

## Het begrip scheikundig element en verdere inleiding

Sinds de Griekse tijd is de mens stevig doorgedrongen in de materiële wereld. Uit de waarnemingen van experimenten vooral in de tweede helft van de 18<sup>e</sup> eeuw en het denken daarover is men tot een geheel nieuw elementenbegrip gekomen. Stoffen zoals de zouten kunnen wij verder ontleden in twee of meer andere stoffen. Stoffen die we verder kunnen ontleden noemen we **verbindingen**. Zo kunnen wij de verbindingen koperoxide, of kwikoxide ontleden in koper, kwik en zuurstof (zie proeven 6 en 11). Deze laatste drie kunnen wij niet verder ontleden en worden de niet-ontleedbare stoffen, of de scheikundige **elementen** genoemd.

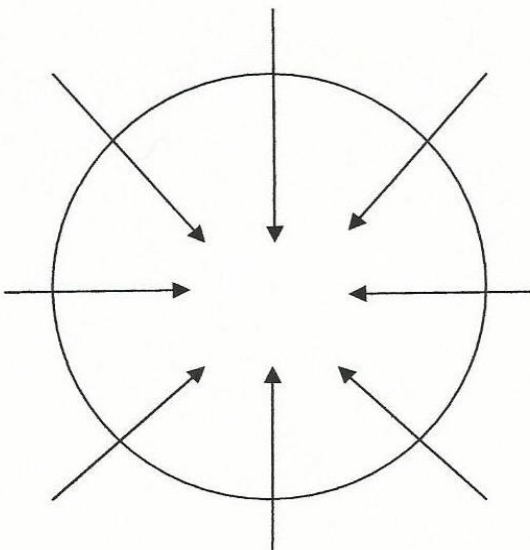
In de wereld van de scheikunde heeft men de elementen ingedeeld in het periodiek systeem. Een geniale vondst die in eerste instantie gedaan is door de Rus Dmitri Mendelejev (1834-1902). Hij rangschikte de elementen naar opklimmend relatief gewicht. Het geeft voor een deel hun eigenschappen aan en ook het verband tussen de verschillende elementen. Maar in dit model is geen samenhang te vinden van de elementen met hun werkzaamheden in de dode en levende natuur. Voor de scheikundigen zijn de elementen de bouwstenen van de materiële wereld. Maar voor het natuurgebeuren gaat deze "bouwsteen gedachte" niet helemaal op. Zo is in de natuur het element zuurstof zeer vaak betrokken bij allerlei stofomzettingen, maar met het element koolstof kan de natuur weinig beginnen. Wel met de verbinding van koolstof met zuurstof het koolstofdioxide of te wel het koolzuurgas. Deze stof wordt door de natuur als bouwsteen gebruikt bij de fotosynthese. Voor de natuur zijn zowel de elementen als de verbindingen de bouwstenen voor alle grote stofomzettingen.

We gaan bij de behandeling van de elementen dan ook niet uit van het periodiek systeem, maar van een ander principe. Omdat de processen van de chemische elementen en hun verbindingen zich zowel in het rijk van het leven bij plant, dier en mens als in het dode mineraalrijk afspelen, gaan wij kijken naar de kwaliteiten die overeenkomen met de krachten die ten grondslag liggen aan de levens- en doodsprocessen.

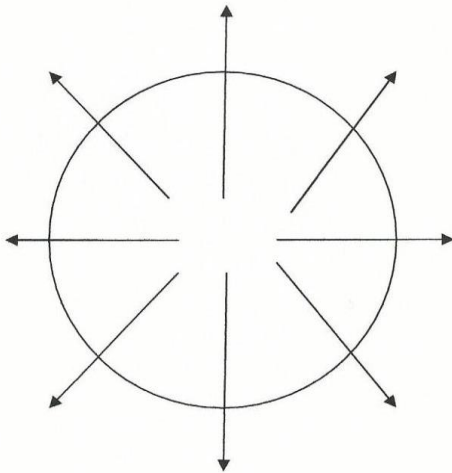
Zolang er leven is, zijn er krachten werkzaam die de op zich staande stoffen

en entiteiten, zoals licht en warmte tot één geheel maken en bij elkaar houden. Dit zijn de krachten die aan het scheppende ten grondslag liggen, of de krachten die ook de kunstenaar gebruikt om van de op zich staande dingen een compositie of er een geheel van te maken.

**Een veelheid wordt een eenheid en de richting van deze levenskrachten gaat van uit de omgeving (de kosmos) naar een centrum toe.**



Zo zien wij dat bij het groeien van een plant, licht en warmte van de zon verbonden worden met het koolzuurgas uit de lucht en water uit de grond (tijdens de fotosynthese) en zich verdichten tot glucose en zuurstof. Uit glucose worden allerlei substanties gevormd, die de plant zijn materiële verschijning geeft. De op zich staande entiteiten koolzuurgas, water, licht en warmte worden één geheel. In zo'n plant stellen wij ons het wonderbaarlijke geheel van een levend lichaam voor, waarin ieder deel met het geheel en met ieder ander deel in een voortdurende levendige samenhang staat.



