

CHEMISCH WEEKBLAD

ORGAAN VAN DE NEDERLANDSE CHEMISCHE VERENIGING

INHOUD

	Blz.		Blz.
Verhandelingen, Overzichten, Verslagen	665	Personalia.	676
Dr. J. van Alphen, De omwenteling in het chemisch denken in de achttiende eeuw.		Verenigingsnieuws	677
Prof. Dr. Ir. J. Smittenberg, Jaarverslag over 1951 van de Stichting Centraal Instituut voor Fysisch-chemische Constanten.		Mededelingen van het Secretariaat. — Examens voor Analyst. — Secties. — Chemische Kringen.	
Uit Wetenschap en Techniek	675	Mededelingen van verwante verenigingen.	678
Glas en Keramiek: Dr. J. M. Stevels, International Commission on Glass. Jaarvergadering in Groot-Brittannië 1952.		Mededelingen van verschillende aard.	679
Ontvangen boeken.	676	Wij ontvingen.	679
Allerlei nieuws op chemisch en aanverwant gebied.	676	Vraag en Aanbod.	679
		Aangeboden betrekkingen.	680
		Gevraagde betrekkingen.	680
		Agenda van Vergaderingen.	680

De omwenteling in het chemisch denken in de achttiende eeuw*)

door J. van Alphen.

14:54

Geschetst wordt, hoe in de achttiende eeuw het geloof in de vier elementen van Aristoteles verdwijnt, omdat bewezen wordt, dat deze elementen of zelf weer samengesteld zijn of van onstoffelijke natuur. Dit heeft ten gevolge, dat de phlogistonleer, zelf een kind van de leer der vier elementen, moet plaats maken voor een andere leer, het „système antiphlogistique” van Lavoisier. Zeker op chemisch gebied maakt dit de achttiende eeuw tot een tijd ten minste even rijk, zo niet rijker aan belangrijke ontdekkingen dan de tegenwoordige tijden.

Als men een omwenteling wil bespreken, dan moet men vanzelf drie stadia onderscheiden: Hoe was het voor de omwenteling; hoe kwam de omwenteling tot stand en hoe verliep deze en ten slotte, hoe was de toestand na de omwenteling. Dus valt ook mijn voordracht in drie gedeelten uiteen. Ten eerste geef ik een overzicht van de chemische kennis en de theoretische opvattingen omstreeks 1700, daarna tracht ik te schetsen, hoe deze in de loop van de dan aangebroken eeuw veranderen om ten slotte te eindigen met een blik op de stand van de kennis aan het eind van de eeuw, dus omstreeks 1800.

I. *Stand van de chemische kennis en opvattingen omstreeks 1700.*

Ruwweg duizend jaar had de alchemie de geesten beheerst. Haar doel was geweest de transmutatie van de metalen, hun omzettingen in elkander en in het bijzonder in het zuiverste metaal van allen het goud. Zij had dit trachten te bereiken door te zoeken naar een katalisator voor deze omzetting, de *steen der wijzen* of het *groot magisterium* genaamd. En al was haar zoeken in dit opzicht vruchteloos geweest, in andere opzichten had het des te rijker vruchten gedragen, waarvan ik in de eerste plaats noem de door-dringing van de idee van het doelbewuste experiment, de idee, dat chemie een wetenschap is van experimenteren en niet van filosoferen. Maar daarnaast

waren ook bekend geworden de sterke zuren, de meeste zouten, potas en soda, dus met uitzondering van de gassen een groot deel van de anorganische chemie, die wij op de middelbare school opgedist krijgen, zij het versierd met een andere theoretische franje.

Maar na 1550—1600 was de alchemie langzamerhand van haar officiële luister beroofd. De geleerden verwierpen niet geheel het geloof aan de mogelijkheid van de transmutatie der metalen, maar zij schonken er geen directe aandacht meer aan.

Dit wil echter niet zeggen, dat de oude alchemie dood was, verre van dat. Zij was afgedaald tot het volk; menig schilderij getuigt er van, dat velen toenmaals zelfs hun laatste ducaat opofferden aan de geheimzinnige kunst van het goud maken. Maar zij verkeerde ook in hofkringen en talrijke, vooral Duitse vorsten, hielden er een hofalchemist op na, die moest trachten de eeuwige geldnood te lenigen door de transmutatie van lood in goud. Gelukte dit niet spoedig genoeg, dan werd hij opgehangen, maar standes-gemäsz, d.w.z. in een verguld pakje aan een vergulde galg. Een enkele maal werd door deze heren toch wel een belangrijke ontdekking gedaan; als voorbeeld noem ik *Böttcher*. Deze had koning Friedrich August van Saksen medegedeeld, dat hij in het bezit van de *steen der wijzen* was en hij werd dus met alle voorkomendheid behandeld, maar tevens voor de zekerheid in een slot bij Dresden gevangen gezet. Toen de verwachte bergen goud uitbleven, werd zijn toestand zeer critiek, maar de ontdekking van de kunst van

*) Voordracht gehouden voor de Chemische Kring Twente op 25 Februari 1952.

