

# Elektrochemie

(versie 12-9-2018)

Je kunt bij een onderwerp komen door op de gewenste rubriek in de inhoud te klikken.

Wil je vanuit een rubriek terug naar de inhoud, klik dan op de tekst van de rubriek waar je bent.

Gewoon scrollen gaat natuurlijk ook.

## Inhoud

Redoxreacties (bovenbouw) .....	2
Het voorspellen van redoxreacties (bovenbouw) .....	3
Elektrochemische cellen (bovenbouw) .....	4
Redoxtitraties (bovenbouw) .....	9
Elektrolyse en coulometrie (bovenbouw) .....	10

## Redoxreacties (bovenbouw)

### **Opgave 1 Opstellen van redoxreacties (1)**

Stel de volgende halfreacties op:

- 1 De omzetting van  $\text{ClO}_3^-$  in  $\text{Cl}_2$  in een zure oplossing
- 2 De omzetting van  $\text{CrO}_4^{2-}$  in  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  in een neutrale oplossing
- 3 De omzetting  $\text{H}_2\text{BO}_3^-$  in B in een neutrale oplossing
- 4 De omzetting Ga in  $\text{H}_2\text{GaO}_3^-$  in een basische oplossing
- 5 De omzetting  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  in  $\text{Sb}_2\text{O}_5$  in een zure oplossing
- 6 De omzetting  $\text{H}_5\text{IO}_6$  in  $\text{IO}_3^-$  in een zure oplossing
- 7 De omzetting van  $\text{FeO}_4^-$  in  $\text{Fe}^{3+}$  in een zure oplossing
- 8 De omzetting van  $\text{WO}_3$  in  $\text{W}_2\text{O}_5$  in neutrale oplossing.

### **Opgave 2 Opstellen van redoxreacties (2)**

Bij de volgende processen treden redoxreacties op. Geef de vergelijkingen van de halfreacties van de reductor en de oxidator en geef de vergelijking van de totaalreactie.

- 1 Natrium reageert met water
- 2 Staalwol (ijzer) wordt in een koper(II)sulfaat-oplossing ondergedompeld.
- 3 Een oplossing van hydroxyethanal reageert met chloorwater. Vermeld de structuurformules van de koolstofverbindingen.

### **Opgave 3 Opstellen van redoxreacties (3)**

Leid de vergelijkingen van de volgende reacties af met behulp van halfreacties, of leg uit waarom er geen reactie verloopt.

- 1 Een korrel zink werd in een  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  -oplossing gebracht.
- 2 Joodwater wordt gemengd met een oplossing van natriumchloride.
- 3 Een verdunde oplossing van salpeterzuur wordt over vast wolfram(IV)oxide ( $\text{WO}_2$ ) geschonken. Hierbij ontstaat onder andere vast wolfram(V)oxide ( $\text{W}_2\text{O}_5$ ).
- 4 Een natriumsulfide-oplossing werd aan een broom-oplossing toegevoegd.
- 5 Een waterstofperoxide oplossing wordt gemengd met zoutzuur.
- 6 Een stukje zink wordt gemengd met geconcentreerd salpeterzuur. Hierbij ontstaat het kleurloze gas distikstofmono-oxide.

### **Opgave 4 Opstellen van redoxreacties (4)**

Stel, als de reactie verloopt, de redoxreacties op voor de volgende reacties:

- 1 Een oplossing van kopersulfaat wordt gemengd met magnesiumpoeder.
- 2 Een aangezuurde oplossing van waterstofperoxide wordt gemengd met een oplossing van kaliumbromide.
- 3 Een oplossing van kaliumpermanganaat wordt gemengd met een oplossing van oxaalzuur ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ).
- 4 Een oplossing van kaliumthiosulfaat ( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) wordt gemengd met een jood-oplossing.
- 5 Een aangezuurde oplossing van kaliumdichromaat ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) wordt gemengd met een oplossing van waterstofperoxide.
- 6 Een stukje calcium wordt in water gegoooid.
- 7 Verdund zwavelzuur wordt gemengd met kaliumbromide-oplossing.

- 8 Een oplossing van  $\text{NaClO}_4$  wordt gemengd met een aangezuurde oplossing van methanol; hierbij ontstaan onder andere  $\text{Cl}^-$  ionen.
- 9 Een aangezuurde oplossing van kaliumpermanganaat wordt gemengd met een magnesiumsulfietoplossing.
- 10 Een verdunde oplossing van salpeterzuur wordt gemengd met een oplossing van ijzer(II)sulfaat.
- 11 Een joodoplossing wordt gemengd met een oplossing van natriumthiosulfaat.
- 12 Waterstofperoxide wordt gemengd met zoutzuur.
- 13 Een oplossing van kaliumpermanganaat reageert met een aangezuurde oplossing van kaliumnitriet.
- 14 Chloor wordt in een met geconcentreerd zoutzuur aangezuurde tin(II)chloride-oplossing geleid.
- 15 Geconcentreerd zwavelzuur wordt samengevoegd met een kaliumbromide-oplossing.

### Opdracht 5 Opstellen van redoxreacties (5)

Ga na of de volgende verbindingen reageren met een oxidator. Geef het eventuele reactieproduct (naam en structuur) dat ontstaat of geef aan waarom er geen reactie plaatsvindt.