Dit beeld stellen wij tegenover een lijk. Alles is verstard en koud. De levenskrachten kunnen het geheel niet meer bijeenhouden, want de doodskrachten gaan meer opspelen. Het lijk valt verder uit elkaar in stinkende gassen, slijmerige en snotachtige substanties en tenslotte blijven de botten, de zouten over. **De kwaliteiten van de doodskrachten worden gekenmerkt door het uiteenvallen in verschillende op zich staande delen. De richting van de krachten is van een centrum, waar de eenheid zich bevindt naar de omgeving toe. Een eenheid wordt een veelheid.**

Beide krachten, de levens- en de doodskrachten zijn in de natuur werkzaam. Overheersen de levenskrachten, dan hebben wij te maken met stofomzettingen in een levende plant, dier of mens. Gaan de doodskrachten overheersen, dan vallen de levende wezens uit elkaar en lossen ze op in het dode mineraalrijk. De vaste stoffen die overblijven zijn de zouten. De zouten zijn verbindingen, die uiteindelijk in de elementen ontleed kunnen worden. (zie proef 11)

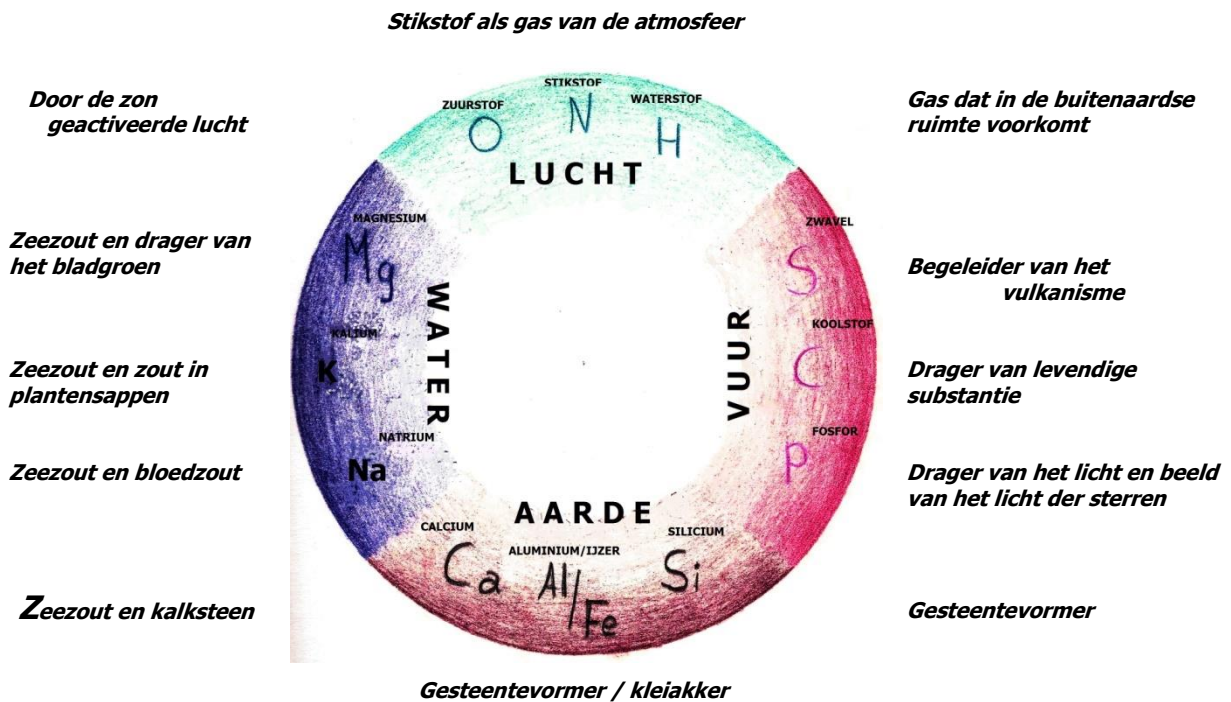
Wij sommen eerst de chemische elementen op, die als de belangrijkste ontledingsproducten van een menselijk lichaam te voorschijn komen en zetten daar hun namen en symbolen bij.