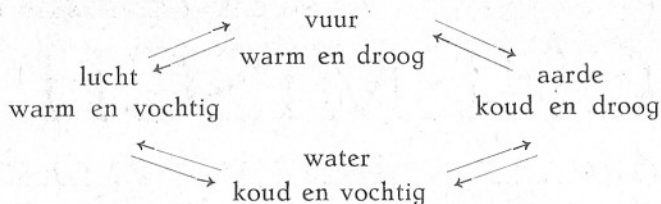
het porcelein maken, waar hij op raad van zijn gevangenisdirecteur naar had gezocht, redde hem van de vergulde galg. Toen deze zaak werkelijk succes bleek te hebben, waagde hij het in 1708 de koning zijn onvermogen te bekenen om het magisterium te bereiden. Hij kreeg vergiffenis, werd directeur van de te Meisen gevestigde porseleinfabriek, maar werd toch nog tot 1715 gevangen gehouden.

Ook de opvolgster der alchemie, de *iatrochemie* of *chemiatrie* was in discrediet geraakt. Op gezag van *Philippus Aureolus Theophrastus Paracelsus Bombastus von Hohenheim* (1493—1541), gewoonlijk kortweg *Paracelsus* genaamd, had zij geleerd, dat het doel van de scheikunde moest zijn de bereiding van geneesmiddelen. Het lichaam en de levensverschijnselen had *Paracelsus* chemisch opgevat en dus, was dit chemisme in de war en het lichaam ziek, dan konden chemische stoffen dit weer in orde brengen en hij en zijn aanhangers schreven helse steen en blauwe vitriool, sublimaat, antimoon, ijzer en loodverbindingen en zelfs arseen verbindingen voor. En de gevolgen? Daarop slaat het citaat uit Goethe's *Faust*:

Hier war die Arzenei, die Patienten starben
Und niemand fragte: wer genas?
So haben wir mit höllische Latwergen
In diesen Tälern, diesen Bergen
Weit schlimmer als die Pest getobt.

Bekend is dan ook de scherpe critiek, die de nog meermalen te vermelden Leidse hoogleraar *Hermanus Boerhaave* (1668—1738) in een academische rede in 1718 op de *iatrochemie* uitoefende. Toch had ook zij haar nut gehad, want talrijke antimoon- en arseenpraeparaten waren ontdekt, verkalking, verbranding en ademing waren als gelijkwaardige processen bekend geworden. Het begrip zout was scherper gedefinieerd en tevens de mogelijkheid begrepen dat één stof van de ene in de andere verbinding kan overgaan, al was het begrip verbinding zelf tegenover mengsel nog niet scherp vastgelegd. Maar de chemie was mondig geworden en kon zich om haar zelfs wil gaan ontplooiën. En als voorbeeld van de beoefening van de chemie om haar zelfs wil, zij het dan om den brode, maar dat gebeurt ook nu nog, zou ik willen noemen het werk van de in 1670 overleden, in Amsterdam woonachtige *Johann Rudolf Glauber*, een man door-kneed in de destilleerkunst, een bereider en verkoper van geconcentreerd zoutzuur, zwavelzuur, salpeterzuur enz., wiens naam voortleeft in het wonderbaarlijke zout van Glauber, het *sal mirabile Glauberi*.

Nu iets over de theoretische opvattingen omstreeks 1700. Op de achtergrond stond nog steeds de leer der vier elementen. Deze leer, misschien van oud-Indische oorsprong, was uitgewerkt door *Empedokles van Agrigent* (490—430 v. Chr.) na hem *Plato* (427—347 v. Chr.) en in het bijzonder door diens leerling *Aristoteles* (384—322 v. Chr.) tot een stelsel, dat bijna tweeduizend jaar zijn invloed op het geestesleven behield en dat ook de volledige sanctie der christelijke kerk had verkregen. Volgens deze leer waren alle stoffen opgebouwd uit vier elementen, die als dragers van eigenschappen voorgesteld moesten worden:



die volgens de pijlen in elkander omgezet konden worden omdat hierbij slechts een eigenschap veranderde, maar niet bijv. in de richting aarde $\rightleftharpoons$ lucht of water $\rightleftharpoons$ vuur, omdat hierbij twee eigenschappen moesten veranderen. Dit aantal der elementen was zelfs wiskundig te bewijzen. Er zijn 4 eigenschappen, maar daar warm en koud, en droog en vochtig elkaars tegengestelden zijn, zijn er maar vier combinaties mogelijk! Een lichaam was dus smeltbaar door zijn gehalte aan water en wat in het vuur niet vervluchtigde was de aarde. Lood bevatte aarde, want verhitte men lood langdurig dan ging het in aarde (het loodoxyde) over. Maar goud, bestand tegen vuur bevatte geen aarde. Kon men dus de aarde uit lood verwijderen of het aardachtige in water omzetten, zo zou men goud verkregen hebben. Impliciet was dus het vuur als de grote scheider aangenomen, het vuur loutert, zeggen wij ook nu nog en deze opvatting vereiste weer, dat ketters verbrand moesten worden.

De alchemisten hadden deze opvattingen iets scherper omschreven en zo waren volgens de beroemde *Geber* de metalen opgebouwd uit een principe der plasticiteit en metaalglans, dat de naam kwikzilver had en een principe der verbrandbaarheid, de zwavel. Hierbij voegde men later nog het principe der onverbrandbaarheid, zout.

Zo zegt *Paracelsus*:

Nempt ein Anfang von Holtz, dasselbig is ein Leib, Nun lass brennen, so ist das da brennt, der Sulphur, dasz da raucht, der Mercurius, dasz zu Eschen wird, Sal.

