

# De begrippen element en enkelvoudige stof

A. J. H. UMANS

## *Inleiding*

Het gebrek aan inzicht in het wezen van een element en in de wijze waarop een element in een verbinding aanwezig is, dat door Ten Voorde<sup>1</sup> en door Van Antwerpen<sup>2</sup> bij leerlingen is gesignaleerd zal menig lezer uit eigen ervaring bekend zijn.

In de hoop dat het niet tot een eindeloze discussie gaat voeren, kan toch wel gesteld worden dat de door Feis<sup>3</sup> aangegeven remedie: vroege invoering van de corpusculair-theorie, de leerlingen nog niet duidelijk zal maken *op welke wijze* een element in een verbinding aanwezig is. Daarvoor zal toch een vroege invoering van de chemische binding nodig zijn.

Een poging om via praktikumproeven de leerlingen een beter inzicht bij te brengen in de wet van elementbehoud, die hiermee immers nauw samenhangt, is onlangs in dit blad<sup>4</sup> beschreven door collega W. de Vos te Oosterwolde.

Het onderwerp is bovendien aktueel door de toenemende aandacht in de publiciteitsmedia voor milieuvervuilende stoffen en de bestrijding van milieuvervuiling. Wat men hierover soms te berde brengt – zoals het onschadelijk maken van arseenhoudende vloeistoffen door deze te 'neutraliseren' of het 'vernietigen' van verbindingen van zware metalen door deze te verbranden wijst niet op een juist inzicht in de hier besproken zaken.

Intussen is het van belang te weten dat, zoals Van Antwerpen zelf al laat merken, zijn voorstel om een element geen stof meer te noemen niet nieuw is. Ruim dertig jaar geleden heeft de historicus Hooykaas in dit blad de geschiedenis van de Wet van Elementbehoud beschreven<sup>5</sup>. Hij schrijft onder andere:

*„Mendelejeff wil scherp onderscheid maken tus-schen het begrip eenvoudige (= enkelvoudige) stoffen het begrip element.” Hiermee is het „voortbestaan der elementen in de verbindingen ten volle verzekerd, voor-al wanneer men niet de inconsequentie begaat het begrip element aan dat van atoom te koppelen, want atomen bestaan niet onveranderd voort in de verbindingen.”*

En verder:

*„Daar het volstrekt niet noodzakelijk is de begrip-pen element en eenvoudige stof te koppelen aan de begrippen atoom en molecuul kunnen we Mendelejeff's onderscheiding handhaven zonder aan een bepaalde corpusculairtheorie te denken.”*

Hooykaas merkt nog spijtig op dat Mendelejeff's opheldering weinig resultaat heeft gehad bij het nageslacht.

Onze Zuiderburen behoeven zich hierdoor echter niet aangesproken te voelen. Zij hebben deze zaken al jaren geleden uitgebreid aan de orde gesteld, het-geen tot concrete gevolgen voor het onderwijs heeft geleid. Zo heeft Vaernewijck ruim twintig jaar gele-den in het *Orgaan van de Vereniging van Leraars in de Wetenschappen*<sup>6</sup> al gewezen op de veel voorkomende verwarring van element met enkelvoudige stof.

Later is hij daarop nog enkele malen teruggeko-men<sup>7</sup> en enkele jaren geleden heeft hij de belangrij-k-ste punten uit een eerder artikel herhaald.<sup>8</sup> Vaernewijck citeert als volgt uit het bekende Leerboek der Anorganische Chemie door Holleman:

*„Mendeljeff heeft er al op gewezen dat men tus-sen element en eenvoudige stof onderscheid moet maken: de eenvoudige stof is een ervaringsobject, het element is een abstractie, een zuiver idee dat aan de eenvoudige stoffen ten grondslag ligt. Het is iets dat geen veran-dering ondergaat. De elementen koolstof en zwavel*

*zijn dus iets anders dan de eenvoudige stoffen grafiet en diamant, resp. rombische en amorfe zwavel. In deze zin blijven de elementen in hun verbindingen behouden.”*

Vaernewijck merkt verder nog op dat de benamin-gen van de elementen zo belangrijk zijn. Hij zegt:

*„We moeten er op wijzen dat het woord koper bij-voorbeeld zowel het metaal, de enkelvoudige stof, als het element dat er in voorkomt aanduidt. Ongelukkige benamingen zijn natuurlijk zuurstof, waterstof, stik-stofenz. Het verdient dus aanbeveling de enkelvoudige stoffen te noemen zuurstofgas (later kan dat dizuur-stof worden), kopermetaal enz.”*

De aanleiding tot Vaernewijcks artikel was een bij-drage in hetzelfde blad van de hand van een andere auteur, Van de Vloed<sup>9</sup>, die soortgelijke ideeën heeft. Van de Vloed schrijft:

*„We moeten trachten de leerlingen te doen aanvoe-len dat de samengestelde stof die we ontlede en de enkelvoudige stoffen die we bekomen een gemeen-schappelijk iets bevatten, iets onveranderlijks dat bij alle mogelijke combinaties en uiterlijke veranderingen behouden blijft. Dit onveranderlijke iets dat we niet direct met onze zintuigen kunnen waarnemen, dat is het element.*

*Als we dus water ontlede dan bekomen we niet de elementen zuurstof en waterstof, maar wel de enkel-voudige stoffen dizuurstof en diwaterstof, of als we die di-nog niet willen gebruiken, zuurstofgas en water-stofgas. Welke reacties men ook uitvoert, datgene wat steeds behouden blijft en dat in alle mogelijke stoffen die we kunnen bekomen aanwezig is, dat is het element.”*

Dat deze opvattingen niet slechts bij een paar hob-byisten leven blijkt uit wat Bruggemans als lid van de Belgische Leerplancommissie in *Velewe* als om-schrijving van een element geschreven heeft<sup>10</sup>:

*„Een element is een atoomsoort. Het is dus geen deeltje, geen stof maar een abstract begrip. De eigen-schappen van een element worden bepaald door de structuur van het overeenkomstige atoom, zodat het opstellen van een periodiek systeem der elementen verantwoord is. Op die tabel komt echter de stof*

'chlor' b.v. niet voor: de stof (dichloor) heeft als formule  $Cl_2$  en het element heeft als symbool  $Cl$ . De enkelvoudige stof 'kalium' heeft eigenschappen die in verband staan met de structuur van een atoom  $K$ , dus met de eigenschappen van het element  $K$ . Er zijn veel meer verschillende enkelvoudige stoffen dan elementen; de stoffen diamant en grafiet b.v. vertegenwoordigen beide het element 'koolstof'.

Volgens mededeling van de geciteerde kollega's is deze opvatting expliciet ingebouwd in de Vlaamse chemieleerplannen.

Dat we met de nogal abstracte analyse van wat onder een element verstaan moet worden, zoals die hierboven enkele malen gegeven is, bij beginnende leerlingen niet ver komen, wordt blijkbaar ook door Vaernewijck en Van de Vloed wel aanvoeld.

Vaernewijck:

*het elementbegrip is uiteraard een abstractie die pas kan worden ingevoerd nadat de leerling genoeg ervaring heeft met allerlei stoffen en stofomzettingen.*

Van de Vloed:

*... daarom zullen we trachten door de uitvoering van enkele proeven de leerlingen te doen aanvoelen wat een element is, eerder dan ze een wetenschappelijk verantwoorde bepaling voor te schotelen die ze op dat ogenblik nog niet kunnen begrijpen.*

en:

*het doel van die proeven is de leerling te laten aanvoelen dat in die verschillende stoffen met hun zeer uiteenlopende eigenschappen een gemeenschappelijk bestanddeel voorkomt, zodat de enkelvoudige stof waarvan we uitgegaan zijn eerst verdwijnt, doch op het einde weer terug te voorschijn komt. Dit gemeenschappelijk bestanddeel noemen we dan het element'.*

De voorschriften voor de vier kringlopen zoals die door Van de Vloed zijn gegeven volgen hierna, in enigszins bekorte vorm.

Voor deze en de andere, hierna te bespreken experimenten geldt dat ze op alle niveaus zijn toe te passen, ook zonder dat de leerlingen weten welke omzettingen ze uitvoeren.

Verder zal de ene proef wat overtuigender zijn dan de andere; het oordeel hierover wordt aan de lezer overgelaten.

### Experimenten

*Proef 1:* het element zilver

Los een zilverkorrel (ca 0,3 g) op in  $3\text{ cm}^3$  salpeterzuur (50 massa%) onder wegzuigen van het stikstofdioxidegas.