<b>Zuurstof</b>	-----	<b>Oxygenium</b>	- O
<b>Stikstof</b>	-----	<b>Nitrogenium</b>	- N
<b>Waterstof</b>	-----	<b>Hydrogenium</b>	- H
<b>Zwavel</b>	-----	<b>Sulfur</b>	- S
<b>Koolstof</b>	--- ---	<b>Carboneum</b>	- C
<b>Fosfor</b>	-----	<b>Phosphorus</b>	- P
<b>Natrium</b>	-----		- Na
<b>Kalium</b>	-----		- K
<b>Magnesium</b>	-----		- Mg
<b>Calcium</b>	-----		- Ca
<b>Silicium</b>	-----		- Si
<b>IJzer</b>	-----	<b>Ferrum</b>	- Fe
<b>Fluor</b>	-----		- F
<b>Chloor</b>	-----		- Cl
<b>Broom</b>			- Br
<b>Jodium</b>	-----		- I

Deze opsomming biedt nog geen overzichtelijk geheel. Maar drie elementen onderscheiden zich door hun wederzijdse verwantschap en door hun eigenzinnig gedrag ten aanzien van zuurstof. Dat zijn fluor, chloor en jodium, die samen met broom de vier halogenen worden genoemd. Zij hebben weinig of geen affiniteit met zuurstof en zijn bijzonder reactief.

De andere genoemde elementen worden door zuurstof aangetast en als ze met zuurstof reageren, worden ze meestal geactiveerd. Denk hier aan koolstof, dat weinig actief is, maar de verbinding van koolstof met zuurstof; koolstofdioxide of koolzuurgas, maakt deel uit van de grote stofkringloop via de fotosynthese. Stoffen die niet worden aangetast zijn meestal in passieve toestand, zoals zouten of min of meer chemisch niet in staat met zuurstof te reageren, zoals goud.

We kunnen de opgesomde elementen in twee groepen onderscheiden. De stoffen die goed met zuurstof reageren en de halogenen die weinig of niet in de natuur met zuurstof reageren. We zullen deze laatstgenoemde in het laatste hoofdstuk bespreken.



We kunnen de eerste groep vanuit het gezichtspunt van de vier Griekse elementen beschouwen. Stikstof, zuurstof en waterstof zijn gasvormig en zijn de hoofdbestanddelen van de lucht. Natrium, kalium, magnesium en calcium vormen samen de basis van de zouten in de zeeën. Zij hebben een bijzondere verbinding met het water. Silicium, ijzer en calcium zijn typische bouwers van de aardkorst. Zij zijn verwant met de aarde. Van magnesium zijn ook gesteentes bekend. Koolstof, zwavel en fosfor hebben wij leren kennen als stoffen die een speciale verbinding met het vuur hebben. Waterstof kun je hier ook toe rekenen. De bovenstaande elementencirkel geeft een schets weer van het gezegde.

Een van de meest opvallende uitzonderingen op deze regel is het element aluminium. Het is een van de belangrijkste gesteentevormers. Het maakt 7,9 gewicht % deel uit van de aardkorst, is het meest voorkomende metaal in deze sfeer en hoort in deze indeling thuis, maar het komt niet in het menselijk lichaam voor. 4,7 gewicht % van de aardkorst bestaat uit ijzer en dat is het enige zware metaal dat in goed weegbare hoeveelheden in de ontledingsproducten van ons lichaam voorkomt. Veel van de overige zware metalen zijn in het menselijk lichaam aantoonbaar, maar komen in nauwelijks weegbare hoeveelheden voor. Wat betreft aluminium en ijzer kun je de indruk krijgen, dat er in ons lichaam een soort "ruil" heeft plaatsgevonden tussen ijzer en aluminium. Beide metalen zetten wij op de onderste plaats van onze elementencirkel. IJzer en de andere zware metalen zullen wij in een ander verband gaan bespreken.

De genoemde elementen kunnen wij als vertegenwoordigers van alle natuurgebieden opvatten op grond van de samenhang tussen de eigenschappen van deze stoffen en het geheel van de natuur. Deze uitspraak illustreren wij aan de hand van de volgende proef:

“In een schaalje nemen wij een stukje van het metaal natrium. Wij laten het open aan de lucht staan. We zien het verdwijnen en na een paar dagen blijft er een waterige, snotterige vloeistof over” (zie proef 19).

Het stukje natrium wordt uit het meest voorkomende zeezout (natriumchloride) gewonnen. Het stukje natrium is als het ware in staat een klein stukje zee te vormen. Algemeen kunnen wij zeggen dat vele kenmerkende eigenschappen van de elementen uit onze cirkel afgeleid kunnen worden of overeenkomen met de natuurgebieden waar ze vooral uit voortkomen. Schetsmatig kunnen wij in de elementencirkel enkele kenmerkende kwaliteiten van de elementen weergeven, die bij de behandeling van de desbetreffende elementen uitvoeriger behandeld gaan worden.

