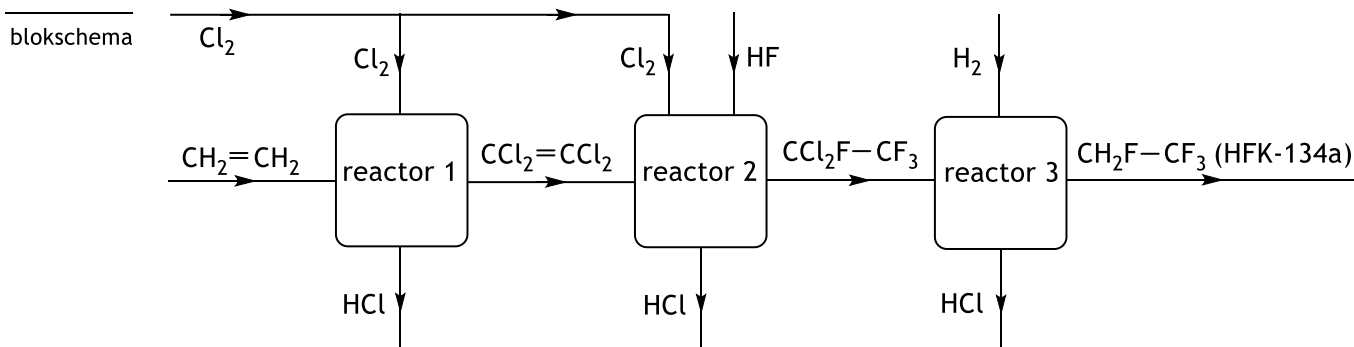
Tegenwoordig wordt in koelinstallaties vaak gebruik gemaakt van HFK's, die de ozonlaag niet aantasten. Dit zijn verbindingen van waterstof, fluor en koolstof. Een veel gebruikt koelmiddel is HFK-134a (CH_2F-CF_3).

Hiernaast staat de structuurformule:



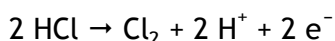
- 26 Geef de systematische naam van HFK-134a.

Bij de productie van HFK-134a is etheen een beginstof. De productie gebeurt in drie stappen die hieronder in een blokschema zijn weergegeven.



- 27 Is de reactie die plaatsvindt in reactor 1 een additiereactie? Geef een verklaring voor je antwoord.
- 28 Geef de vergelijking van de reactie die plaatsvindt in reactor 2. Gebruik hierbij de formules zoals ze in blokschema 2 zijn weergegeven.
- 29 Beredeneer aan de hand van het blokschema hoeveel mol HCl er in totaal ontstaat bij de productie van 1,0 mol HFK-134a uit etheen.

Er is een methode ontwikkeld voor de recycling van de grote hoeveelheid HCl die bij de productie van HFK-134a ontstaat. Bij deze methode wordt door middel van elektrolyse het gas HCl omgezet in H_2 en Cl_2 . Bij de elektrolyse wordt aan de ene elektrode het gas HCl omgezet in Cl_2 en H^+ . De vergelijking van deze halfreactie is:



Het H^+ dat ontstaat, gaat naar de andere elektrode en wordt omgezet in H_2 .

- 30 Vindt de omzetting van HCl in Cl_2 en H^+ plaats aan de positieve of aan de negatieve elektrode? Geef een verklaring voor je antwoord.

Bij de elektrolyse van HCl gas ontstaan dus Cl_2 gas en H_2 gas. Al het Cl_2 gas en een deel van het H_2 gas worden opnieuw gebruikt voor de productie van HFK-134a, de rest van het H_2 gas wordt afgevoerd.

Het blokschema van de productie van HFK-134a kan worden uitgebreid met de stofstromen die ontstaan doordat het proces wordt uitgebreid met de elektrolyse van het geproduceerde HCl gas.

- 31 Geef in het blokschema de ontbrekende stofstromen op de juiste wijze weer.

Om te bepalen of de productie van HFK-134a uit etheen een groen proces is, kan de atomeconomie en de E-factor berekend worden.

- 32 Geef in de productie van HFK-134a uit etheen in één reactievergelijking weer. Gebruik hierbij de formules zoals ze in blokschema 2 zijn weergegeven.
- 33 Bereken de atomeconomie van dit proces. Zie tabel 37H van BINAS.
- 34 Bereken de E-factor van dit proces. Ga uit van 100% rendement.
- 35 Noem twee uitgangspunten in de groene chemie die voor dit proces nog verbeterd zouden kunnen worden. Geef een toelichting bij je antwoord. Maak gebruik van tabel 97F van BINAS.