Koncentreer de oplossing door voorzichtig verwarmen en wegzuigen van de waterdamp. Koel enkele minuten af tot het zilvernitraat kristalliseert. Los de kristallen op in ca  $30\text{ cm}^3$  water.

Vul een vetvrije reageerbuis voor ca  $2/3$  deel met deze oplossing. Voeg enkele druppels toe van een natriumhydroxide-oplossing (2 M). Los met enkele druppels geconcentreerde ammonia het neergeslagen zilveroxide op. Voeg ca  $1\text{ cm}^3$  glucose-oplossing (15 massa%) toe en verwarm\* de inhoud van de reageerbuis tot deze verzilverd is.

*Proef 2:* het element koper

Los 1 tot 2 g koper op in  $10\text{ cm}^3$  salpeterzuur (50 massa%) onder wegzuigen van het stikstofdioxidegas. Verwarm tot een groene oplossing ontstaat. Verdamp ongeveer de helft van het water en koel in koud water tot het kopernitraat begint te kristalliseren. Maak hieruit koperoxide of door rechtstreeks verwarmen of door aan de oplossing van het kopernitraat ammoniumcarbonaat toe te voegen. Ontleed in het laatste geval het afgefilterde neerslag tot kooldioxide en koperoxide.

Reduceer tenslotte het koperoxide met waterstofgas tot koper.

*Proef 3:* het element koolstof

Verbrand een paar gram houtskool (tot kleine stukjes verkruimeld in een verbrandingslepeltje dat met metaalgaas is afgedekt) door middel van een luchtstroom en leid het gevormde kooldioxide door barietwater (ca  $250\text{ cm}^3$  verzadigde oplossing, ca

\* Om veiligheidsredenen kan men misschien beter in een heetwater-bad verwarmen

0,25 M). Breng het witte neerslag van bariumcarbonaat over in een kolf, druppel er zoutzuur (ca 5 M) op en vang het gevormde kooldioxide boven water op in een omgekeerde maatcilinder van 1 dm<sup>3</sup>. Steek daarna een stuk magnesiumlint aan (ca 15 cm lang) en laat het brandend in de cilinder zakken. Het gevormde magnesiumoxide is grauw gekleurd door terugvorming van koolstof.

*Proef 4: de elementen ijzer en zwavel*

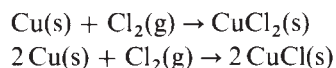
Meng ijzerpoeder (7 g) en zwavelpoeder (4 g) en maak er op de gewone wijze ijzersulfide van. Druppel op het ijzersulfide zoutzuur (ca 5 M) en leid het gevormde waterstofsulfide in een driehalskolf. Leid tegelijkertijd chloorgas in de kolf (bijvoorbeeld bereid uit kaliumpermangaat en geconcentreerd zoutzuur) en verbind de derde opening van de kolf met een wasflesje waarin zich natriumhydroxide-oplossing bevindt. Op de wanden van de kolf slaat zwavel neer dat oplost in koolstofdissulfide en daaruit mooi kristalliseert.

Oxideer de lichtgroene oplossing van ijzer(II)chloride met enkele druppels salpeterzuur tot een ijzer(III)oplossing en neutraliseer met een natriumhydroxide-oplossing. Filtreer het gevormde ijzer(III)hydroxide, was het zorgvuldig en zet het door verhitten om in ijzer(III)oxide. Zet het oxide op de bekende wijze met aluminiumgries om in ijzer en aluminiumoxide.

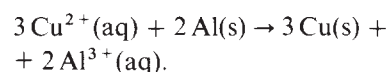
In de CMLS-leergang<sup>11</sup> wordt ook een soort koperkringloop toegepast. In een docentenproef laat men verwarmd koperpoeder met chloorgas reageren, waarna het gevormde koperchloride in water wordt opgelost. Enkele lessen verder elektrolyseren de leerlingen deze oplossing zelf, waarbij kopermetaal wordt teruggevormd.

Een goed bruikbare variatie op deze bereiding van koperchloride is, een spiraal van dik koperdraad in een vlam goed te verwarmen en daarna snel in de kolf, voorzien van een bodem water en verder gevuld met chloorgas te houden. Een heftige, exotherme reactie vindt plaats, waarbij het gloeiend reactieproduct in het water valt (waardoor glasbreuk wordt voorkomen).