Gaan we nu terug naar de mens, dan kunnen we zien dat het menselijk lichaam kan worden ontleed in stoffen die samen het geheel van de natuur vertegenwoordigen. Wat van oudsher door de overlevering tot uitdrukking is gebracht, treedt hier opnieuw naar voren. De wereld is vergelijkbaar met een uiteengevallen mens en de mens is een samenvatting van de wereld. De mens staat tegenover de wereld als een microkosmos tegenover de wereld als macrokosmos.

Wij zullen de eigenschappen van de te behandelen elementen alleen kunnen begrijpen, als wij letten op hun samenhang met het geheel van de natuur en het menselijk lichaam. Wij zoeken de oorzaken van bepaalde eigenschappen niet in de kleinste theoretische deeltjes van een element het atoom, maar in de plaats en de opgave die het element heeft in het grote natuurgeheel. Daarmee wordt niet gezegd dat er geen samenhang bestaat tussen de eigenschappen en de atomaire structuur van een element, maar deze structuur is niet de oorzaak, maar hoogstens een gevolg van de plaats en de opgave die het element in het grote natuurgebeuren inneemt.

## WATERSTOF – HYDROGENIUM – H

### Proef 7 Waterstofballon:

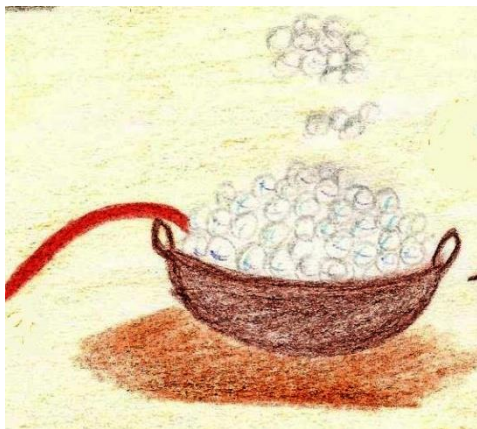


We nemen een ballon en vullen deze met waterstof een kleurloos, reukloos gas zonder smaak dat we uit een cilinder laten stromen. We knopen de ballon dicht en laten deze los. Meteen stijgt hij op en blijft tegen het plafond hangen. Nu houden we een brandend kaarsje op een stok erbij. We horen een doffe klap, zien een oranje vlam en in rondte zien we stukken van de ballon op grond liggen.

### Proef 8 Waterstof in de mond laten stromen en dan spreken:

Via een slangetje dat verbonden is met de waterstofcilinder laten we het gas in de mond stromen. We gaan spreken en we horen dat de stem in een hoog tekenfilmachtig stemmetje veranderd is.

### Proef 9 Waterstof branden:



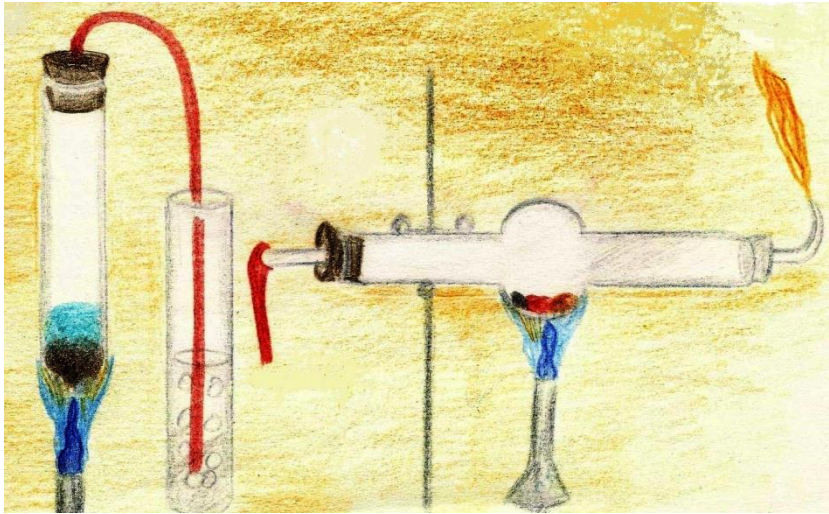
We nemen een wok gevuld met water wat afwasmiddel Dreft en leiden via een slang er waterstof in. Het gaat borrelen, er ontstaan zeepbellen boven het wateroppervlak, waarvan een deel zich daarvan losmaakt en naar het plafond opstijgt. Als we er een brandende lucifer in gooien horen we een zovend geluid van "whsssjt" en zien we een oranje gekleurde vlammenzuil, die veel warmte geeft.

### Proef 10 Waterstof en zuurstof:



We herhalen de vorige proef, maar nu leiden we eerst het gas zuurstof in de zeepoplossing, dan het waterstofgas. We zien een enorme zeepsop bellenberg boven de vloeistof. We halen de gaslangen uit de vloeistof, gooien er een brandende lucifer in. We horen een enorme scherpe knal en zien een grote vlammenzuil.