- 1 3-methyl-2-butanol
- 2 3,5-dimethyl-3-heptanol

### Opdracht 6 Opstellen van redoxreacties (6)

Stel de redoxreacties op voor de volgende reacties:

- 1 Door koken, in aanwezigheid van zinkpoeder, wordt het nitraation in basische oplossing omgezet tot ammoniak; uit zink ontstaat het complexe  $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$ -ion.
- 2 Bij smelten van mangaan(IV)oxide met kaliumchloraat ( $\text{KClO}_3$ ) in aanwezigheid van kaliumhydroxide reageert het chloraation met mangaan(IV)oxide tot het manganaation ( $\text{MnO}_4^{2-}$ ); uit het chloraation wordt het chloride-ion gevormd.
- 3 2-methyl-1,2,3-butaantriol reageert volledig met een aangezuurde kaliumpermanganaatoplossing. Geef de organische verbindingen in structuurformules.

### Opdracht 7 Opstellen van redoxreacties (7)

Men wil, uitgaande van het metaal ijzer, een oplossing van uitsluitend ijzer(II)sulfaat bereiden.

- 1 Beschrijf hoe men dit uitgaande van ijzer kan doen.  
In een ijzer(II)sulfaatoplossing kunnen de ijzer(II)ionen door zuurstof in de lucht geoxideerd worden tot ijzer(III)ionen. Uit tabel 48 (BINAS 5<sup>e</sup> en 6<sup>e</sup> druk) kun je afleiden dat deze omzetting alleen mogelijk is als de oplossing zuur is.
- 2 Leg aan de hand van tabel 48 uit dat zede omzetting niet mogelijk is in neutrale oplossing maar wel in zure oplossing.

## Het voorspellen van redoxreacties (bovenbouw)

### Opdracht 1 Zilver en goud samenbrengen met salpeterzuur

Ga na of de volgende oxidatoren en reductoren met elkaar kunnen reageren. Zo ja, leid de reactievergelijking met behulp van halfreacties af. Zo nee, leg duidelijk uit waarom niet.

- 1 Zilver met geconcentreerd salpeterzuur.
- 2 Zilver met verdund salpeterzuur.
- 3 Goud met geconcentreerd salpeterzuur.

## **Opgave 2 Joodwater toevoegen aan ijzer**

We voegen joodwater toe aan ijzer.

- 1 Leg met behulp van tabel 48 uit BINAS (5<sup>e</sup> en 6<sup>e</sup> druk) uit of het joodwater met het ijzer reageert en zo ja hoe.
- 2 Leg met behulp van tabel 48 BINAS (5<sup>e</sup> en 6<sup>e</sup> druk) uit of er een ijzer(III)jodide oplossing kan ontstaan als er een overmaat joodwater wordt gebruikt.

## **Opgave 3 Tin(II)ionen en zuurstof**

- 1 Men wil uitgaande van het metaal tin een oplossing van uitsluitend tin(II)sulfaat bereiden. Beschrijf hoe men dit uitgaande van tin kan doen.

In een ijzer(II)sulfaatoplossing kunnen de ijzer(II)ionen door de zuurstof in de lucht omgezet worden tot ijzer(III)ionen. Uit tabel 48 (BINAS 5<sup>e</sup> en 6<sup>e</sup> druk) kun je afleiden dat deze omzetting alleen mogelijk is als de oplossing zuur is.

- 2 Leg aan de hand van tabel 48 uit dat deze omzetting niet mogelijk is in neutrale oplossing, maar wel mogelijk is in zure oplossing.

## **Elektrochemische cellen (bovenbouw)**

### **Opgave 1 Cel met ijzer(III)chloride en waterstofsulfide**

Als waterstofsulfide in een oplossing van ijzer(III)chloride wordt geleid, ontstaat zwavel.

- 1 Geef de reactievergelijking.

Met behulp van ijzer(III)chloride en waterstofsulfide kan als volgt een elektrochemische cel worden gebouwd:

In bekerglas A, gevuld met een ijzer(III)chloride-oplossing, wordt een koolstofelektrode geplaatst.

In bekerglas B, gevuld met gedestilleerd water, wordt ook een koolstofelektrode geplaatst.

Van een zoutbrug wordt het ene been in de vloeistof van bekerglas A en het andere been in de vloeistof van bekerglas B geplaatst.

Nadat beide elektroden via een gevoelige voltmeter met elkaar zijn verbonden, wordt een regelmatige stroom waterstofsulfide door het water in bekerglas B geleid.

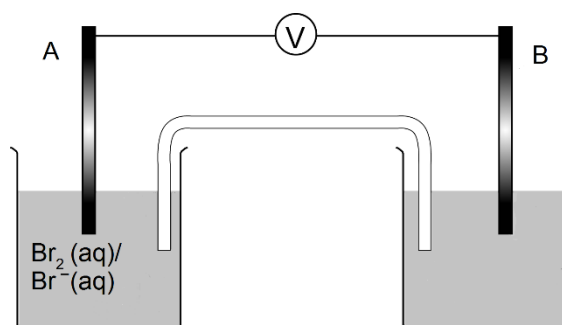
- 2 Maak een schematische tekening van deze elektrochemische cel.
- 3 Leg uit waar de zoutbrug voor dient.
- 4 Verklaar het optreden van een potentiaalverschil tussen de elektroden.
- 5 Beredeneer wat in dit element de positieve elektrode is.

Als men in het beschreven elektrochemische element enkele druppels natronloog toevoegt aan de oplossing in bekerglas B, slaat de voltmeter verder uit.

- 6 Geef hiervoor een verklaring.