UITWERKINGEN

OPGAVE 1

02 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ komt voor in fosfaaterts.

SiO_2 komt voor in zand.

C komt voor in cokes.

03 Atoomeconomie = $\frac{\text{massa gewenst product}}{\text{totale massa beginstoffen}} \times 100\%$. Het gewenste product is het P_4 .

$$\text{Atoomeconomie} = \frac{4 \times 30,97}{2 \times 310,18 + 6 \times 60,09 + 10 \times 12,01} \times 100\% = 11,25\%.$$

04 In ruimte II wordt afgekoeld tot 400°C . Dit is 673 K . Hierbij stolt CaSiO_3 . P_4 en CO blijven gasvormig en worden naar ruimte III getransporteerd.

In ruimte III wordt afgekoeld tot 70°C . Dit is 343 K . Hierbij wordt P_4 vloeibaar en blijft CO gasvormig.

05 1. CO is giftig.

2. CO is brandbaar en kan daarom als brandstof gebruikt worden.

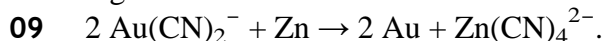
06 $E\text{-factor} = \frac{m_{\text{beginstoffen}} - m_{\text{werkelijke opbrengst product}}}{m_{\text{werkelijke opbrengst product}}} = \frac{1101 - 123,9}{123,9} = 7,9.$

OPGAVE 2

07 bij 1: extractie en filtratie (ook goed: bezinken en afschenken)

bij 2: destillatie

08 Twee ionen CN^- zorgen voor een negatieve lading van $2-$. Omdat $\text{Au}(\text{CN})_2$ een lading heeft van $1-$, moet Au een lading hebben van $1+$. Dit is ontstaan uit Au, dus Au heeft elektronen afgestaan en is reductor. Dan is er een oxidator nodig.



10 Eén mol CN^- weegt $26,02$ gram.

$$1000 \text{ kg CN}^- \triangleq \frac{1000}{26,02} = 38,43 \text{ kmol CN}^- = 38,43 \cdot 10^3 \text{ mol CN}^-.$$

$$\frac{38,43 \cdot 10^3 \text{ mol}}{25 \cdot 10^6 \text{ L}} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ mol CN}^- \text{ per liter.}$$

Nu verdunning met factor 10 wordt dat $1,5 \cdot 10^{-4}$ mol per liter. Dit is hoger dan de dodelijke concentratie van $1,0 \cdot 10^{-4} \text{ M}$, dus is het niet veilig om het water te drinken.

OPGAVE 3

11 Titaan(IV)oxide.

12 Totale negatieve lading in $\text{Fe}_6(\text{TiO}_3)_7$: $7 \times 2- = 14-$. De 6 ijzerionen moeten dus zorgen voor een positieve lading van $2+$. Dan kan met de volgende verhouding: 4Fe^{2+} en 2Fe^{3+} .



14 De OH^- -ionen in natronloog reageren met de H^+ -ionen (tot H_2O). Hierdoor wordt het evenwicht aflopend naar rechts waarbij TiO_2 gevormd wordt.

15 De ionen OH^- kunnen reageren met ijzer(II)-ionen.

Er ontstaat dan $\text{Fe}(\text{OH})_2(\text{s})$ als verontreiniging.

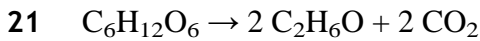
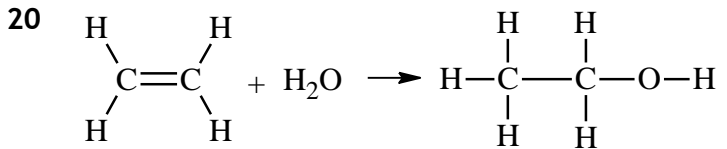
16 Fe^{2+} , H^+ , SO_4^{2-} , TiO^{2+} .

Alle ionen die reactie 3 in gaan komen er ook weer uit. Doordat de vorming van TiO_2 een evenwichtsreactie is, zal er ook nog TiO^{2+} aanwezig zijn.

OPGAVE 4

- 17 $4 \text{FeS}_2 + 11 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{Fe}_2\text{O}_3 + 8 \text{SO}_2$.
18 SO_3 (ontstaan uit de reactie $2 \text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{SO}_3$)
19 $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$.