Volgens beide werkwijzen wordt vrij veel slecht oplosbaar koper(I)chloride gevormd:



Uit de verkregen koper(II)chloride-oplossing kan het metaal ook teruggevormd worden met behulp van stukjes aluminiumfolie (keukenfolie) die bij de oplossing (eventueel na toevoegen van wat verdund zoutzuur) worden gedaan. Het zo gevormde kopermetaal is helder rood gekleurd.



Kollega W. de Vos heeft er onlangs<sup>4</sup> nog eens op gewezen dat het behoud van totale massa bij een chemische reactie voor de leerlingen 'logisch' is, maar dat het niet zo vanzelfsprekend is dat dit ook voor een element geldt. Daarom heeft een *kwantitatieve* kringloop voor beginnende leerlingen zeker zin. Voor gevorderde leerlingen kan het bovendien een oefening of test zijn in netjes werken en kan men er het berekenen van opbrengsten aan ophangen.

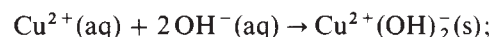
Een koperkringloop die ook door leerlingen zowel kwalitatief als kwantitatief is uit te voeren is indertijd in dit tijdschrift beschreven<sup>12</sup>. Een herhaling, in bekorte vorm, volgt hierna.

#### *Kwantitatieve kopercyclus*

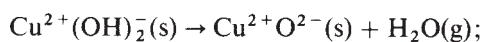
a. Weeg ca 1 g koper (poeder, krullen of stukjes) nauwkeurig af en los het op in ca 10 cm<sup>3</sup> verdund salpeterzuur (ca 7 M; 1 vol. gekoncentreerd zuur + 1 vol. water); gebruik de zuurkast! Verwarm tot een blauwe oplossing is ontstaan;



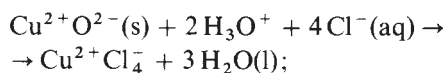
b. Voeg aan de oplossing 50 cm<sup>3</sup> water toe en vervolgens onder roeren 10 cm<sup>3</sup> natriumhydroxide-oplossing (ca 10 M; 40 g NaOH in 100 cm<sup>3</sup> opl.)



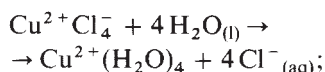
c. Verwarm het lichtblauwe mengsel voorzichtig tot het neerslag geheel zwart is;



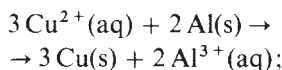
d. Los het neerslag op door 25 cm<sup>3</sup> verdund zoutzuur (ca 6 M; 1 vol. gekoncentreerd zuur + 1 vol. water) toe te voegen;



e. Voeg aan de groene oplossing 50 cm<sup>3</sup> water toe;



f. Voeg wat aluminium (stukjes keukenfolie; ca 0,5 g) toe aan de bij e verkregen blauwe oplossing en schud tot de oplossing kleurloos is;

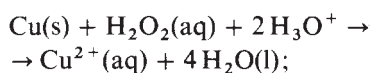


g. Los eventueel overgebleven stukjes aluminium op met een kleine hoeveelheid verdund zoutzuur. Filtreer en was het rode koperneerslag op een vooraf gewogen glas- of papierfilter, eerst met water, daarna met aceton of ethanol: droog filter en neerslag bij 100° C, weeg en bereken de massa van het kopermetaal.

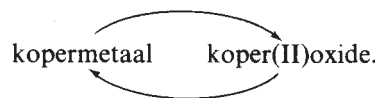
Een vrijwel identieke kringloop, waarin zink in plaats van aluminium wordt gebruikt, is enkele jaren geleden beschreven<sup>13</sup>. Bij deze cyclus zijn de volgende *kanttekeningen* te maken:

1. Het gebruikelijke oplossen van kopermetaal in salpeterzuur heeft het nadeel dat giftige gassen vrijkomen (NO, NO<sub>2</sub>) zodat dit de proef als leerlingexperiment minder geschikt maakt.

