



Module 2

Redox  
Industriële chemie

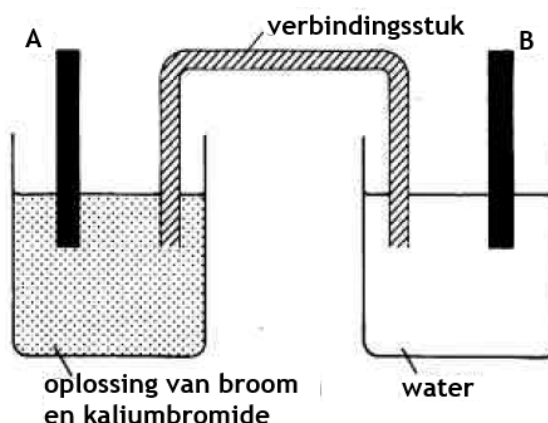
OPGAVEN

## Elektrochemische cel

Het linker bekglas van de hiernaast getekende opstelling is gevuld met een oplossing van broom en kaliumbromide, het rechter bekglas met water. Het verbindingsstuk is gevuld met een elektrolyt en zo gemaakt dat er geen vloeistof van het ene bekglas naar het andere kan stromen.

In ieder bekglas bevindt zich een koolstofstaaf, aangeduid met A en B.

Een leerling moet met deze opstelling een elektrische cel maken door in het water een stof op te lossen. Hij heeft de keuze uit de stoffen kaliumchloride en kaliumjodide.



- 2p 1. Leg uit welke van deze stoffen de leerling in het water moet oplossen.

Hij verbindt vervolgens de beide koolstofstaven van deze elektrische cel door een geleidende draad.

- 2p 2. Leg uit of de elektronen door deze draad van A naar B stromen of omgekeerd.

Na enige tijd is de elektrische cel uitgeput. De vloeistof in het linker bekglas is echter nog duidelijk bruin gekleurd.

- 2p 3. Geef de verklaring voor het uitgeput zijn van deze cel.

Het is mogelijk de cel weer op te laden door de beide koolstofstaven aan te sluiten op de polen van een spanningsbron.

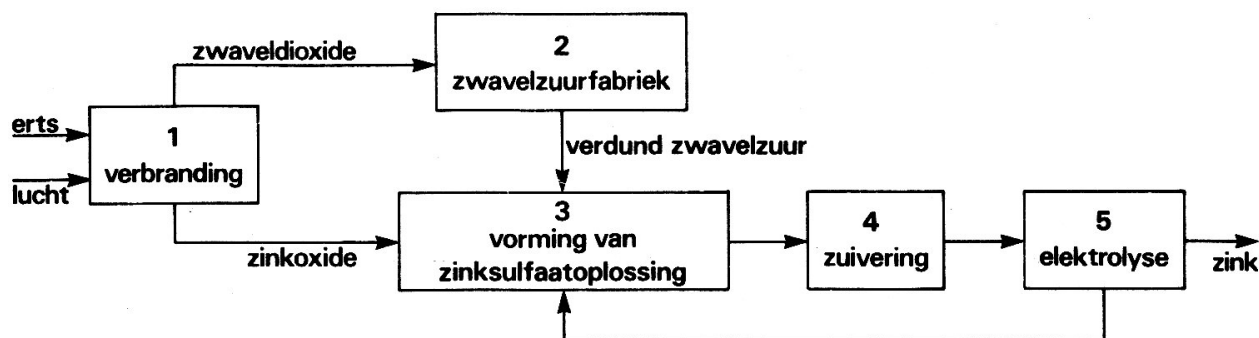
- 2p 4. Leg uit welke koolstofstaaf, A of B, op de positieve pool van de spanningsbron moet worden aangesloten.

## Zink

Het metaal zink kan worden bereid door elektrolyse van een zinksulfaatoplossing.

- 2p 5. Leg uit aan welke elektrode, de positieve of de negatieve, zink wordt gevormd.

De elektrolyse van de zinksulfaatoplossing is de laatste stap in een productieproces van zink. Het proces is hieronder schematisch weergegeven. In het schema zijn de bewerkingen sterk vereenvoudigd beschreven en zijn niet alle stoffen aangegeven.