## Opgave 2 Cel met broom en kaliumbromide

Het linker bekglas van de onderstaande opstelling is gevuld met een oplossing van broom en kaliumbromide en het rechterbekerglas met water. In ieder bekglas bevindt zich een inerte koolstofelektrode, aangeduid met A en B, die via een koperdraad met elkaar zijn verbonden. Je moet met deze opstelling een elektrochemische cel maken door in het water een stof op te lossen. Je kunt hiervoor kiezen uit kaliumchloride en kaliumjodide.



- 1 Leg uit welke van deze stoffen je in het water moet oplossen om er een elektrochemische cel van te kunnen maken.
- 2 Geef de halfreacties die verlopen als de cel stroom levert.
- 3 Leg uit in welke richting de elektronen door de verbindingsdraad stromen.
- 4 Leg uit welke elektrode de positieve is.  
Na enige tijd is de cel uitgeput. Toch is de vloeistof in het linker bekglas nog duidelijk bruin gekleurd.
- 5 Geef een mogelijke verklaring dat deze cel is uitgeput.

## Opgave 3 Cellen met natriumsulfiet- en kaliumpermanganaatoplossing

Sander bouwt een elektrochemische cel. Hij heeft de beschikking over een natriumsulfiet ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ )-oplossing, een kaliumpermanganaat ( $\text{KMnO}_4$ )-oplossing, twee inerte elektroden, een zoutbrug van gelatine met een oplossing van kaliumchloride en verder alles wat nodig is om een elektrische cel te bouwen.

Aan de kaliumpermanganaat-oplossing is geen zuur toegevoegd!

Hij sluit alles aan en meet eerst de bronspanning.

Vervolgens laat Sander de cel een tijdlang stroom leveren. Daarbij kijkt hij regelmatig of er iets verandert. Ook onderzoekt hij of in één van de bekglazen chloride-ionen aanwezig zijn. Hij constateert het volgende:

- in het bekglas met de kaliumpermanganaat-oplossing ontstaat een troebeling
- in het bekglas met de natriumsulfietoplossing is niets te zien. Omdat de cel stroom levert, moet hier wel een reactie optreden
- in één van de bekglazen zijn chloride-ionen aanwezig

- 1 Maak een duidelijk tekening van de cel die Sander gemaakt heeft. Geef hierin aan wat alles voorstelt. Geef ook de elektronenstroom aan en kies het juiste elektrodemateriaal.
- 2 Geef de halfreacties die verlopen als de cel stroom levert.
- 3 Leg uit aan de hand van deze vergelijkingen welke elektrode de positieve is.
- 4 Bereken de bronspanning als geldt dat alle concentraties van de aanwezige ionen 1,00 M is.
- 5 Leg uit in welk bekglas chloride-ionen aangetoond kunnen worden.

De  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  oplossing wordt verdund met water.

- 6 Leg uit dat de bronspanning nu, vergeleken met de beginsituatie, lager wordt.

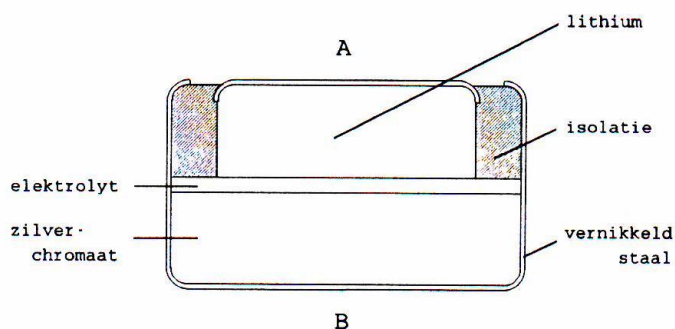
#### Opgave 4 Cellen met loodnitraat- en aluminiumnitraatoplossing

Je krijgt de beschikking over 250 mL van een oplossing van 1,0 M loodnitraat, 250 mL van een oplossing van 1,0 M aluminiumnitraat, loden en aluminium staafjes en verder alles wat nodig is om een elektrische cel te maken.

- 1 Maak een tekening van de gebruikte opstelling en geef duidelijk aan wat alle onderdelen voorstellen. Geef bovendien aan hoe de elektronenstroom loopt als de cel stroom levert.
- 2 Geef de vergelijkingen van de halfreacties die aan de elektroden verlopen.
- 3 Bereken de bronspanning die de cel levert.  
Na enige tijd is de massa van de elektrode in de loodnitraatoplossing met 1,50 g veranderd.
- 4 Bereken hoeveel de massa van de andere elektrode veranderd is.
- 5 De loodnitraatoplossing van de oorspronkelijke cel wordt 10 keer verdund. Leg uit wat dit voor invloed heeft op de geleverde bronspanning.

#### Opgave 5 Batterij pacemaker

Bij sommige hartafwijkingen is het nodig dat een zogenoemde pacemaker wordt ingebracht. Deze zorgt voor een elektrische prikkeling van de hartspier. Het is van groot belang dat een pacemaker gedurende lange tijd betrouwbaar van stroom wordt voorzien. Dat gebeurt door middel van een batterij. De bouw van deze batterij is hieronder schematisch weergegeven.



De twee elektrodes van de batterij zijn aangegeven met A en B.

Als de batterij stroom levert, reageert aan elektrode A lithium volgens:



Aan pool B reageert zilverchromaat ( $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ ). Hierbij verandert alleen de lading van de zilverdeeltjes.