OPGAVE 5



22 Massa gewenst product = $\frac{12}{100} \times 46,069 = 5,528 \text{ g}$

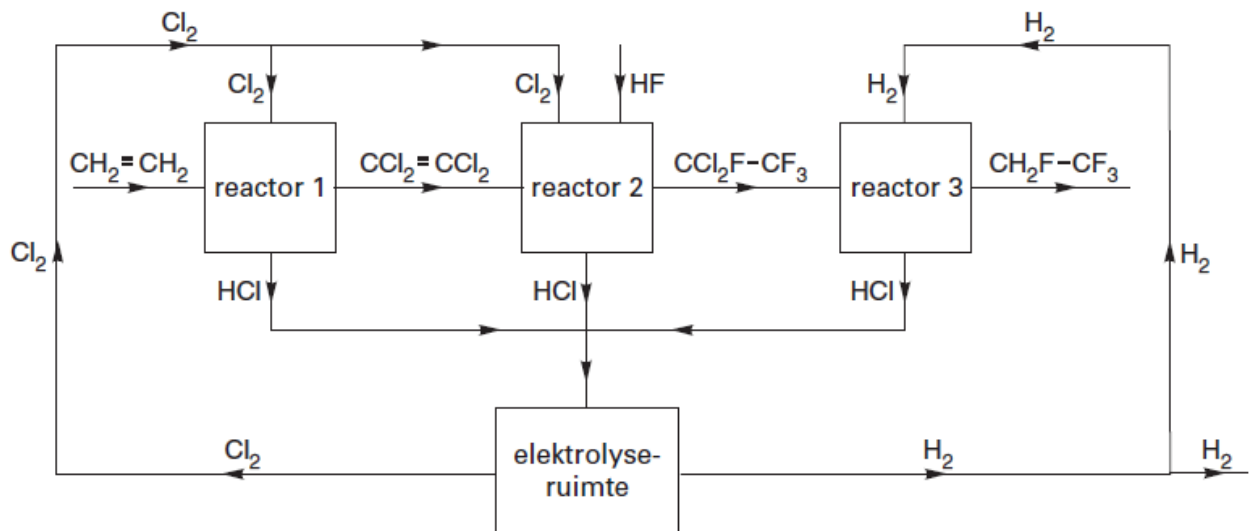
$$E\text{-factor} = \frac{180,16 - 5,528}{5,528} = 31,6$$

- 23 Additie van water aan etheen: Er is etheen nodig dat vooral afkomstig is uit aardolie (bij het kraken ontstaat etheen).
Bij de vergisting van glucose wordt een duurzame grondstof gebruikt. Maar na afloop is er energie nodig om alcohol van water te scheiden (destillatie).

OPGAVE 6

- 24 Om het koelmiddel te laten verdampen is energie / warmte nodig.
Deze energie wordt onttrokken aan de koelruimte (waardoor de temperatuur daalt)
25 $2 \text{O}_3 \rightarrow 3 \text{O}_2$.
26 1,1,1,2-tetrafluorethaan.
27 Er ontstaat niet één stof / de dubbele binding blijft behouden.
Dus geen additie.
28 $\text{CCl}_2=\text{CCl}_2 + \text{Cl}_2 + 4 \text{HF} \rightarrow \text{CCl}_2\text{F}-\text{CF}_3 + 4 \text{HCl}$
29 Bij stap 1 komt 4,0 mol HCl vrij en bij stap 2 komt 4,0 mol HCl vrij.
Bij stap 3 komt 2,0 mol HCl vrij. Totaal: 10 mol HCl.
30 Het gaat om elektrolyse, dus een gedwongen reactie.
In de halfreactie reageert een reductor.
Deze wordt gedwongen e^- af te staan bij de positieve elektrode.

31





33 $M(\text{CH}_2\text{F}-\text{CF}_3) = 102,036 \text{ u}$

$$\text{Atoomeconomie} = \frac{102,036}{102,036 + 3 \times 2,016} \times 100\% = 94,40\%$$

34 Bij 100% rendement kun je de E-factor vaak simpeler als volgt berekenen:

$$E\text{-factor} = \frac{m_{\text{afval}}}{m_{\text{product}}}$$

Omdat waterstof het enige afvalproduct is, geldt: $E\text{-factor} = \frac{3 \times 2,016}{102,036} = 0,05927$.

35 Nummer 6: energie-efficiënt ontwerpen.

Er wordt elektrolyse gebruikt en dat kost veel elektrische energie.

Nummer 8: reacties in weinig stappen.

Er zijn nu vier stappen (inclusief elektrolyse). Het kan (misschien) in minder stappen.

Opmerking:

Soms zijn meer stappen te verkiezen. Bijvoorbeeld als bij een proces met minder stappen een reactie niet verloopt of een (veel) lager rendement oplevert.