De beroemde *iatrochemicus Johan Baptist van Helmont*, de Zuidnederlandse edelman, die van 1577—1644 leefde en die een man was „in wien grondige vorming en nuchtere waarneming met waarachtig bijgeloof en overgave aan phantastische leringen op de vreemdste wijze gemengd waren”, had het getal der elementen nog verder verminderd en terug gebracht tot één, het water, wat hij ook door een later te bespreken proef meende te kunnen bewijzen.

Tegen deze elementenleer kwam nu de beroemde Engelse geleerde *Robert Boyle* (1626—1691) op in zijn in 1661 verschenen boek *Chymista scepticus*, de sceptische chemicus, met de ondertitel: *Chemisch-physische twijfel en paradoxen, waardoor de meeste scholastici trachten te bewijzen, dat hun zout, zwavel en kwikzilver de ware principes der stof zijn*. Verschillende vragen stelt hij in deze verhandeling, welke met hun antwoorden het noemen waard zijn:

1e. Is het vuur de algemene analysator van alle stoffen?

Neen, want het vuur kan zeer verschillend werken, al naar zijn graad van hitte. Kamfer kan in een kleurloze vloeistof (smelting), in kleurloze kristallen (sublimatie), maar ook in een donker gekleurde teer veranderd worden (ontleding). Ook verhitting in een open of gesloten vat maakt een groot verschil en van *Helmont* heeft reeds gevonden, dat men hout-

kool gedurende geruime tijd in een gesloten vat kan verhitten zonder dat het verandert.

2e. Zijn de verhittingsproducten werkelijk elementen of grondstoffen?

Neen, want onder de invloed van de warmte kunnen de stoffen zich weer tot nieuwe verbindingen te samen voegen. Zo geeft menie (uit lood door verhitting ontstaan) met azijnzuur (door verhitting uit hout ontstaan) de loodsuiker, die echter zelf bij verhitting geheel andere stoffen teruggeeft.

3e. Is het aantal elementen werkelijk 3, 4 of 5?

Wie heeft ooit goud in zijn elementen ontleed? Wel kan men zouten uit goud of zilver winnen, maar hieruit kan men het metaal terugwinnen, zodat deze stoffen geen elementair zout maar gemengde lichamen zijn.

4e. Bestaat er werkelijk elementair zout, zwavel of kwikzilver?

De beschrijvingen hiervan zijn zeer onduidelijk en zo kan ieder distillaat kwikzilver of zwavel genoemd worden, terwijl zij toch sterk verschillen.

En dan komt de meest sceptische vraag van de sceptische chemicus:

5e. Bestaan er wel elementen of grondprincipes?

Op deze vraag weet *Boyle* niet met ja of neen te antwoorden, want wat gewoonlijk een element genoemd wordt is veelal een mengsel of het is onzuiver.

Wel geeft hij een definitie van elementen: Oorspronkelijke, eenvoudige nietgemengde lichamen; daar zij niet uit elkander of uit andere lichamen gemaakt zijn, zijn zij de bestanddelen, uit welke alle zogenaamde volkomen gemengde lichamen (verbindingen) opgebouwd zijn en in welke deze laatste ontleed kunnen worden.

Het boek is dus in totaal meer afbrekend dan opbouwend, het trekt bijzonder de aandacht, maar invloed heeft het voorlopig niet.

Want bij de overgang van de zeventiende naar de achttiende eeuw wordt de heersende theorie de *phlogistontheorie*, die in de beginne een echte vuurtheorie is en als zodanig een kind van de zout-zwavel-kwik theorie en een kleinkind van de Aristoteliaanse elementenleer. En het kind heeft zijn vader ook niet verloochend.

Want *Georg Ernst Stahl* (1660—1734), hoogleraar te Halle en lijfarts van de koning van Pruisen, stelde haar voor, zij het ook zeker te bescheiden, als een direct uitvloeisel van een theorie van zijn leermeester *Becher*, die aangenomen had, dat brandbare lichamen een vette aarde, een terra pinguis bevatten en dat deze de oorzaak was van de brandbaarheid. *Stahl* nu veronderstelde, dat de verandering der stoffen bij verbranding, verkalking, ademing, rotting of gisting daardoor veroorzaakt werd, dat een onbekende stof of een onbekend principe ontweek, het *phlogiston*. Dit *phlogiston* was dus niet geïsoleerd, maar stoffen, die verbranden zonder as achter te laten, moesten er bijzonder rijk aan zijn en zo was bijv. roet bijna zuiver *phlogiston*. Metalen waren dus samengestelde lichamen opgebouwd uit metaalkalk en *phlogiston*. Bij het roesten ontweek dit laatste en de metaalkalk bleef achter. Maar men kon het *phlogiston* weer aan de metaalkalk overdragen door deze te verhitten met een stof rijk aan *phlogiston*, in casu kool en dan ontstond, zoals al lang bekend was, het metaal weer terug. Deze idee van *Stahl*, de overdraagbaar-

heid van het *phlogiston* was uiterst belangrijk en bevatte de eerste kiem van een oxydatie-reductie theorie. Maar een experimenteel probleem kon hij ook oplossen: het beroemde probleem van *Stahl* — zwavelzuur in de vlakke hand (d.w.z. in korte tijd) weer om te zetten in zwavel — waaruit het door verbranden kon ontstaan. Daartoe werd het zuur met alkali geneutraliseerd en het ontweken *phlogiston* door verhitten met kool weer toegevoerd.

Er ontstond een zwavellever (natriumpolysulfide), die met een zuur weer zwavel afscheidde. En dit was de tweede belangrijke theoretische vooruitgang door *Stahl* geboekt, dat nl. zwavel zich verhoudt tot zwavelzuur als een metaal tot zijn kalk(oxyde).