- 1 Geef van de omzetting bij elektrode B de vergelijking van de halfreactie.
- 2 Leg uit of elektrode A de negatieve of de positieve elektrode van deze batterij is.  
Het zilverchromaat en het lithium zijn van elkaar gescheiden door middel van een vast elektrolyt. Een oplossing van een elektrolyt is onbruikbaar. De aanwezigheid van water leidt namelijk tot een ongewenste chemische reactie.
- 3 Geef de vergelijking van deze ongewenste chemische reactie.  
Bovenbeschreven batterij bevat 25 mg lithium en een overmaat zilverchromaat. De batterij levert een stroom met een gemiddelde stroomsterkte van  $1,6 \cdot 10^{-6} \text{ A}$  ( $1 \text{ A} = 1 \text{ C s}^{-1}$ ).
- 4 Bereken hoeveel jaar de batterij deze stroom kan leveren. Neem daarbij aan dat de stroomlevering pas stopt als al het lithium heeft gereageerd. Maak hierbij gebruik van een gegeven uit Binas tabel 7 (5<sup>e</sup> en 6<sup>e</sup> druk).

## Opgave 6 Vanadium

Het element vanadium (symbool V) heeft vele valenties. Zo bestaan de isoorten  $V^{2+}$  en  $V^{3+}$ . Ook zijn verscheidene samengestelde ionsoorten bekend waarin vanadium voorkomt. tot de ionsoorten behoren onder andere  $VO_2^+$  en  $VO^{2+}$ .

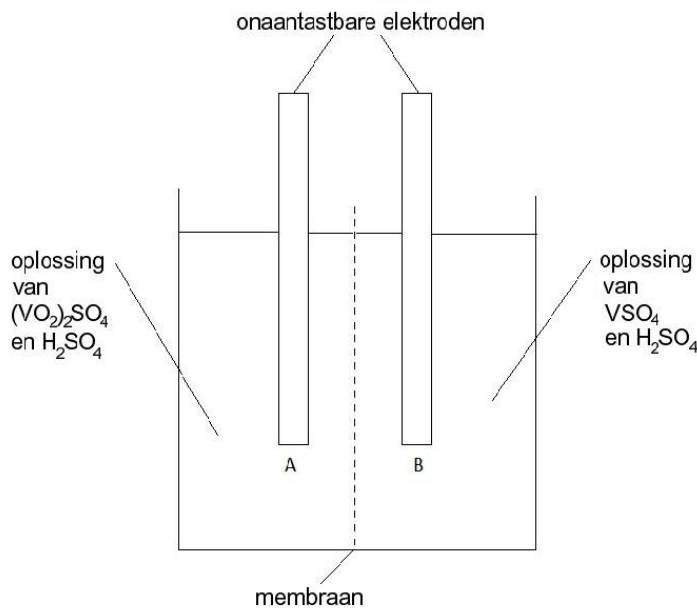
Bij elektrolyse van een oplossing van  $VOSO_4$  en  $H_2SO_4$  met onaantastbare elektroden vindt aan de positieve elektrode de volgende reactie plaats:



Aan de negatieve elektrode wordt  $VO^{2+}$  omgezet in  $V^{2+}$ .

- 1 Geef de vergelijking van de reactie die optreedt aan de negatieve elektrode.
- 2 In welke molverhouding  $VO_2^+ : V^{2+}$  ontstaan deze soorten deeltjes bij deze elektrolyse?

Oplossingen met de ionen  $VO_2^+$  en  $V^{2+}$  worden toegepast in een zogenoemde vanadiumcel. Deze elektrochemische cel kan schematisch als volgt worden weergegeven:



Als zo'n vanadiumcel stroom levert, treden aan de elektroden de volgende reacties op:



Om stroomlevering mogelijk te maken zullen ionen het membraan moeten kunnen passeren. Het membraan is zo geconstrueerd dat van alle ionen alleen  $H^+$  ionen door het membraan kunnen gaan.

Tijdens stroomlevering van de cel gaan  $H^+$  ionen van ruimte B naar ruimte A.

Men laat de cel enige tijd stroom leveren. Gedurende die tijd blijkt 1 mmol  $H^+$ , volgens de elektrode reactie in ruimte A, gereageerd te hebben.

- 3 Leg uit dat gedurende die tijd 0,5 mmol  $H^+$ , via het membraan, van ruimte B naar ruimte A moet zijn gegaan.

Als gevolg van de stroomlevering veranderen de potentialen van de elektroden in de ruimten A en B. De potentiaal  $V_A$  van de elektrode in ruimte A, gemeten ten opzichte van de standaardwaterstofelektrode, hangt bij 298 K als volgt af van de concentraties in ruimte A:

$$V_A = V_A^0 + 0,059 \log \frac{[VO_2^+][H^+]^2}{[VO^{2+}]}$$

De potentiaal  $V_B$ , van de elektrode in ruimte B, gemeten ten opzichte van de standaardwaterstofelektrode, hangt bij 298 K als volgt af van de concentraties in ruimte B:

$$V_B = V_B^0 + 0,059 \log \frac{[V^{3+}]}{[V^{2+}]}$$

$$V_A^0 = +1,00 \text{ volt}; V_B^0 = -0,26 \text{ volt}$$

Men heeft een nog ongebruikte vanadiumcel waarvan de vloeistofvolumes in de ruimten A en B even groot zijn. De concentraties  $VO_2^+$  en  $V^{2+}$  zijn aan elkaar gelijk. Men mag aannemen dat in de ongebruikte cel nog geen  $VO_2^+$  en  $V^{3+}$  aanwezig zijn. Men laat de cel enige tijd stroom leveren. Als men de stroomlevering heeft gestopt, blijkt dat er 25% van het  $VO_2^+$  is omgezet en dat  $[H^+]$  in ruimte A  $1, \text{ mol L}^{-1}$  is.