Een erts dat voornamelijk uit zinksulfide,  $\text{ZnS}$ , bestaat wordt in 1 verhit in aanwezigheid van lucht. Hierbij verbrandt zinksulfide waarbij zwaveldioxide,  $\text{SO}_2$ , en zinkoxide,  $\text{ZnO}$ , ontstaan.

2p **6.** Geef de vergelijking van de verbranding van zinksulfide.

Beide reactieproducten, zwaveldioxide en zinkoxide, worden gebruikt voor de bereiding van de zinksulfaatoplossing. Het zwaveldioxide wordt naar de zwavel-zuurfabriek (2) geleid.

Het proces in de zwavelzuurfabriek verloopt in twee stappen:

1. het zwaveldioxide wordt omgezet in een andere stof
2. deze andere stof wordt omgezet in zwavelzuur

2p **7.** Geef de formule van deze andere stof.

In 3 wordt uit zinkoxide en verdund zwavelzuur een zinksulfaatoplossing gemaakt.

2p **8.** Geef de vergelijking van deze reactie.

Deze oplossing is echter onder andere verontreinigd met ionen van het metaal X en met ionen van het metaal Y.

In 4 worden de ionen van de metalen X en Y uit de oplossing verwijderd en X en Y van elkaar gescheiden.

Deze zuivering verloopt als volgt:

- Aan de oplossing wordt zinkpoeder toegevoegd. Hierdoor ontstaat een neerslag van de metalen X en Y.
- Het mengsel van de metalen X en Y wordt afgezonderd en met verdund zwavelzuur behandeld. Omdat het metaal X reageert en het metaal Y niet, blijft het metaal Y als vaste stof achter.

Bij deze zuivering maakt men gebruik van het verschil in sterkte van de drie reductoren X, Y en Zn.

2p **9.** Leg aan de hand van de beschrijving van deze zuivering uit welk metaal (X, Y of Zn) de sterkste, en welk metaal de zwakste reductor is.

De gezuiverde zinksulfaatoplossing wordt vervolgens in 5 geëlektrolyseerd met behulp van onaanastbare elektroden. Daarna wordt de oplossing uit 5 teruggevoerd naar 3.

- 2p **10.** Geef de vergelijkingen van de halfreacties die bij de elektrolyse plaatsvinden.

Noteer je antwoord als volgt:

Negatieve elektrode: .....

Positieve elektrode: .....

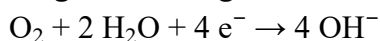
Bij dit productieproces wordt in 5 theoretisch per mol zink evenveel (opgelost) zwavelzuur gevormd als er nodig is voor het oplossen van een mol zinkoxide in 3. Dit is af te leiden uit de vergelijking van de reactie in 3 en de vergelijkingen van de beide elektrode reacties in 5.

- 2p **11.** Geef deze afleiding.

### Brandstofcel

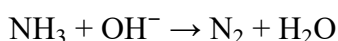
---

In een brandstofcel laat men ammoniakgas ( $\text{NH}_3$ ) reageren met zuurstofgas. Zuurstof reageert als volgt aan één van de elektroden:



- 2p **12.** Leg uit of deze halfreactie plaatsvindt aan de positieve of aan de negatieve elektrode van de brandstofcel.

De halfreactie van ammoniak aan de andere elektrode is hieronder onvolledig weergegeven: de coëfficiënten en de elektronen ontbreken.



- 3p **13.** Neem deze onvolledige halfreactie over en vul de ontbrekende gegevens in.

Stoffen die reageren in een brandstofcel, zouden ook direct verbrand kunnen worden. Bij de verbranding van ammoniak ontstaan dan niet alleen  $\text{N}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$ ; onder bepaalde omstandigheden kunnen dan ook stikstofdioxiden gevormd worden. Stikstofdioxiden hebben een negatief effect op het milieu.