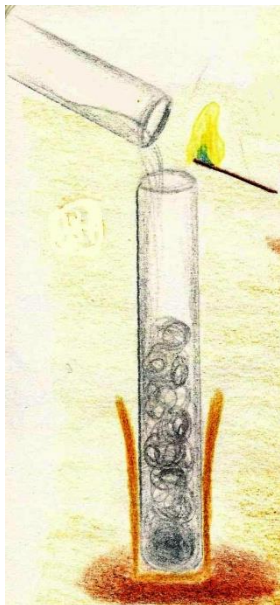
### Proef 11 Van kopercarbonaat naar koper:



We nemen een reageerbuis met het mintgroen gekleurde vaste kopercarbonaat en daarop een doorboorde stop met een slangetje, die we leiden naar een reageerbuis met helder kalkwater daarin. Met de brander verhitten we het kopercarbonaat en we zien belletjes in het

kalkwater dat even later troebel wordt. Het groene kopercarbonaat is veranderd in een zwart bruine stof. Van deze stof nemen we enkele schepjes en doen dat in de bolling van een bolgloeibuisje, dat we via een mannetje en een klem aan een statief hebben bevestigd. Nu laten we aan de linkerkant er waterstofgas doorheen stromen en steken dat na een tijdje bij het rechtertuitje aan, dat met een geel oranje vlam gaat branden. We verhitten de bruinzwarte stof met de brander in de bolling van het buisje. Rechts ervan ontstaat condens en de stof gaat gloeien. Na afkoeling blijft er een rode kopergekleurde stof over.

### Proef 12 De labbereiding van waterstof:



We nemen een reageerbuis in een reageerbuisrek met daarin wat lichtgrijs gekleurd zinkpoeder. Uit een reageerbuis gieten we een scheut verdund zoutzuur erbij. Onmiddellijk gaat het geheel borrelen en als we er een brandende lucifer boven houden, dan horen we de typische "waterstofkef". Als wij voldoende zoutzuur hebben toegevoegd, zien wij een heldere vloeistof en is het zink verdwenen.

## **DE KARAKTERISERING van WATERSTOF - H<sup>2,9</sup> en 12**

Uit de proeven valt ons het eerste op dat waterstof een kleurloos, reukloos gas is zonder smaak, dat het enorm brandbaar is en dat het weg wil van de aarde. Het trekt zich niets aan van de zwaarte kracht of anders gezegd de zwaarte kracht heeft geen vat op dit gas. Bij kamer temperatuur heeft een liter van dit gas een gewicht van 0,090 gram. Het is het lichtste element dat we kennen en het komt dan ook in overvloed voor in de ruimte tussen de planeten en de sterren. Deze ruimte tussen de sterren en planeten is zeer ijl, maar geen lege ruimte. Het bestaat voor 60% uit waterstof, 38% uit het edelgas helium, 2% uit andere elementen, licht, warmte en verschillende vormen van straling. Op aarde komt het weinig als vrij element voor. Bij bepaalde rottingsprocessen en door de ontleding van water diep in de aarde onder hoge druk en hoge temperatuur bij thermische bronnen komt waterstof vrij. Het maakt dan 0,01 volume % deel uit van de atmosfeer. Meer dan 2/3 deel van het aardoppervlak wordt gevormd door water van de zeeën en oceanen. Aangezien water een verbinding van waterstof en zuurstof is, komt hier het merendeel van waterstof voor. Ook zijn naam hydrogenium wat het ontstaan van water betekent, is hieraan afgeleid. In het gesteente komt waterstof in kristalwater van zouten, in zuren en hydroxide groepen van glimmers en hoornblende voor. Ook in koolwaterstoffen, zoals aardolie en aardgas producten treffen we waterstof als verbinding aan. In de levende natuur zien we het terug in de koolhydraten, eiwitten en vetten.

### **Waterstof en de warmte:**

Als we kijken naar de soortelijke warmte van waterstof valt ons op dat deze bijzonder hoog is. Deze is ruim drie keer zo groot als die van water en als we de warmte gebruiken om 1 gram waterstof 1<sup>o</sup> C in temperatuur te laten stijgen, dan kunnen we met dezelfde hoeveelheid warmte 1 gram kwik met 100<sup>o</sup> C verhogen. Geen enkele andere substantie kan zo'n grote hoeveelheid warmte in zich opnemen. Uit deze fenomenen blijkt dat waterstof een sterke relatie tot de warmte heeft. Maar behalve dat hij veel warmte kan opnemen, kan waterstof als beste van alle gassen de warmte doorgeven of geleiden. Alleen een aantal metalen kunnen dit beter doen.