Een veiliger manier van oplossen is gebruik te maken van verdund zoutzuur of zwavelzuur waaraan een oplossing van waterstofperoxide is toegevoegd, waarbij het metaal exotherm in oplossing gaat (zodanig na enig verwarmen);

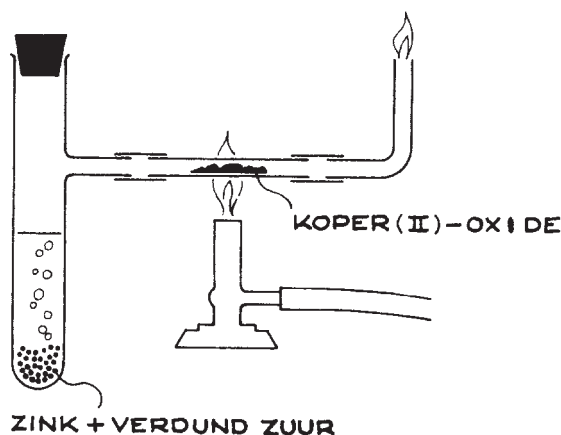
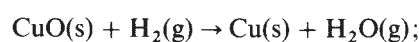


2. Natuurlijk is het ook mogelijk en misschien wel instruktiever om niet alle stappen in de bovenbeschreven kopercyclus uit te voeren maar de kringloop kort te sluiten en bijvoorbeeld te beperken tot



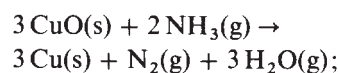
3. Het terugvormen van kopermetaal uit koper(II)oxide kan op diverse wijzen worden uitgevoerd:

a. met waterstofgas dat bijvoorbeeld uit zink en verdund zuur wordt bereid in de simpele opstelling van figuur 1 (eerst lucht met waterstofgas verdrijven; dit controleren door ontwijkend gas in omgekeerde reageerbuis op te vangen en buis bij vlam te houden; minder geslaagd als leerlingproef);

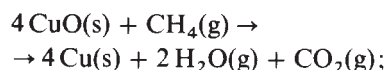


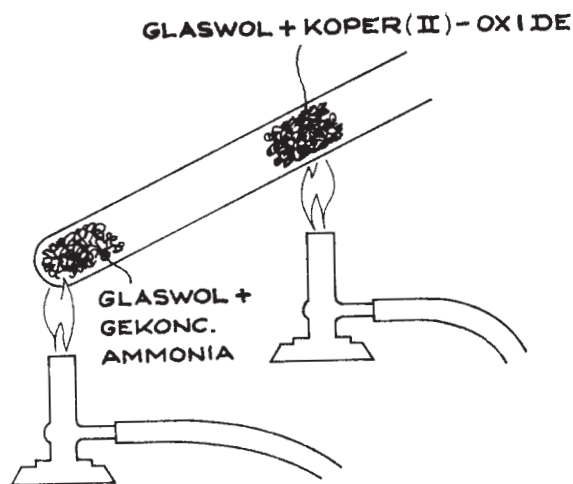
figuur 1 reactie van koper(II)oxide met waterstofgas

b. met ammoniak, bijvoorbeeld in de reageerbuisproef van figuur 2;

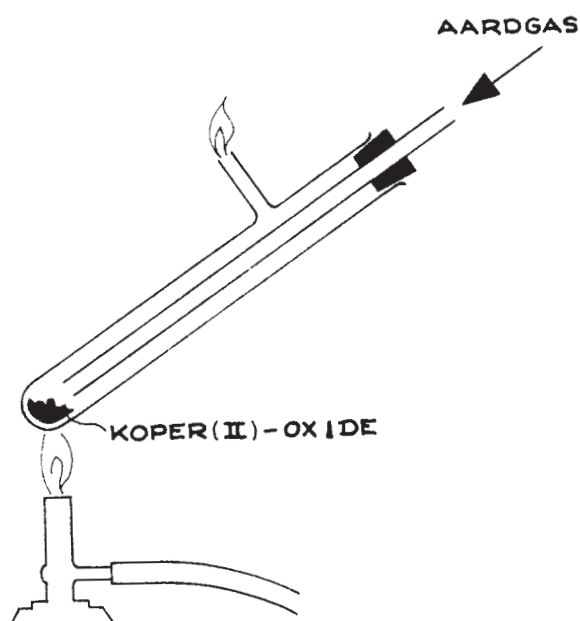


c. met aardgas, bijvoorbeeld in de reageerbuisproef van figuur 3;