- 4 Bereken de bronspanning op dat moment.

### Opgave 7 Standaard koper-zink cel

We bouwen een standaard koper-zink cel. Deze bestaat uit twee halfcellen: een oplossing van een koper(II)zout (1,0 M) met een koperstaaf en een oplossing van een zinkzout (1,0 M) met een zinkstaaf. Beide halfcellen staan met elkaar in verbinding met een zoutbrug.

- 1 Beredeneer welke elektrode de positieve en welke de negatieve pool van de cel is.
- 2 Welke reacties vinden plaats aan de elektroden?
- 3 Bereken de bronspanning van de standaard koper-zink cel.
- 4 Leg uit wat er met de bronspanning gebeurt als de concentratie van de koper(II)-ionen wordt verhoogd.

### Opgave 8 Kobalt-ijzer cel

Evenals van ijzer komen ook van kobalt (Co) ionen voor met de valenties 2+ en 3+. Men maakt met behulp van twee bekersglazen en een zoutbrug een elektrochemische cel, die gebruikt kan worden als stroombron.

Het ene bekersglas wordt gevuld met 100 mL van een oplossing waarvoor geldt:  $[Fe^{2+}] = [Fe^{3+}] = 1,00 \text{ mol/L}$ .

Het andere bekersglas wordt gevuld met 100 mL van een oplossing waarvoor geldt:  $[Co^{2+}] = [Co^{3+}] = 1,00 \text{ mol/L}$ .

De standaard elektrodepotentiaal voor het koppel  $Co^{2+}/Co^{3+}$  bedraagt +1,83 V. In beide bekersglazen plaatst men een platina elektrode.

- 1 Maak een tekening van de opstelling.
- 2 Leg uit welke de functie is van de zoutbrug.
- 3 Leg uit welke pool in deze elektrochemische cel de positieve pool is.  
Vervolgens verbindt men beide elektroden door middel van een ampèremeter; er loopt nu een stroom.
- 4 Geef voor ieder bekersglas de vergelijking van de halfreactie die tijdens de stroomlevering verloopt en voeg deze samen tot de vergelijking van de totaalreactie.  
Na enige tijd neemt de stroomsterkte af en wordt uiteindelijk gelijk aan nul. Er heeft zich dan een evenwicht ingesteld; daarbij is in elk van de bekersglazen de concentratie van één van beide ionen vrijwel gelijk aan nul geworden. De evenwichtsconstante,  $K$ , blijkt  $1,0 \cdot 10^{10}$  te zijn.
- 5 Stel de evenwichtsvoorwaarde op.
- 6 Bereken de concentraties van  $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Co^{2+}$  en  $Co^{3+}$  als de cel geen stroom meer levert. (Bereken dus ook de hele kleine concentraties).

Men kan een elektrochemische cel ook gebruiken om de waarde van een onbekende standaard elektrodepotentiaal te bepalen. Om de standaard elektrodepotentiaal van het koppel  $Tl^{3+}/Tl^+$  (Tl is thallium) te bepalen, maakt men weer gebruik van twee bekersglazen en een zoutbrug.

Het ene bekersglas wordt gevuld met 100 mL van een oplossing waarvoor geldt  $[Tl^{3+}] = [Tl^+] = 1,00 \text{ mol/L}$ . Hierin plaatst men een platina elektrode. Het andere bekersglas bevat 100 ml 1,00 M  $CuCl_2$



oplossing. Hierin plaatst men een koperen elektrode.

Vervolgens meet men het potentiaalverschil tussen beide elektroden. Deze is 0,91 V. De platina elektrode is de positieve pool.

- 7 Bereken hieruit de waarde van de standaard elektrodepotentiaal van het koppel  $Tl^{3+}/Tl^+$ .

## Redoxtitraties (bovenbouw)

### **Opgave 1 Bepaling natriumsulfietgehalte**

Aan 1,73 gram onzuiver, vast natriumsulfiet wordt een overmaat zoutzuur toegevoegd. Het hierbij ontstane zwaveldioxidegas wordt geleid door 50,0 mL 0,300 M aangezuurde oplossing van waterstofperoxide. Het restant van de waterstofperoxide wordt getitreerd met 12,61 mL 0,352 M kaliumjodide-oplossing.

- 1 Er vinden bij deze bepaling drie reacties plaats. Geef van alle reacties de reactievergelijking (met behulp van de halfreacties).
- 2 Bereken het massapercentage  $Na_2SO_3$  in 1,73 gram onzuiver natriumsulfiet.

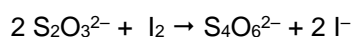
### **Opgave 2 Bepaling ijzergehalte**

Men wil het ijzergehalte in een ijzererts bepalen. Dit kan door middel van een redoxtitratie. Het erts wordt hiertoe eerst opgelost in een mengsel van zuren waarbij het ijzer vrijkomt in de vorm van  $Fe^{3+}$  ionen.

- 1 Geef met behulp van halfreacties de redoxreactie tussen een oplossing van ijzer(III)-ionen en een aangezuurde oplossing van kaliumjodide.
- 2 Welke kleuromslag vindt plaats bij deze redoxreactie?
- 3 Toch kun je het eindpunt niet waarnemen. Leg dit uit.