De oplossing van het *Stahlse* probleem leverde tevens de oplossing van de vraag hoe zwavelzuur en alkali, die de sterkste verwantschap tot elkander hebben, weer van elkander gescheiden kunnen worden, want door verbranden van de zwavel is weer gemakkelijk zwavelzuur te verkrijgen.

Dit woord verwantschap noopt even de naam *Geoffroy de oudere* (hij had nog een jongere broer) te noemen. Deze had de stelling verkondigd dat

toutes les fois que deux substances ayant quelques tendances à se combiner l'une avec l'autre, se trouvent unies ensemble, et qu'il en survient une troisième, qui a plus d'affinité avec l'une des deux, elle s'unit en faisant lâcher prise à l'autre.

Op grond van dit beginsel had hij verwantschapstafels opgesteld, waarin namen der stoffen in kolommen waren gerangschikt onder die der in de chemie gebruikte agentia, zo dat de voorgaande de volgende uit zijn verbinding verdreef. Onder zoutzuur kwam bijv. tin, antimoon, koper, zilver, kwik, goud. Deze tabellen, die zeer de aandacht trokken, verloren echter aan betekenis toen het bleek, dat het niet mogelijk was om op deze wijze de stoffen werkelijk ondubbelzinnig te rangschikken.

Stahl zelf vond hiervan een prachtig voorbeeld, toen hij aantoonde, dat kalomel in een zilveroplossing gebracht, het laatste als hoornzilver (AgCl) neersloeg en dat het kwik in oplossing ging. Doch als men kwikzilver met hoornzilver destilleert, dan sublimeert kalomel en zilver blijft achter „Het ganse blad keert om” (1738).

Maar om op de *phlogiston* theorie zelf terug te komen. Hier was dus aan het begin van de achttiende eeuw een volkomen logisch aandoende chemische theorie ontstaan, die verklaringen gaf maar ook tot nieuwe experimenten uitlokte en die een kleine honderd jaar zijn macht over de geesten der onderzoekers behield. En zo sterk was deze macht, dat vooraanstaande *phlogistonici*, als *Cavendish* en *Priestley* (ik zal hen nader nog noemen), ofschoon zij de zuurstoftheorie van *Lavoisier* gekend hebben, zich niet tot deze bekeerd hebben.

Het bezwaar, dat nu direct tegen de *phlogiston* theorie wordt aangevoerd, dat de metaalkalk zwaarder is dan het metaal en dat dit moeilijk te rijmen valt met het ontwijken van een stof, het *phlogiston*, werd toen niet als zodanig gevoeld. Wel degelijk was deze gewichtsvermeerdering bekend, bijv. bij de verkalking van tin, maar men schonk weinig aandacht aan kwantitatieve gewichtsverhoudingen, temeer omdat een volkomen analoge wet van het behoud van volume niet bestaat. Daarbij komt, dat men dikwijls totaal gewicht en soortelijk gewicht verwarde (de metaalkalk is soortelijk lichter dan het metaal), dat men de op-

waartse druk in de lucht er bij haalde (het beroemde voorbeeld van een stuk kurk met ijzer, onder water gewogen, dat zwaarder wordt, als men er iets, nl. de kurk, afhaalt) en verder dacht men aan de mogelijkheid, dat het phlogiston negatief gewicht zou hebben, wat gezien de ontdekking van positieve en negatieve electriciteit à priori niet onzinnig was te noemen.

Het komt mij voor, dat de phlogiston theorie ten slotte voornamelijk gevallen is omdat zij een afstameling was van de elementenleer van *Aristoteles*. Toen deze niet meer te houden was moest ook de phlogistontheorie het veld ruimen.

II. De omwenteling van 1750—1790.

Ik wilde nu trachten U verder te schetsen hoe in de achttiende eeuw, een eeuw minstens even rijk aan opzienbarende ontdekkingen als de onze, deze elementen stuk voor stuk van hun troon worden gestoten.

Ik begin met de *aarde*, de drager van de eigenschap koud en droog. Reeds *van Helmont* had gezegd, dat aarde niet als onveranderlijk element mocht worden aangezien en hij had dit ook bewezen door water in aarde te veranderen. Het was de vermaarde proef met de wilgenloot. Deze werd gewogen en daarna in een bak met aarde geplaatst en geregeld met regenwater overgoten. Na enige jaren, nadat het wilgje in een wilg was overgegaan, werd hij opnieuw gewogen. Hij was aanmerkelijk in gewicht toegenomen, terwijl de gebruikte aarde nauwelijks merkbaar in gewicht was verminderd. Dus het regenwater was hierbij in aarde, in vaste substantie overgegaan! En als men de boom verbrandde, dan had men het bewijs, dat water ook in kool, in as en in de verschillende andere distillatieproducten van hout kon overgaan. Ofschoon hij hierbij de rol van de lucht vergat is hij toch een van de eersten, zo niet de eerste, die de balans consequent gebruikt.

Dit probleem, de omzetting van water in aarde houdt nog in 1770 de geesten bezig. Als men namelijk water langdurig kookt in een fles van het toenmalige glaswerk, verkrijgt men altijd een zekere hoeveelheid aardachtige materie als neerslag. Twee mannen bewezen pas in 1770 met zekerheid, dat deze „aarde” uit het glas uitgeloofd was, de physico-chemicus *Lavoisier*, doordat hij aantoonde, dat het gewicht van deze aarde juist gelijk was aan de gewichtsvermindering van het vat, de pur-sang chemicus *Scheele*, doordat hij bewees, dat de z.g. aarde chemisch uit dezelfde bestanddelen bestond als het glas.