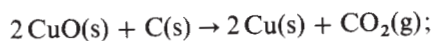


figuur 2: reactie van koper(II)oxide met ammoniak



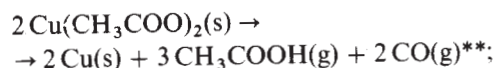
figuur 3: reactie van koper(II)oxide met aardgas (methaan)

d. met (een nauwkeurig afgewogen hoeveelheid) koolstof, bijvoorbeeld in een reageerbuis; na verwarmen heeft een exotherme reactie plaats, waarbij een roodachtig produkt ontstaat;



e. via koper(II)acetaat<sup>4</sup>; na oplossen van het koper(II)oxide in azijnzuur wordt de overmaat oplosmiddel afgedampt en het verkregen residu door

verder verwarmen in een niet te brede buis ontleed; het gevormde kopermetaal vormt gedeeltelijk een fraaie koperspiegel



Kombinatie van de werkwijzen 1 en 3e (waarbij de vorming van koper(II)oxide wordt overgeslagen) leidt tot het volgende, speciaal aanbevolen voorschrift:

Overgiet koper (bijvoorbeeld 1 g; poeder, krullen of stukjes) met een mengsel van verdund azijnzuur (ca 2 cm<sup>3</sup>; 25 massa % = 4 M) en waterstofperoxide-oplossing (ca 2 cm<sup>3</sup>; 5 %). Verwarm tot de reactie op gang komt en laat enkele minuten reageren. Filtreer of giet de vloeistof af en damp in tot bijna droog. Verhit het gevormde koper(II)acetaat in een reageerbuis tot het ontleed is en er een soort koperspiegel is ontstaan.

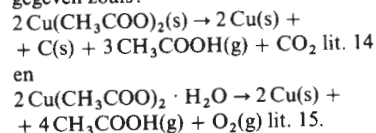
De proef is ook kwantitatief uit te voeren, bijvoorbeeld met een stuk koperdraad dat onderaan spiraalsgewijze gewonden is en iets langer is dan de pyrex reageerbuis die als reaktievat dient.

Buis en draad worden vóór en na de proef gewogen. Na de reactie wordt de spiraal met enkele druppels water afgespoeld en gedroogd; oplossing en spoelwater worden zonder verlies van materiaal in de buis ingedampt en het acetaat wordt ontleed.

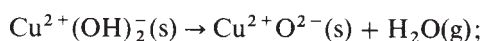
Experimentele resultaten (kwantitatief):

hoeveelheid opgelost koper (in mg)	hoeveelheid teruggewonnen koper (in mg)
51	51
60	59
62	64
63	65

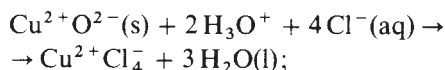
\*\* in de literatuur worden ook andere reactievergelijkingen gegeven zoals:



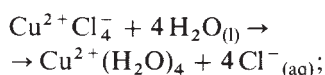
c. Verwarm het lichtblauwe mengsel voorzichtig tot het neerslag geheel zwart is;



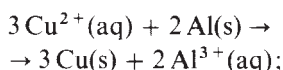
d. Los het neerslag op door 25 cm<sup>3</sup> verdund zoutzuur (ca 6 M; 1 vol. gekoncentreerd zuur + 1 vol. water) toe te voegen;



e. Voeg aan de groene oplossing 50 cm<sup>3</sup> water toe:



f. Voeg wat aluminium (stukjes keukenfolie; ca 0,5 g) toe aan de bij e verkregen blauwe oplossing en schud tot de oplossing kleurloos is;

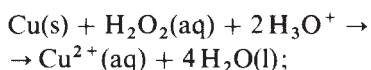


g. Los eventueel overgebleven stukjes aluminium op met een kleine hoeveelheid verdund zoutzuur. Filtreer en was het rode koperneerslag op een vooraf gewogen glas- of papierfilter, eerst met water, daarna met aceton of ethanol; droog filter en neerslag bij 100° C. weeg en bereken de massa van het kopermetaal.

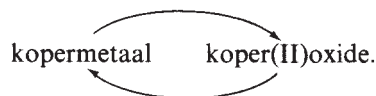
Een vrijwel identieke kringloop, waarin zink in plaats van aluminium wordt gebruikt, is enkele jaren geleden beschreven<sup>13</sup>. Bij deze cyclus zijn de volgende *kanttekeningen* te maken:

1. Het gebruikelijke oplossen van kopermetaal in salpeterzuur heeft het nadeel dat giftige gassen vrijkomen (NO, NO<sub>2</sub>) zodat dit de proef als leerlingexperiment minder geschikt maakt.