Om het ijzergehalte te kunnen bepalen wordt gebruik gemaakt van een indirecte titratie. Hiertoe wordt een overmaat kaliumjodide toegevoegd. Het ontstane jood wordt getitreerd met een natriumthiosulfaat ( $Na_2S_2O_3$ )-oplossing.

Tijdens de titratie verloopt de volgende redoxreactie:



Als indicator wordt zetmeel gebruikt.

- 4 Welke kleuromslag vindt bij deze indirecte titratie plaats?

3,32 g erts is opgelost in een mengsel van zuren, overgebracht in een maatkolf van 100 mL en aangevuld tot de maatstreep. Van deze oplossing is 25,0 mL in een erlenmeyer gepipetteerd. Na toevoegen van diverse reagentia en een overmaat kaliumjodide is getitreerd met 24,80 mL 0,1000 M  $Na_2S_2O_3$ -oplossing.

- 5 Bereken het massapercentage ijzer in het erts.

### **Opgave 3 Bepaling van het gehalte oxaalzuur in spinazie**

Oxaalzuur ( $H_2C_2O_4$ ) is een giftige stof die voorkomt in verschillende groenten zoals spinazie en rabarber. De hoeveelheid oxaalzuur in spinazie kan met behulp van een titratie met kaliumpermanganaat bepaald worden. Voor de bepaling van het gehalte oxaalzuur wordt 100 gram spinazie afgewogen en enige tijd gekookt. Het kookvocht wordt overgebracht in een 250 mL maatkolf en met water aangevuld tot de streep. Van de oplossing wordt 50,0 mL in een erlenmeyer gepipetteerd. De vloeistof wordt aangezuurd met zwavelzuur en getitreerd met 17,50 mL 0,0200 M  $KMnO_4$ -oplossing.

- 1 Leid de vergelijking van de reactie die verloopt af met behulp van halfreacties.
- 2 Wat zal je waarnemen als het eindpunt bereikt is?

- 3 Bereken het aantal mg oxaalzuur per gram spinazie.
- 4 Leg uit waarom je de oplossing ook niet mag aanzuren met salpeterzuur.

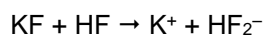
## Elektrolyse en coulometrie (bovenbouw)

### ■ Opgave 1 Bereiding van fluor

Eén van de grondstoffen die gebruikt kunnen worden voor de bereiding van waterstoffluoride is fluorapatiet,  $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$ . Fluorapatiet kan beschouwd worden als een mengsel van de zouten calciumfluoride en calciumfosfaat.

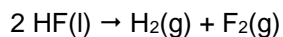
- 1 Leid af in welke molverhouding, calciumfluoride : calciumfosfaat, deze zouten in fluorapatiet aanwezig zijn.

Door toevoeging van een zuur wordt fluorapatiet omgezet in onder andere waterstoffluoride. Waterstoffluoride kan door middel van elektrolyse worden omgezet in waterstof en fluor. In een fluor fabriek voegt men daartoe aan een overmaat vloeibaar waterstoffluoride eerst een hoeveelheid kaliumfluoride toe. Daarbij treedt de volgende reactie op:

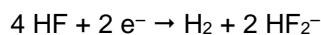


Het aldus verkregen mengsel wordt geëlektrolyseerd.

Het gehele elektrolyseproces kan als volgt in een reactievergelijking worden weergegeven:



Aan de negatieve elektrode treedt tijdens de elektrolyse de volgende reactie op:



- 2 Geef de vergelijking van de reactie die tijdens de elektrolyse aan de positieve elektrode optreedt.

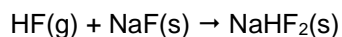
Het ontstane waterstof- en fluorgas verlaten de elektrolyseruimte via aparte uitgangen. Tijdens de elektrolyse verdampt wat waterstoffluoride. Daardoor bevat zowel de afgevoerde waterstof als de afgevoerde fluor wat (gasvormig) waterstoffluoride.

Om uit het afgevoerde gasmengsel van waterstof en waterstoffluoride zuiver waterstof te verkrijgen wordt dit gasmengsel in contact gebracht met natronloog.

Om uit het afgevoerde mengsel van fluor en waterstoffluoride zuiver fluor te verkrijgen kan geen natronloog worden gebruikt. Dit is af te leiden uit gegevens in BINAS.

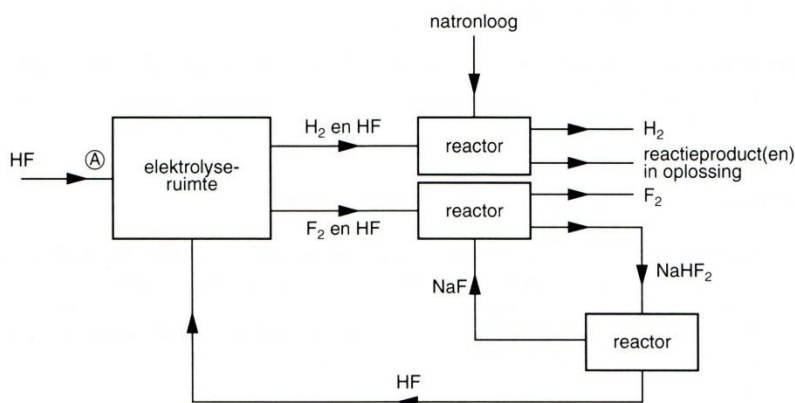
- 3 Geef de vergelijkingen van de reacties die zouden optreden als het mengsel van fluor en waterstoffluoride in contact zou worden met natronloog.