De leermeester van *Lavoisier*, *Rouelle* (1703—1770) omschrijft duidelijker dan *van Helmont* en *Tachenius* dit vroeger gedaan hadden het begrip zout en stelt uitdrukkelijk vast, dat dit ontstaat doordat een bepaalde hoeveelheid zuur zich met een bepaalde hoeveelheid base verbindt. Terloops zij er aan herinnerd, dat *Richter* (1762—1807), getroffen door het feit, dat bij menging der oplossingen van twee neutrale zouten de oplossing in het algemeen neutraal blijft, de wet vond, dat verschillende hoeveelheden van verschillende basen, die eenzelfde hoeveelheid van een zeker zuur neutraliseren, zich onderling evenzo verhouden als de verschillende hoeveelheden der zelfde basen, die een constante hoeveelheid van een ander zuur neutraliseren, indien althans de gevormde neutrale zouten bij wederzijdse ontleding weer neutrale producten leveren. Deze wet was als een directe voorloper van de wetten van *Proust* en van *Dalton* te be-

schouwen.

Dat in kwikzilver geen aardachtige bestanddelen voorkomen en dat deze stof voldoet aan de eisen door *Boyle* aan een element gesteld, werd bewezen door *Boerhaave*.

Herman Boerhaave (1668—1738) de beroemde Leidse hoogleraar in geneeskunde is ook als chemicus zeer geprezen. Wel ligt zijn betekenis voor de chemie niet zozeer in de door hem verrichte experimenten, maar hij heeft een uitstekend leerboek der chemie geschreven, de *elementa chemiae* (1732), dat herhaalde malen herdrukt is en dat door zijn duidelijkheid en bondigheid als een baken stond in de baai der van verwarde, duistere en omslachtige alchemistische literatuur en dat talrijke generaties van chemici de weg heeft gewezen.

Maar voor ons onderwerp is van belang, dat *Boerhaave* het element van *Mercurius* aan langdurige bewerkingen heeft onderworpen. Honderden malen heeft hij het kwikzilver weer opnieuw gedestilleerd, jaren lang heeft hij het in een fles gebonden aan de stamper van een dag en nacht werkende Leidse voldersmolen laten schudden en bij al deze bewerkingen was het niet veranderd, of was het veranderd, bijv. in een grijs poeder, dan was het daaruit gemakkelijk weer terug te winnen, experimenten, die bevestigden, dat kwikzilver een element is en dat de opgaven der alchemisten omtrent de fixering van kwik niet juist zijn. *Van Helmont* had reeds kiezelzuur met soda tot waterglas omgezet en hieruit het kiezelzuur weer met zuur afgescheiden een bewijs, dat een stof in een vorm aanwezig kan zijn, waarbij zijn eigenschappen verheld zijn.

Dat er verschillende aarden zijn, volgde ook uit de meesterlijke proeven van de Engelse hoogleraar *Black* (1728—1799), die allereerst bewezen heeft, dat kalksteen (calciumcarbonaat) bij branden niet caustisch wordt omdat het de scherpe vuurmaterie opneemt, maar omdat er bij verhitting een gas ontwijkt, door hem fixe lucht genaamd, wijl het door basen gefixeerd dus vastgelegd kan worden. Bij deze proeven maakte hij in ruime mate gebruik van de balans. Hij is de eerste geweest, die een gas in gebonden toestand gewogen heeft. Door dit gebruik van de balans is hij er misschien tevens door voorbestemd geworden om in de geschiedenis ook voort te leven als de enige van de grote phlogistonici, die zich later bekeerd heeft tot de verbrandingsleer van *Lavoisier*. In dezelfde verhandeling van 1755 *Experiments upon Magnesia alba and other alkaline substances* houdt hij zich ook bezig met de door *Friedrich Hoffmann* (1660—1742) beschreven magnesia, van welke hij bewijst, dat dit carbonaat door verhitten in een vorm veranderd kan worden (magnesiumoxyde), die met zuren niet meer opbruist, maar dat magnesia in vitrioololie oplost, terwijl kalksteen daarmede wel opbruist, maar in een onoplosbaar poeder wordt veranderd. Ook had hij grote zin voor quantitative verhoudingen. Zo toonde hij bijv. aan, dat als men magnesia (het carbonaat) gloeit, het wel in gewicht vermindert, maar dat deze verminderde hoeveelheid toch dezelfde hoeveelheid zuur neutraliseert (zij het nu zonder opbruisen), die ook de oorspronkelijke hoeveelheid van de magnesia had gebonden.

Genoemde onderzoeken hebben dus het toch reeds in de loop der eeuwen wankel geworden geloof aan het element aarde doen verdwijnen, zonder dat

men daarvoor een speciaal tijdstip aan kan geven.