Een veiliger manier van oplossen is gebruik te maken van verdund zoutzuur of zwavelzuur waaraan een oplossing van waterstofperoxide is toegevoegd, waarbij het metaal exotherm in oplossing gaat (zodanig na enig verwarmen);

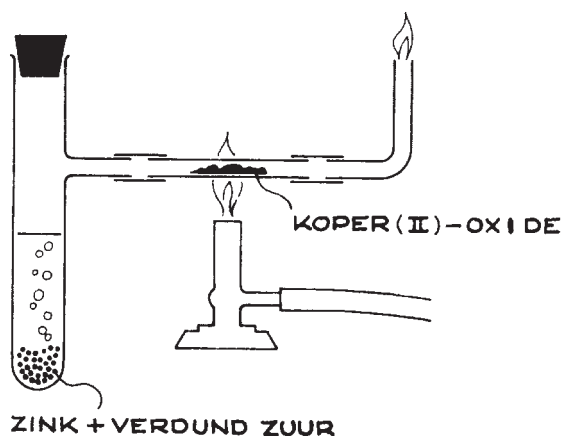
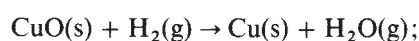


2. Natuurlijk is het ook mogelijk en misschien wel instruktiever om niet alle stappen in de bovenbeschreven kopercyclus uit te voeren maar de kringloop kort te sluiten en bijvoorbeeld te beperken tot



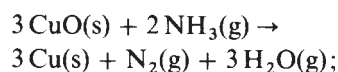
3. Het terugvormen van kopermetaal uit koper(II)oxide kan op diverse wijzen worden uitgevoerd:

a. met waterstofgas dat bijvoorbeeld uit zink en verdund zuur wordt bereid in de simpele opstelling van figuur 1 (eerst lucht met waterstofgas verdrijven; dit controleren door ontwijkend gas in omgekeerde reageerbuis op te vangen en buis bij vlam te houden; minder geslaagd als leerlingproef);

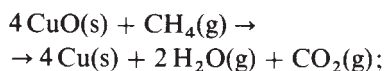


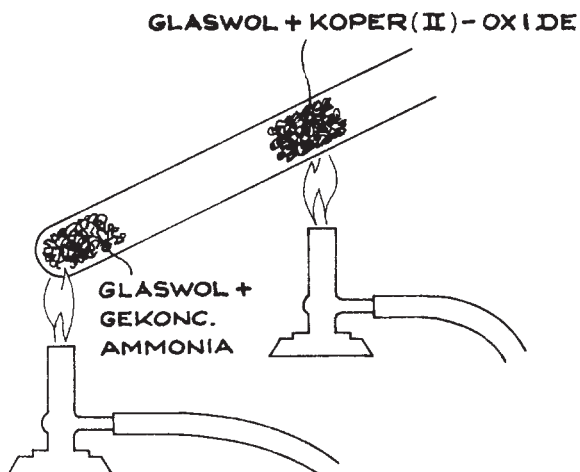
figuur 1 reactie van koper(II)oxide met waterstofgas

b. met ammoniak, bijvoorbeeld in de reageerbuisproef van figuur 2;

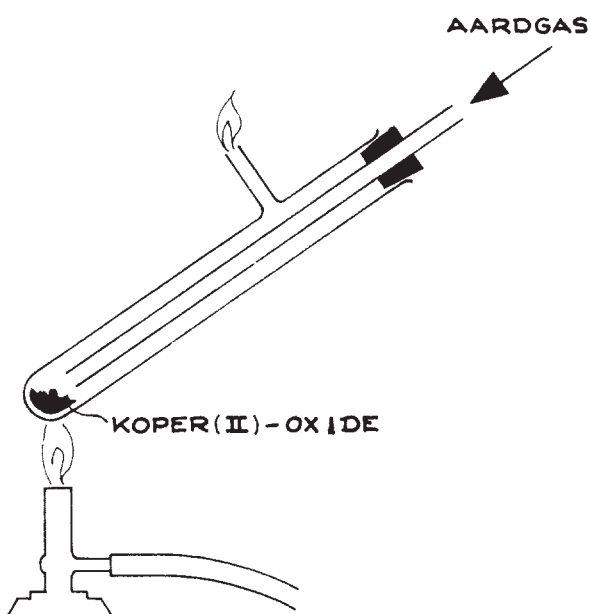


c. met aardgas, bijvoorbeeld in de reageerbuisproef van figuur 3;