Waterstof wordt bij een temperatuur van -253<sup>o</sup> C een vloeistof en bij -262<sup>o</sup> C een vaste stof. Opmerkelijk is dat de dichtheid van vast waterstof lager is dan die van vloeibaar waterstof, zodat vast waterstof op het vloeibare drijft. Dit verschijnsel zien we ook terug bij water, waar ijs de vaste vorm van water op water drijft. Gaan we 1 gram waterstof verbranden, dan komt daar de meeste warmte vrij in vergelijking met andere brandstoffen met dezelfde gewichtshoeveelheid als we die volledig gaan verbranden. Ruim 2,5 keer meer de hoeveelheid warmte dan bij de verbranding van 1 gram methaan of 1 gram benzine, ruim 4 keer meer als we 1 gram steenkool gaan verbranden.

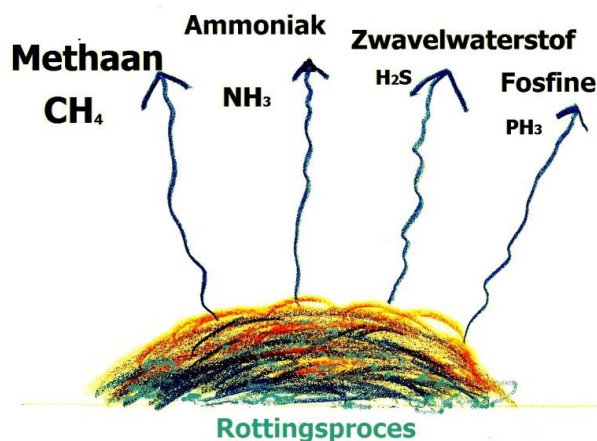


Uit deze eigenschappen kunnen we afleiden dat waterstof de representant van de warmte, uitbreiding en het lichte is in de wereld van de stoffen. Van alle elementen geeft hij het tegenovergestelde van het materiële weer. Waterstof is de materie die het meest met het imponderabele verschijnsel warmte overeenkomt.

### De waterstof kringloop

Niet alleen bij thermische bronnen wordt uit water waterstof gevormd, maar ook in de hogere luchtlagen. Daar is de lucht ijl en het ultra violet licht van de zon is zeer sterk actief werkzaam. Door dit licht kan waterdamp in de wolken ontleed worden in waterstof en zuurstof. Al dat vrijkomende waterstof vliegt weg van de aarde het heelal in. In het begin van de 20<sup>e</sup> eeuw hadden een aantal geleerden de gedachte dat in de loop van miljarden jaren al het water door dit proces ontleed zou moeten zijn. Hoe is het dan mogelijk dat er überhaupt nog zo veel water aanwezig is. In 1878 had men al waargenomen dat waterstof zeer veel voorkwam in de chromosfeer van de zon. Het antwoord op deze vraag kwam van de zon. Door de zonnewinden wordt per seconde miljarden kilo's substantie de ruimte in geslingerd. Het allergrootste gedeelte van die materie bestaat uit waterstof als elektrisch geladen deeltje in ionvorm ook wel proton genoemd. Zodra deze substantie in de omgeving van de aarde komt, wordt het aangetrokken door het magneetveld, dat aan de Noordpool en Zuidpool het sterkst is. Bij deze terugkeer van waterstof op aarde zien we reusachtige gordijnvormige prachtige kleurverschijnselen<sup>13</sup>. Dit verschijnsel noemen we het Noorderlicht of Zuiderlicht.

### Waterstof en het stervend leven:



Als een organisme vergaat, dan verschijnen vaak de volgende al of niet stinkende gassen: methaan of moerasgas, een verbinding van koolstof en waterstof, ammoniak, een verbinding van stikstof en waterstof, zwavelwaterstof een verbinding van zwavel en waterstof en fosfine een verbinding van fosfor en waterstof. Bij deze rottingsprocessen maakt waterstof met koolstof, zwavel en fosfor en stikstof verbindingen, die vluchtiger

zijn, zodat ze kunnen "ontsnappen." Uit deze fenomenen kunnen we zeggen, dat als waterstof zich verbindt met andere elementen deze vluchtiger worden. Er is een grote uitzondering. Als waterstof zich met zuurstof verbindt, dan ontstaat er water, dat een vloeistof is en daarmee zwaarder dan zuurstof. Dit geldt ook als waterstof zich met plantaardige of dierlijke oliën verbindt. We noemen dit: het harden van vetten. De vloeistoffen worden, naarmate de hoeveelheid waterstof in de verbinding toeneemt, stroperiger en uiteindelijk vast.