Nu komt de *lucht*. Hier is de val veel dramatischer te noemen. *Paracelsus* had reeds gassen van lucht onderscheiden en uit diens woord chaos heeft *van Helmont* waarschijnlijk het voor *gas* gevormd. *Van Helmont* heeft ook het gas *sylvestre* (het koolzuur) nader gedefinieerd, (het dooft een licht en dieren stikken er in) en aangetoond, dat dit ontstaat bij behandeling van kalksteen of potas met een zuur, bij verbranding van kolen, bij gisting, dat het voorkomt in de maag, in minerale wateren en in talrijke hollen in de aarde. Toch zijn *Boyle* en zijn tijdgenoten, die ook bijv. de waterstof en andere brandbare gassen kenden, er in het geheel niet zeker van, dat al deze gassen niet eenvoudig verontreinigde luchtsoorten zijn. En ook *Hales*, die de pneumatische bak uitvond en daardoor de mogelijkheid om ontwikkelaar en recipiënt te scheiden (1727) had deze zekerheid nog niet. Pas *Black* bewees, dat *fixe lucht* (koolzuur) werkelijk geheel iets anders is dan lucht (1755).

In 1766 volgde de verhandeling van *Cavendish*, *Experiments on factitious air*, waarin hij bewees, dat er werkelijk gassen zijn, die met lucht niets te maken hebben. In het bijzonder vestigde hij zijn aandacht op de brandbare lucht, de inflammable air, die *Paracelsus*, *Boyle* en *van Helmont* al gekend hadden (waterstof). Hij verkreeg deze door metalen met zuren te behandelen (een bewijs voor de phlogistonici dat de metalen samengestelde lichamen waren!) en hij bepaalde de dichtheid, evenals die van de *fixe lucht*, die sterk verschillend van gewone lucht bleken te zijn.

Maar nu eenmaal scherp bewezen was, dat er gassen waren totaal verschillend van lucht, volgden er in korte tijd meer. In 1772 werd een nieuwe luchtsoort verkregen eveneens door *Cavendish*, die de rijkste onder de natuuronderzoekers werd genoemd en de grootste natuuronderzoeker onder de rijken en die niettegenstaande hij een zeer groot fortuin bezat, uiterst bescheiden leefde (1731—1810) en zelfs men-senschuw was te noemen. Deze lucht, die hij *mephitische lucht* noemt (stikstof) en die een vlam uitdooft, wint *Cavendish* door gewone lucht herhaalde malen over gloeiende houtskool te leiden en dan over bijtende kali. Een leerling van *Black*, *Rutherford* genaamd, doet te zelfder tijd dezelfde ontdekking, maar publiceerd zijn resultaten eerder. Ook zuurstof werd tezelfder tijd ontdekt. De Zweedse apotheker *Scheele* (1742—1786) bereidde deze gassoort, door hem *aer vitriolicus* genoemd en later *vuurlicht* of *levenslucht*, reeds in 1772 en wel uit bruinsteen en zwavelzuur of uit kwikoxyde of zilveroxyde, maar publiceerde zijn resultaten pas in 1777. De Engelse predikant *Joseph Priestley* (1733—1804), die zich behalve met andere zaken ook met politiek bemoeide en die door zijn radicale neigingen in 1794 gedwongen was naar Amerika uit te wijken, verkreeg in 1774 de zuurstof door verhitting van rood kwikoxyde en stelde de voornaamste eigenschappen vast, ook dat het eigenlijk een soort verbeterde lucht was. *Cavendish* begon dus de samenstelling van lucht te bepalen bijv. door de zuurstof aan het door *Priestley* weer ontdekte salpetergas (stikstofmonoxyde) te binden, waarbij hij tot zijn verbazing vond dat goede gezonde zeelucht en de bedorven stadslucht precies dezelfde samenstelling hebben. Maar dit alles was nog geen reden om lucht tot een mengsel te verklaren. Volgens

Priestley kon lucht slechts een bepaalde hoeveelheid van de bij verbranding ontwijkende phlogiston opnemen, zodat *gephlogistoneerde lucht* (stikstof) de verbranding niet meer kon onderhouden. Daarentegen was de *gedephlogistoneerde lucht* (zuurstof) dus juist bij uitstek geschikt om de verbranding te onderhouden.

Toen *Cavendish* de samenstelling van lucht nog op een andere wijze bepaalde nl. door vonken te laten slaan door een mengsel van lucht met overmaat zuurstof in tegenwoordigheid van kali, verkreeg hij kaliumnitraat en de overmaat zuurstof kan hij weer weg nemen met een z.g. zwavellever, een oplossing van calcium polysulfide. Daarbij bleek hem, dat hij steeds een kleine gasbel overhield, die hij op deze wijze niet tot verdwijnen kon brengen en waarvan hij de hoeveelheid op 1/120 van het oorspronkelijke volume schatte. Zonder het te weten en zonder dat er verder aandacht aan geschonken werd, had *Cavendish* hier nog een ander bestanddeel van de lucht ontdekt, de edele gassen, die pas in 1894 door *Lord Raleigh* en *Ramsay* opnieuw ontdekt werden en die toen tot een hoeveelheid van 1/84 van het volume in lucht bleken voor te komen.

Door een geniale kunstgreep, nl. door het water in de pneumatische bak door kwikzilver te vervangen kon *Priestley* een gehele reeks van in water oplosbare gassen ontdekken en wel ammoniak, chloorwaterstof, silcium tetra fluoride en zwaveldioxyde. *Scheele* had ook enkele van deze gassen reeds ontdekt maar daarnaast ook chloor, zwavelwaterstof en stikstofmonoxyde, terwijl *Priestley* stikstifoxydule verkreeg door inwerking van vochtige ijzerspaanders op stikstofmonoxyde.