Zuiver fluor kan wel verkregen worden door het mengsel van fluor en waterstoffluoride in contact te brengen met natriumfluoride. Het waterstoffluoride reageert hiermee als volgt:



Door het gevormde  $\text{NaHF}_2$  in een aparte reactor te verhitten kan het waterstoffluoride worden teruggewonnen.

Als de productie van fluor als een continu proces wordt uitgevoerd, kan dit proces als volgt worden weergegeven:



In een bepaalde fluorfabriek wordt volgens dit continu proces  $1,00 \cdot 10^4$  mol  $F_2$  per uur geproduceerd. De gasmengsels die de elektrolyseruimte verlaten, bevatten beide 4,8 volumeprocent waterstoffluoride; het ene gasmengsel bevat daarnaast dus 95,2 volumeprocent fluor. Om de samenstelling van het mengsel in de elektrolyseruimte constant te houden moet voortdurend waterstoffluoride worden toegevoerd.

- 4 Bereken hoeveel kg waterstoffluoride bij dit continu proces per uur bij A moet worden toegevoerd.

## Opgave 2 Bepaling van het bromidegehalte

Het bromidegehalte van een bromide-oplossing kan coulometrisch worden bepaald door elektrolyse bij constante stroomsterkte met een zilverelektrode als (+) pool.

- 1 Welke reacties treden op aan de elektroden en in de oplossing, zolang het eindpunt nog niet is bereikt?
- 2 Bereken hoeveel mg  $Br^-$  er in de oplossing aanwezig was als gedurende 1 minuut een stroom van 0,10 A door het circuit loopt. (Gebruik onder andere de constante van Faraday uit Binas-tabel 7.

## Opgave 3 Bepaling van het diwaterstofsulfidegehalte

Het  $H_2S$ -gehalte van een watermonster uit de Lady Knox geysir bij Roturao in Nieuw Zeeland werd met elektrolytisch gegeneerd jood bepaald. Na toevoegen van 3,00 g kaliumjodide aan 50,0 mL van het watermonster duurde de titratie 9 minuten en 12 seconden bij een constante stroomsterkte van 0,0731 A.

- 1 Welke reacties treden op in de oplossing en aan de elektroden, zolang het eindpunt nog niet is bereikt?
- 2 Leg uit dat het geleidingsvermogen van de oplossing niet verandert, zolang het eindpunt nog niet is bereikt.
- 3 Bereken hoeveel mg  $H_2S$  per L het monster bevatte. (Gebruik onder andere de constante van Faraday uit Binas-tabel 7.

## Opgave 4 Bepaling vitamine C-gehalte

Een andere naam voor vitamine C ( $C_6H_8O_6$ ) is ascorbinezuur. Je kunt het vitamine C-gehalte van vitamine C-tabletten coulometrisch bepalen.

Bij een coulometrische bepaling wordt aan een oplossing van ascorbinezuur in water kaliumjodide en een zetmeeloplossing toegevoegd. Vervolgens wordt door elektrolyse met platina-elektroden het jodide omgezet in jood. Bij de elektrolyse houdt men de stroomsterkte constant. Zolang de oplossing ascorbinezuur bevat reageert het vrijkomende jood hier onmiddellijk mee, waarbij weer jodide ontstaat.

Het ascorbinezuur wordt bij deze reactie omgezet in dehydroascorbinezuur,  $C_6H_6O_6$ .

Ascorbinezuur en dehydroascorbinezuur zijn zwakke zuren. Oplossingen van beide zuren zijn in

watrig milieu kleurloos. Als al het ascorbinezuur in de oplossing heeft gereageerd, dan reageert het jood met het opgeloste zetmeel.

- 1 Welke reacties treden op in de oplossing en welke aan de elektroden, zolang het eindpunt nog niet is bereikt?
- 2 Leg uit dat het geleidingsvermogen van de oplossing niet verandert, zolang het eindpunt nog niet is bereikt.
- 3 Welke kleuromslag neem je waar bij het eindpunt?

Bij een onderzoek naar de hoeveelheid ascorbinezuur in vitamine C-tabletten loste men een tablet op in water, bracht dit over in een maatkolf van 250 mL en pipetteerde na aanvullen hieruit 50,0 mL in het titreervat waarna men de beschreven coulometrische bepaling uitvoerde. De stroomsterkte bedroeg 50 mA.

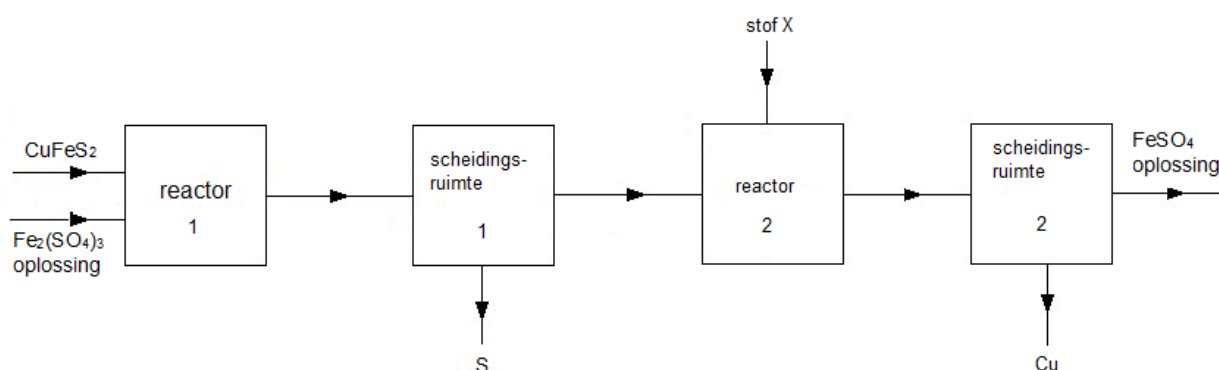
Na 7 minuten en 34,0 seconden trad de kleuromslag op.