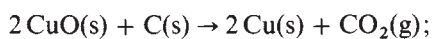


figuur 2: reactie van koper(II)oxide met ammoniak



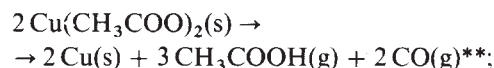
figuur 3: reactie van koper(II)oxide met aardgas (methaan)

d. met (een nauwkeurig afgewogen hoeveelheid) koolstof, bijvoorbeeld in een reageerbuis; na verwarmen heeft een exotherme reactie plaats, waarbij een roodachtig produkt ontstaat;



e. via koper(II)acetaat<sup>4</sup>; na oplossen van het koper(II)oxide in azijnzuur wordt de overmaat oplosmiddel afgedampt en het verkregen residu door

verder verwarmen in een niet te brede buis ontleed; het gevormde kopermetaal vormt gedeeltelijk een fraaie koperspiegel



Kombinatie van de werkwijzen 1 en 3e (waarbij de vorming van koper(II)oxide wordt overgeslagen) leidt tot het volgende, speciaal aanbevolen voorschrift:

Overgiet koper (bijvoorbeeld 1 g; poeder, krullen of stukjes) met een mengsel van verdund azijnzuur (ca 2 cm<sup>3</sup>; 25 massa % = 4 M) en waterstofperoxide-oplossing (ca 2 cm<sup>3</sup>; 5 %). Verwarm tot de reactie op gang komt en laat enkele minuten reageren. Filtreer of giet de vloeistof af en damp in tot bijna droog.

Verhit het gevormde koper(II)acetaat in een reageerbuis tot het ontleed is en er een soort koperspiegel is ontstaan.

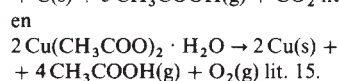
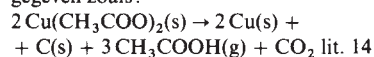
De proef is ook kwantitatief uit te voeren, bijvoorbeeld met een stuk koperdraad dat onderaan spiraalsgewijze gewonden is en iets langer is dan de pyrex reageerbuis die als reactievat dient.

Buis en draad worden vóór en na de proef gewogen. Na de reactie wordt de spiraal met enkele druppels water afgespoeld en gedroogd; oplossing en spoelwater worden zonder verlies van materiaal in de buis ingedampt en het acetaat wordt ontleed.

Experimentele resultaten (kwantitatief):

hoeveelheid opgelost koper (in mg)	hoeveelheid teruggewonnen koper (in mg)
51	51
60	59
62	64
63	65

\*\* in de literatuur worden ook andere reactievergelijkingen gegeven zoals:





*Literatuur*

1. H. H. ten Voorde, *Faraday* **47**, 73 (1978).
  2. Ton van Antwerpen, *Faraday* **47**, 110 (1978).
  3. R. Feis, *Faraday* **48**, 43 (1979); idem, blz. 47.
  4. W. de Vos, *Faraday* **49**, 37 (1980).
  5. R. Hooykaas, *Faraday* **17**, 21 (1947).
  6. J. Vaernewijck, *Velewe* **4**, sept/okt 1959.
  7. J. Vaernewijck, *Velewe* **7**, 131 (1963); zie ook *Velewe* **20**, 10 (1976).
  8. J. Vaernewijck, *Velewe* **18**, 41 (1974).
  9. H. van de Vloed, *Velewe* **18**, 34 (1974).
  10. K. Bruggemans, *Velewe* **18**, 160 (1974).
  11. *Chemie 3 vwo/HAVO* (CMLS), blz. 39, 1978; W.N., Groningen.
  12. H. J. A. Blauw, R. H. Smit, A. J. H. Umans, *Faraday* **40**, 140 (1971).
  13. G. F. Condike, *J. Chem. Education* **52**, 615 (1975).
  14. *Gmelin's Handbuch der Anorg. Chemie*; Teil B, Lieferung 2, nr. 60; 1961, blz. 683; Verlag Chemie, Weinheim.
  15. *Naturwissenschaften im Unterricht* **28**, 151 (1980).
-