Terwijl dus de phlogistonici talrijke andere van lucht verschillende gassen bereidden, ook de twee bestanddelen van lucht scherp onderscheiden, maar eigenlijk niet of slechts verbloemd aan durfden geven, dat lucht een mengsel is, deed *Lavoisier*, zoals wij zullen zien deze stap wel en hij onderscheidde dan ook twee hoofdbestanddelen, die hij om dit aan te duiden ook twee verschillende, niet verwante namen gaf, oxygène en azote.

Het is te begrijpen, dat ook in deze tijd het derde element van *Aristoteles* van de troon gestoten werd, het element waarin *Thales van Milete* (600 v. Chr.) de oorsprong van alle dingen had gezocht en waarvan *van Helmont* de zelfgenoegzaamheid had bewezen met zijn vermaarde proef met de wilgenloot, het water.

Een bloedverwant van *Priestley*, *Warltire* had reeds gevonden dat als men een elektrische vonk laat slaan door een mengsel van gewone lucht en waterstof, men een vochtig aanslag op de wanden van het gebruikte glazen vat verkreeg, maar hij had dit verklaard door aan te nemen dat de lucht bij phlogistoneren zijn vochtigheid verliest.

Cavendish herhaalde de proef op grotere schaal. Hij verkreeg daarbij ongeveer 9 gram water (1783), dat smaak- en reukeloos was en volledig verdampte zonder residu achter te laten. Tevens vond hij, dat het gewicht van het gevormde water gelijk is aan het gewicht van het verdwenen gasmengsel. *Cavendish* verklaarde dit zo, dat *gedephlogistoneerde lucht* (zuurstof) water is, waaraan men de phlogiston ontrokken heeft. Voegt men aan het laatste dus phlogiston toe en hij was geneigd waterstof als zuivere

phlogiston aan te zien, dan moest men dus water verkrijgen. Hij bewees deze opvatting dan ook door zijn beroemde proef waarbij hij één volume zuurstof en twee volumens waterstof in een eudiometer liet exploderen, waarbij al het gas verdween. Hij zag echter nog een andere opvatting nl. dat waterstof een hydraat van phlogiston was. Verbond men dit met de gedephlogistoneerde lucht, dan verdwenen beide door verbinding en het hydraatwater kwam vrij. Men ziet, dat hier twee opvattingen elkaar beginnen te ontmoeten, die men als volgt zou kunnen definiëren: phlogiston onttrekken is waterstof onttrekken, wat men in 1783 de nieuwe opvatting kon noemen en de oude opvatting, phlogiston onttrekken is zuurstof onttrekken.

Als eerste had *James Watt* de conclusie durven trekken, dat water dus een samengestelde stof moet zijn. Maar het was ook weer *Lavoisier*, die consequent de gevolgtrekking maakte, dat water samengesteld is uit waterstof en zuurstof, nadat hij zelf lange tijd gezocht had naar het verbrandingsproduct van waterstof, dat naar hij dacht een zuur moest zijn, welke proeven mislukten omdat hij de verbrandende waterstof met kalkwater schudde. Terwijl de phlogistonici de metalen samengesteld hadden gedacht uit metaalkalk en phlogiston en in de reactie van metalen met zuren een verbinding van de metaalkalk met het zuur zagen, waarbij de phlogiston ontweek in de vorm van waterstof, gaf *Lavoisier* nu de verklaring, dat het water door het metaal ontleed werd, waarbij de waterstof zich met het metaal tot de kalk verenigde, die zich dan met het zuur verbond en waarbij de waterstof uit het water ontweek.

Een beslissende proef, die bij de aanvaarding van deze nieuwe opvatting, dat het element water een samengestelde verbinding was, een grote rol heeft gespeeld, is die van de twee Hollandse scheikundigen *Deiman* en *Paets van Troostwijk* (1789), die zij uitvoerden in samenwerking met de Engelse instrumentbouwer *Cuthbertson*. Zij namen een aan één zijde gesloten buis en plaatsten deze omgekeerd en gevuld met water in een eveneens met water gevulde bak. Lieten zij nu in de buis vonken overspringen tussen twee niet verkalkbare goudelectroden, dan vormde zich knalgas en de waterspiegel in de buis daalde tot de meniscus de vonkenbrug bereikte, waarna met een knal de waterstof en zuurstof samen reageerden; de buis zich weer met water vulde en het spel zich opnieuw kon herhalen, een zeer eenvoudige analyse en synthese van water dus, die overal grote indruk maakte.

En nu ten slotte het vuur.

Aan het begin van de achttiende eeuw stond de phlogiston theorie van *Stahl*, aan het eind stond de U welbekende en straks nog iets nader te bespreken verbrandingstheorie van *Lavoisier*. Beide waren in wezen eigenlijk vuur theorieën, waarbij *Stahl* zeide: vuur is ontwerpen van phlogiston, en *Lavoisier* zeide: vuur is zich verbinden met zuurstof. Daarom was het van zo bijzonder belang, dat de reeds genoemde Hollandse of eigenlijk Amsterdamse scheikundigen lieten zien, dat metalen ook kunnen branden buiten elke tegenwoordigheid van zuurstof, namelijk in zwaveldamp, waardoor de vlam verlaagd werd tot een bijkomstig verschijnsel van een chemische reactie.

Toch was er voor die tijd al veel gebeurd. Zoals

gezegd had *Black* aangetoond, dat het niet de scherpe vuurmaterie is, die de kalksteen bij branden caustisch maakt.