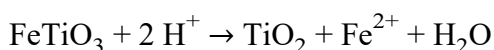
- 3p **14.** Geef de reactievergelijking voor de verbranding van ammoniak, waarbij uitsluitend stikstofmono-oxide en water gevormd worden.

- 1p **15.** Geef een negatief effect van stikstofdioxiden op het milieu.

## Titaanwit

De kleurstof die tegenwoordig in witte verf het meest wordt toegepast, is  $\text{TiO}_2$ , een witte vaste stof. De grondstof voor de industriële bereiding van  $\text{TiO}_2$  is  $\text{FeTiO}_3$  (ilmeniet). Voor de productie van  $\text{TiO}_2$  uit ilmeniet zijn twee processen bekend: het sulfaatproces en het chlorideproces.

Bij het sulfaatproces laat men ilmeniet reageren met zwavelzuur. De netto reactie kan worden weergegeven met de volgende vergelijking:

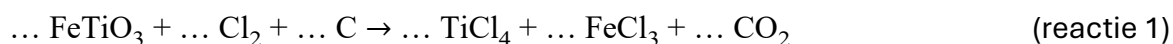


- 2p **16.** Bereken de atomeconomie van het sulfaatproces. Gebruik hierbij formules van stoffen en niet van ionen.

Een nadeel van het sulfaatproces is dat een grote hoeveelheid afvalzuur ontstaat. Er wordt namelijk een overmaat zwavelzuur wordt gebruikt. Per ton  $\text{FeTiO}_3$  wordt  $6,8 \cdot 10^3$  mol zwavelzuur toegevoegd ( $1,0 \text{ ton} = 1,0 \cdot 10^3 \text{ kg}$ ).

- 3p **17.** Bereken hoeveel mol zwavelzuur overblijft per ton omgezet  $\text{FeTiO}_3$ .

Omdat bij het sulfaatproces zoveel afval ontstaat, heeft men het chlorideproces ontwikkeld. Het chlorideproces bestaat uit twee stappen. In de eerste stap laat men ilmeniet reageren met chloorgas en koolstof. De vergelijking van de reactie bij deze eerste stap is hieronder onvolledig weergegeven. Alleen de coëfficiënten ontbreken.



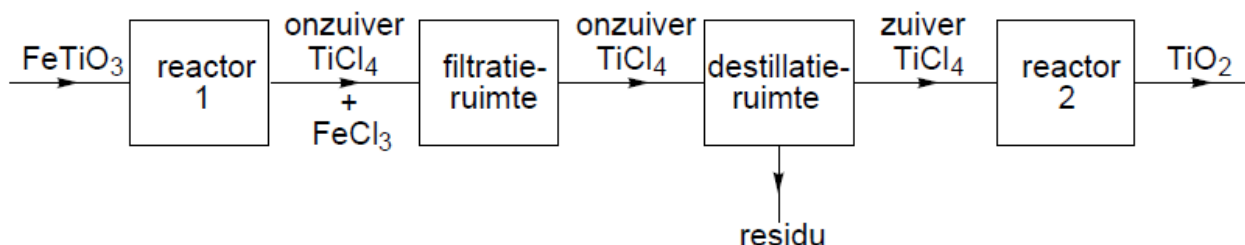
Bij deze reactie ontstaat een suspensie van vast  $\text{FeCl}_3$  en vloeibaar  $\text{TiCl}_4$ . Het  $\text{FeCl}_3$  wordt door filtratie uit deze suspensie verwijderd. Het filtraat, dat voornamelijk uit  $\text{TiCl}_4$  bestaat, wordt door destillatie gezuiverd. Vervolgens laat men het zuivere  $\text{TiCl}_4$  in de tweede stap van het chlorideproces reageren met zuurstof:



Het chloorgas dat bij reactie 2 vrijkomt, wordt opnieuw gebruikt in reactie 1. Bij reactie 2 komt minder chloorgas vrij dan bij reactie 1 nodig is. Daarom moet bij het chlorideproces voortdurend vanuit een opslagtank chloorgas worden toegevoerd.