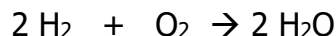
## Geschiedenis van waterstof:

In 1671 beschreef de Iers-Engelse chemicus Robert Boyle in een publicatie een brandbaar gas dat vrijkwam bij de reactie van ijzer met een verdund zuur. In 1766 wordt waterstof door Henry Cavendish ontdekt. Hij verkreeg het gas door verschillende metalen ijzer, zink en tin met verschillende zuren te laten reageren. Voor hem was waterstof flogiston, het brandbare principe<sup>11</sup>. In 1784 bericht hij aan de Royal Academy het volgende: "Het schijnt dat naar hoogste waarschijnlijkheid gedeflogistoneerde lucht (nu noemen we dat zuurstof) water is waar het flogiston (nu waterstof genoemd) aan onttrokken is en dat water samengesteld is uit gedeflogistoneerde lucht (zuurstof) met flogiston (waterstof)." In 1783 geeft Antoine Laurent Lavoisier aan waterstof de naam hydrogenium, dat het ontstaan van water betekent. Tot op heden wordt deze naam nog gebruikt. Het symbool van waterstof H is van deze naam afkomstig. Rond 1800 verkregen twee geleerden uit de elektrolyse van water zuurstof en waterstof. Als ze deze twee gassen met elkaar lieten reageren, ontstond weer water gepaard gaande met een explosie. (zie proef 10)

Laten we nu kijken hoe waterstof met zijn omgeving reageert, hoe het grootschalig en kleinschalig gemaakt wordt, hoe je het gas kan aantonen om tenslotte met zijn toepassingen in onze samenleving te eindigen.

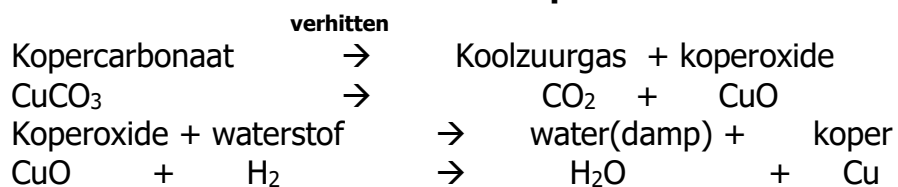
## Chemische aspecten van waterstof:

### 1) **Waterstof + zuurstof → waterstofoxide = water** (proeven 7, 9 en 10)



Vandaar de naam waterstof; hydrogenium, dat het ontstaan van water betekent. Bij proef 10 hoor je een enorme knal. Vandaar dat het mengsel van 2 delen waterstof en een deel zuurstof knalgas genoemd wordt.

### 2) **Waterstof als reductie middel zie proef 11**



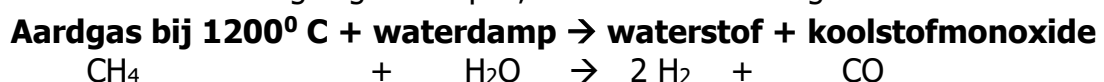
### 3) **Waterstof kan met diverse metalen hydriden vormen. Vooral met het metaal palladium heeft waterstof een intense relatie.**

## Technische bereiding van waterstof

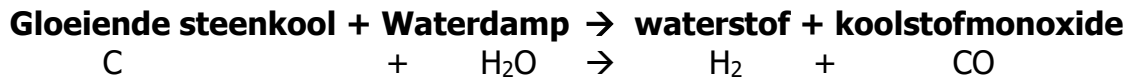
- 1) In landen waar de elektriciteit goedkoop is, wordt waterstof gemaakt door middel van elektrolyse. We voegen natronloog toe om de stroom te geleiden. (zie zuurstof bereiding)



- 2) In landen waar aardgas goedkoop is, zoals in Nederland gaat het zo:



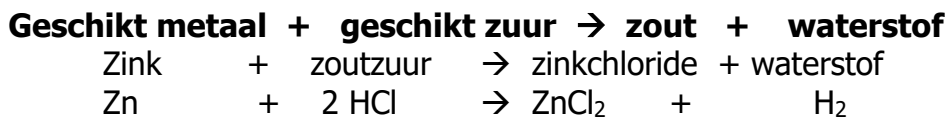
3) In landen waar steenkool goedkoop is, gaat het als volgt:



Het mengsel waterstof en koolmonoxide werd lichtgas genoemd. Voordat de elektriciteit zijn intrede deed werden de straten en de huizen in de grote steden met dit brandend gasmengsel verlicht. Tot in het begin van de zestiger jaren van de vorige eeuw werd in Nederland nog volop steenkool gedolven in Zuidlimburg. Tot die tijd werd het gas, een mengsel van waterstof en koolmonoxide, waar mijn ouders op kookten in de gasfabriek gemaakt. Het was dan ook door de aanwezigheid van het koolmonoxide zeer giftig. Het huis werd verwarmd met steenkolen en later met stookolie, voor dat het aardgas in Nederland zijn intrede deed.

### Laboratoriumbereiding van waterstof (zie proef 12)

Voor kleinschalig gebruik maken we waterstof in het Kipptoestel.



### Het aantonen van waterstof:

We vangen het gas op in een reageerbuis en houden dan de opening van de buis in de vlam. Je hoort dan een kef.