- 4 Bereken hoeveel mg ascorbinezuur het vitamine C-tablet bevatte. (Gebruik onder andere de constante van Faraday uit Binas-tabel 7(5<sup>e</sup> en 6<sup>e</sup> druk)).

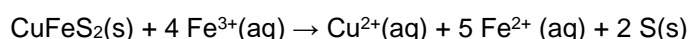
### Opgave 8 Productie van koper

Voor het maken van het metaal koper wordt vaak koperkies, ( $\text{CuFeS}_2$ ) gebruikt. De systematische naam van koperkies is koper(I)ijzer(III)sulfide.

Eén van de methodes om uit koperkies door middel van een continu proces koper te maken is in blokschema 2 weergegeven.



In reactor 1 treedt de volgende redoxreactie op:



- 1 Leg uit welke van de deeltjes uit koperkies (de koperdeeltjes en/of de ijzerdeeltjes en/of de zwavel deeltjes) bij deze reactie als reductor werken.

Door het toevoegen van stof X in reactor 2 treedt ook daar een redoxreactie op.

De oplossing die scheidingsruimte 2 verlaat, bevat als opgeloste stof uitsluitend  $\text{FeSO}_4$ .

- 2 Geef de formule van de stof X die in reactor 2 wordt toegevoegd.
- 3 Geef van de redoxreactie in reactor 2 de vergelijkingen van de halfreacties.

Het erts dat gebruikt wordt voor de boven beschreven koperbereiding bevat behalve koperkies ook verbindingen waarin zilver en nikkel voorkomen. Als gevolg hiervan ontstaat een product dat behalve koper ook wat zilver en nikkel bevat.

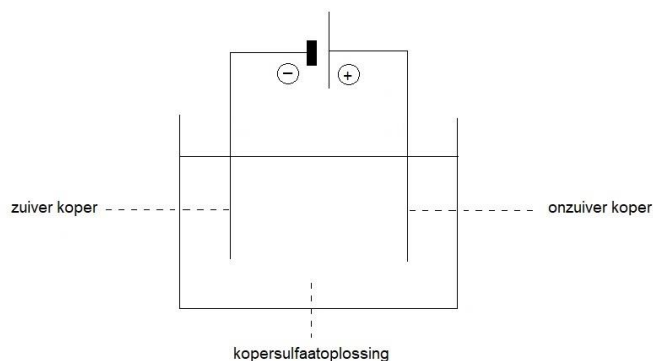
Om uit het onzuivere koper zuiver koper te maken wordt gebruik gemaakt van elektrolyse. Daarbij fungeert het onzuivere koper, omgesmolten tot een plaat, als positieve elektrode. De negatieve elektrode is gemaakt van zuiver koper. De elektrolysecel is gevuld met een kopersulfaatoplossing.

Het spanningsverschil dat bij de elektrolyse wordt aangelegd, wordt zodanig gekozen dat van de positieve elektrode koper en nikkel in oplossing gaan, maar het zilver niet. Het koper wordt

daarbij omgezet in  $\text{Cu}^{2+}$ , het nikkel in  $\text{Ni}^{2+}$ . Tijdens de elektrolyse valt (vast) zilver van de elektrode af.

Op de negatieve elektrode slaat alleen koper neer.

De beschreven productie van zuiver koper kan op kleine schaal uitgevoerd worden in de opstelling die hieronder schematisch is weergegeven.



- 4 Leg uit of de massa van het elektrodemateriaal (koper + nikkel) dat per uur oplost van de positieve elektrode groter is dan of kleiner is dan of gelijk is aan de massa van het koper dat per uur op de negatieve elektrode neerslaat.

Bij de productie van uiver koper volgens de beschreven elektrolyse mag  $[\text{Ni}^{2+}]$  in de oplossing niet hoger dan  $0,10 \text{ mol L}^{-1}$  worden. Bij een hogere  $[\text{Ni}^{2+}]$  treden ongewenste nevenreacties op. Daarom mag de elektrolyse niet te lang worden voortgezet.

De elektrolysecel, weergegeven in bovenstaande figuur, is gevuld met 1,0 liter kopersulfaatoplossing. Als positieve elektrode wordt een elektrode gebruikt waarin koper en nikkel in de molverhouding

20 : 1,0 voorkomen. Je mag aannemen dat koper en nikkel ook in deze verhouding uit de positieve elektrode in oplossing gaan. De totale elektrode-oppervlakte waar deze reacties plaatsvinden, bedraagt  $1,0 \text{ dm}^2$ . Tijdens de elektrolyse is het ladingstransport aan de positieve elektrode  $2,0 \text{ coulomb per seconde per dm}^2$  elektrode-oppervlakte.

- 5 Bereken hoeveel uur de elektrolyse mag duren voordat  $[\text{Ni}^{2+}]$   $0,10 \text{ mol L}^{-1}$  is. Gebruik hierbij Binas tabel 7.

**Zie verder “Onderwerpen VWO → “Vraagstukken met gecombineerde onderwerpen”.**