- 2p **18.** Neem de vergelijking van reactie 1 over en vul de juiste coëfficiënten in.
- 2p **19.** Leg uit hoeveel mol chloorgas per mol  $\text{TiO}_2$  vanuit een opslagtank moet worden toegevoerd. Neem hierbij aan dat het residu van de destillatie geen chloorverbindingen bevat en dat al het chloor dat bij reactie 2 vrijkomt in reactie 1 wordt hergebruikt.

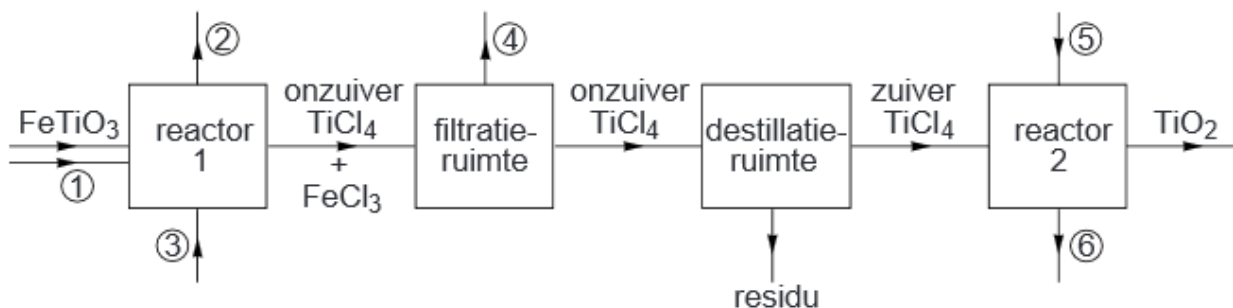
Het chlorideproces kan in een blokschema worden weergegeven. Hieronder is een onvolledig blokschema getekend. In reactor 1 vindt reactie 1 plaats en in reactor 2 vindt reactie 2 plaats. Alle stofstromen waarin titaanverbindingen voorkomen, zijn weergegeven met pijlen. Een aantal pijlen van andere stofstromen en een aantal formules van stoffen zijn weggelaten.



Op de uitwerkbijlage (zie onder) is het blokschema uitgebreider, maar nog niet volledig weer gegeven. Er zijn meer stofstromen getekend en deze zijn genummerd. De terugvoer van chloor ontbreekt nog.

- 2p **20.** Welke formules moeten bij de stofstromen 1 tot en met 6 staan?  
 Noteer de nummers van de stofstromen en schrijf achter elk nummer de bijbehorende formule.
- 2p **21.** Maak het blokschema op de uitwerkbijlage compleet door de terugvoer van chloor te tekenen.

#### UITWERKBIJLAGE bij onderdeel 20 en 21





Module 2

Redox

Industriële chemie

UITWERKINGEN

## Elektrochemische cel

- 01** Het gaat erom of ionen  $\text{Cl}^-$  of ionen  $\text{I}^-$  geschikt zijn. Het zijn beide reductoren. Er moet een spontane reactie plaatsvinden. Dan moet in tabel 48 de oxidator links boven de reductor staan. Van de aanwezige deeltjes in het linker bekeerglas is broom ( $\text{Br}_2$ ) de sterkste oxidator. Deze staat in tabel 48 linksboven  $\text{I}^-$ . Er moet dus KI worden toegevoegd aan het rechter bekeerglas.  
Halfreactie in linker bekeerglas:  $\text{Br}_2 + 2 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{Br}^-$   
Halfreactie in rechter bekeerglas:  $2 \text{I}^- \rightarrow \text{I}_2 + 2 \text{e}^-$
- 02** Bij een spontane reactie gaan de elektronen van reductor naar oxidator. De reductor is  $\text{I}^-$  en dat zit in het rechter bekeerglas.  
De elektronen stromen van B naar A.
- 03** Een elektrische cel is uitgeput als één van de reactanten op is. Kennelijk er is nog genoeg van de oxidator  $\text{Br}_2$ , want de vloeistof in het linker bekeerglas is nog bruin gekleurd. De  $\text{I}^-$  in het rechter bekeerglas is echter opgereageerd.
- 04** Bij elektrolyse is alles omgekeerd:  
Halfreactie in linker bekeerglas:  $2 \text{Br}^- \rightarrow \text{Br}_2 + 2 \text{e}^-$   
Halfreactie in rechter bekeerglas:  $\text{I}_2 + 2 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{I}^-$

Aan de positieve elektrode moet de reductor *gedwongen* zijn elektronen afstaan. Dat gebeurt in het linker bekeerglas, dus elektrode A moet met de positieve pool van de spanningsbron verbonden worden.