### Toepassingen van waterstof:

- Veel waterstof wordt gebruikt voor de productie van ammoniak, waaruit het salpeterzuur en het kunstmest ammoniumnitraat vervaardigd worden.
- In de margarine-industrie wordt waterstof gebruikt om dierlijk en plantaardige oliën te harden tot vetten.
- Om methanol te maken.
- Als raketbrandstof
- Vulling van (reclame) ballonnen en zeppelins.
- De isotopen van waterstof deuterium en tritium worden gebruikt in de experimentele kernfusie reactoren zoals Iter. (Een isotoop van een element heeft dezelfde chemische eigenschappen als het element, maar heeft een ander gewicht. Deuterium weegt 2x zo zwaar en tritium 3x zo zwaar dan waterstof.)
- Waterstof isotoop tritium wordt in kernreactoren geproduceerd en is nodig voor de fabricage van waterstofbommen.

## Waterstof en de toekomst:

Volgens Jeremy Rifkin<sup>14</sup> was steenkool de energiedrager van 19<sup>e</sup> eeuw, aardolie van de 20<sup>e</sup> eeuw en zal waterstof het worden van de 21<sup>e</sup> eeuw. Het voordeel is dat het verbrandingsproduct van waterstof water is. Hierdoor krijg je geen broeikas effecten en werkt dit ontlastend op het milieu. De elektriciteit die voor het elektrolyseproces gebruikt wordt, dient dan wel "groen" opgewekt te worden uit wind, of zonne energie. Door het vulkanisme beschikt IJsland over grote hoeveelheden geothermische energie. Met behulp van deze warmte als de temperatuur 1800<sup>o</sup> C of hoger is, kan water ontleed worden in waterstof en zuurstof. Als waterstof gebruikt wordt als energiedrager kan het in een brandstofcel<sup>15</sup> met zuurstof reageren. Bij deze reactie wordt in deze cel op een zeer efficiënte wijze elektriciteit opgewekt, dat gebruikt kan worden voor het elektriciteitsnetwerk of om schepen, auto's, vrachtverkeer of vliegtuigen aan te drijven.

**Voor andere elementen, zouten, zuren, basen en diverse organische stoffen zie:**

**CHEMIE in het PERIODEONDERWIJS op de VRIJESCHOOL  
Gerard Smits**

**Uitgegeven door VOK. Te bestellen via: [www.vrijeopvoedkunst.nl](http://www.vrijeopvoedkunst.nl)**

## LITERATUURLIJST:

- |    |                                |  |
|----|--------------------------------|--|
| 1  | Frits Julius                   | Grundlagen einer phänomenologischen Chemie. Stoffeswelt und Menschenbildung Teil I und II Verlag Freies Geistesleben Stuttgart 1965<br>Vertaling Cor Bakhuizen Grondslagen voor een fenomenologische chemie. |
| 2  | N.N. Greenwood and A. Earnshaw | Chemistry of the elements Pergamon Press 1984 Oxford   |
| 3  | Dr. R. Hooykaas                | Geschiedenis der natuurwetenschappen. Bohn, Scheltema & Holkema Utrecht 1976<br>Pag. 181 en verder.  |
| 4  | Dr. R. Hooykaas                | Geschiedenis der natuurwetenschappen. Bohn, Scheltema & Holkema Utrecht 1976<br>pag. 185 en verder.  |
| 5  | Ernst-Michael Kranich          | Chemie verstehen. Die Bedeutung der Elemente in Substanz-und Lebensprozessen<br>Verlag Freies Geistesleben Stuttgart 2005  |
| 6  | Noorderlicht                   | zie: <a href="http://nl.wikipedia.org/wiki/Poollicht">http://nl.wikipedia.org/wiki/Poollicht</a>   |
| 7  | Jeremy Rifkin                  | Waterstofeconomie Lemniscaat Rotterdam 2004  |
| 8  | brandstofcel                   | zie: <a href="http://nl.wikipedia.org/wiki/Brandstofcel">http://nl.wikipedia.org/wiki/Brandstofcel</a>   |
| 9  | Parcifal                       | Opera van Richard Wagner<br>1 <sup>e</sup> bedrijf Gurnemans antwoordt Parsifal op weg naar de graalsburcht.   |
| 10 | Holleman en Wiberg             | Lehrbuch der anorganischen Natur Berlin-New York 1995 blz. 549   |
| 11 | Wimmenauer W.                  | Zwischen Feuer und Wasser. Gestalten und Prozesse im Mineralreich,<br>Stuttgart 1992 blz. 70.  |
| 12 | BINAS                          | Informatieboek havo/vwo NVON-commissie 6 <sup>e</sup> editie Wolters-Noordhoff 2013<br>Groningen.  |