## Zink

- 05** Zink ontstaat uit zinkionen volgens:  $\text{Zn}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Zn}$ .  
Het is een elektrolyse, dus wordt  $\text{Zn}^{2+}$  gedwongen om elektronen op te nemen.  
Dat gebeurt bij de negatieve elektrode.
- 06**  $2 \text{ZnS} + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{ZnO} + 2 \text{SO}_2$
- 07** De andere stof is  $\text{SO}_3$ .  
 $\text{SO}_3$  wordt namelijk gevormd uit  $\text{SO}_2$  volgens:  $2 \text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{SO}_3$   
Zwavelzuur =  $\text{H}_2\text{SO}_4$  en wordt gevormd door reactie van  $\text{SO}_3$  met  $\text{H}_2\text{O}$ :  
 $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$
- 08** Zwavelzuur is een sterk zuur en noteer je als  $\text{H}^+$ .  
Zinkoxide is een slecht oplosbaar zout (zie tabel 45A) en noteer je als  $\text{ZnO}$ .  
Hierin is  $\text{O}^{2-}$  de base en dat is een sterke base. Het kan 2  $\text{H}^+$  opnemen:  
 $\text{ZnO} + 2 \text{H}^+ \rightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$

- 09** Het metaal dat het gemakkelijkst overgaat in metaalionen, is de sterkste reductor.  
Zn reageert met ionen van X en Y, dus Zn is sterkste reductor.  
Y reageert niet met zuur, dus Y is de zwakste reductor.
- 10** Negatieve elektrode:  $\text{Zn}^{2+} + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{Zn}$   
Positieve elektrode:  $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^-$   
Bedenk dat sulfaationen niet reageren. Volgens een verwijzing in tabel 48 gebeurt dat alleen in warm geconcentreerd zwavelzuur.
- 11** Optelsom van beide elektrodereacties in 5:  
 $2 \text{Zn}^{2+} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{Zn} + \text{O}_2 + 4 \text{H}^+$   
Hieruit volgt dat de molverhouding  $\text{Zn}^{2+} : \text{H}^+ = 2 : 4 = 1 : 2$ .  
Bij de reactie in 3 (zie onderdeel 08) geldt ook  $\text{Zn}^{2+} : \text{H}^+ = 1 : 2$ .  
Er ontstaat dus in 5 precies voldoende  $\text{H}^+$  om ZnO in 3 om te zetten in  $\text{Zn}^{2+}$ .

### Brandstofcel

- 12** Het gaat om een spontane reactie, waarbij  $\text{O}_2$  als oxidator reageert. Bij spontane reacties reageert de oxidator altijd bij de positieve elektrode. (Beter gezegd: de halfreactie maakt deze elektrode positief ten opzichte van de andere elektrode)
- 13**  $2 \text{NH}_3 + 6 \text{OH}^- \rightarrow \text{N}_2 + 6 \text{H}_2\text{O} + 6 \text{e}^-$   
Toelichting:  
De  $\text{e}^-$  staan na de pijl, omdat voor de pijl als enige negatieve deeltje  $\text{OH}^-$  staat.  
Bij het kloppend maken begin je met een 2 voor  $\text{NH}_3$  zodat N klopt. Daarna kun je voor  $\text{OH}^-$  steeds een waarde proberen totdat de O en H kloppend zijn. Tenslotte zet je voor de  $\text{e}^-$  dezelfde coëfficiënt als voor  $\text{OH}^-$ , zodat ook de lading links en rechts klopt.
- 14**  $4 \text{NH}_3 + 5 \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{NO} + 6 \text{H}_2\text{O}$
- 15** Stikstofoxiden kunnen smog veroorzaken.  
Stikstofoxiden kunnen in de lucht omgezet worden in salpeterzuur en dat zorgt voor zure depositie (= vorming van zure regen).

### Titaanwit

- 16** De reactievergelijking wordt nu:  $\text{FeTiO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{TiO}_2 + \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$   
(omdat je met stoffen moet rekenen en niet met ionen)

$$\begin{aligned} \text{atoomeconomie} &= \frac{m_{\text{product}}}{m_{\text{beginstoffen}}} \times 100\% \quad (\text{zie tabel 37H}) \\ &= \frac{79,87}{151,72 + 98,079} \times 100\% = \frac{79,87}{249,799} \times 100\% = 31,97\% \end{aligned}$$

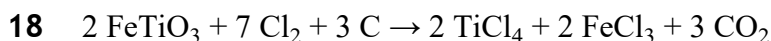
- 17 In de reactievergelijking staat voor de pijl:  $\text{FeTiO}_3 + 2 \text{H}^+$ . Die 2 mol  $\text{H}^+$  komt echter van 1 mol  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (zie ook onderdeel 16). Dus de molverhouding  $\text{FeTiO}_3 : \text{H}_2\text{SO}_4 = 1 : 1$

Molaire massa  $\text{FeTiO}_3$ :  $151,72 \text{ g mol}^{-1}$

$$\text{Aantal mol FeTiO}_3: \frac{1,0 \cdot 10^6 \text{ g}}{151,72 \text{ g mol}^{-1}} = 6,6 \cdot 10^3 \text{ mol.}$$

Aantal mol  $\text{H}_2\text{SO}_4$ : ook  $6,6 \cdot 10^3 \text{ mol}$  (1:1).

Er blijft over:  $6,8 \cdot 10^3 \text{ mol} - 6,6 \cdot 10^3 \text{ mol} = 2,0 \cdot 10^2 \text{ mol H}_2\text{SO}_4$ .



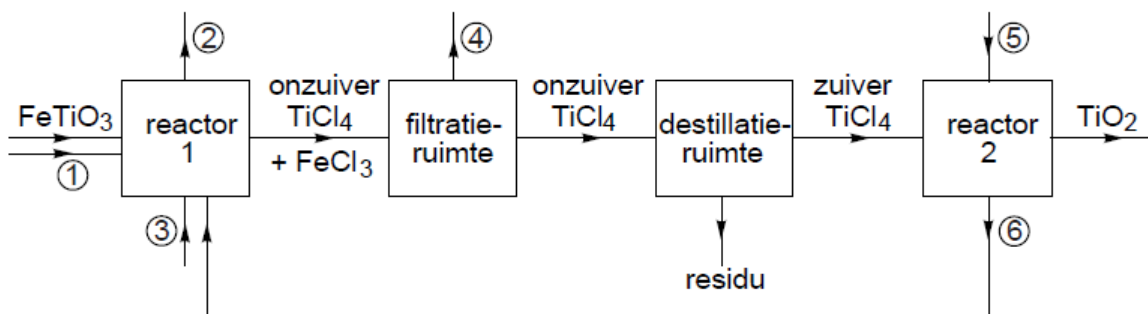
- 19 In reactie 1 wordt per mol  $\text{FeTiO}_3$  3,5 mol  $\text{Cl}_2$  gebruikt

In reactie 2 komt per mol  $\text{TiO}_2$  2,0 mol chloor vrij

Er moet per mol  $\text{TiO}_2$   $(3,5 - 2,0) = 1,5 \text{ mol Cl}_2$  worden toegevoerd

- 20 1 : C  
2 :  $\text{CO}_2$   
3 :  $\text{Cl}_2$   
4 :  $\text{FeCl}_3$   
5 :  $\text{O}_2$   
6 :  $\text{Cl}_2$

21



De terugvoer van chloor mag niet samenvallen met de aanvoer van chloor in reactor 1. Boven onderdeel 18 staat dat er voortdurend chloorgas moet worden toegevoegd vanuit een opslagtank.