Verder had *Boerhaave* gevonden, dat een gloeiende ijzeren staaf het zelfde gewicht heeft als een koude, een proef die later door de schrijver *Voltaire* en in verfijnder vorm door *Lavoisier* was herhaald. Toch had *Lavoisier* de warmte nog onder zijn lijst der elementen opgenomen, zij het dan met licht als een bijzondere soort, als onweegbare elementen. Maar pas in de negentiende eeuw zal bewezen worden, dat warmte geen element is.

Count Rumford de 2e man van *Madame Lavoisier* toont dat aan, doordat hij in de loop van een kanon water aan het koken brengt door hierin gedurende lange tijd een stompe boorder te laten draaien. Als wij dan in verband hiermede aan de namen *Robert Mayer*, *Joule*, *Helmholtz* enz. denken, dan zijn wij al ver in de negentiende eeuw.

Als wij nu aan het einde van de achttiende eeuw eens stilstaan, wat zien wij dan?

De phlogistontheorie heeft de nieuwe en revolutionaire feiten op haar wijze trachten te verklaren, maar indien men, zoals zo dikwerf gedaan werd, de waterstof voor de zuivere phlogiston aanzag, dan waren de volgende moeilijkheden toch niet weg te redeneren:

- Waar bleef de phlogiston bij verkalking van metalen of verbranding van zwavel of phosphor in gesloten ruimten?
- Hoe ontstond het water bij de reductie van oxyden en hoe was de gewichtsvermindering der oxyden hierbij te verklaren?
- Hoe kon reductie plaats vinden zonder aanwezigheid van phlogiston, bijv. bij verhitting van kwik- of zilveroxyde?

III. Het eind der 18e eeuw.

Nu komen wij tot de man, die het geheel der nieuwe feiten tot een samenhangende theorie wist te bundelen, de man, die wij reeds meermalen moesten noemen, *Antoine Laurent Lavoisier*. Geboren te Villers Cotterets, een plaats in de buurt van Laons, op 26 Augustus 1743 als zoon van een advocaat te Parijs. Hij ontving een zorgvuldige opvoeding en kon zich zonder bezorgdheid om het dagelijks brood aan zijn wetenschappelijke studiën wijden, die hem reeds op 25-jarige leeftijd de toegang als adjoint tot de Académie Française verschaft. Echter, hij wordt *Fermier général*, pachter der belastingen, een ambt, dat wel rijke inkomsten opleverde, maar niet geacht was. Zijn mede-académiciens, niet zeer verrukt over deze stap, troostten zich echter naar een „on dit”, met de gedachte: *Tant mieux, les diners qu'il nous donnera seront meilleurs*. Spoedig slaagde hij er in zich bij het volk dubbel impopulair te maken door zijn voorstel om ter bestrijding van de smokkelhandel Parijs met een muur te omringen. *Le mur murant Paris, rend Paris murmurant*, fluisterde men elkander toe. Hij huwde met *Mlle Paulze*, de veertienjarige dochter van een andere *Fermier général*. Hoe gering uw kennis van de geschiedenis der chemici ook mag zijn, het einde is U zeker bekend. Op 8 Mei 1794 viel zijn hoofd onder de guillotine tegelijk met dat van 28 andere fermiers.

Of de dikwijls geciteerde woorden: *la république*

n'a pas besoin de savants, il faut que la justice suive sa course, werkelijk door de openbare aanklager *Coffinhal* gedurende het proces zijn uitgesproken, is twijfelachtig. Eigenaardig is, dat behalve door zijn vrouw, nauwelijks pogingen zijn gedaan om hem te redden. Zo deed zijn politiek meest invloedrijke vakgenoot *Fourcroy*, die hem bovendien nog tot persoonlijke dank verplicht was, op zijn zachtst uitgedrukt niets, behalve dat hij bij een pompeuze herinneringsplechtigheid twee jaar later een lofrede op *Lavoisier* uitsprak. Was men in zijn hart blij, dat men van hem af was, omdat men wel zijn genialiteit bewonderde, maar men hem niet achtte? Of was het grote gevaar, dat steeds heerst als er een ketterjacht woedt, nl. dat zodra men een woord ten gunste van iemand durft zeggen, die van ketterij beschuldigd wordt, men ogenblikkelijk op zichzelf het kenmerk ketter geplakt ziet met alle funeste gevolgen van dien, om het even of men deze kettters communist, fascist, titoïst of zoals toen aristocraat noemt?

Maar zoals *Lagrange* tegenover een vriend zeide de dag na de onthoofding: *Il ne leur a fallu qu'un moment pour faire tomber cette tête et cent ans peut-être ne suffiront pas pour en reproduire une semblable*. Door een mateloze posthume verering hebben de Fransen getracht hun fout te doen vergeten, maar het woord van *Wurz*: „*la chimie est une science Française, elle fut constituée par Lavoisier, d'immortelle mémoire*” heeft zijn nagedachtenis meer slechts dan goeds gebracht. Velen zijn het, en werkelijk niet alleen Duitsers, die hierdoor geprikkeld, er op gewezen hebben, dat *Lavoisier* eigenlijk geen enkele belangrijke ontdekking heeft gedaan, maar dat hij wel getracht heeft zich de ontdekking van sommige feiten zoals van zuurstof en van de samenstelling van water op soms geslepen wijzen toe te eigenen. Anderen hebben voor hem dezelfde ideeën reeds geuit, zo de Engelsman *Mayow*, die reeds in 1670 aannam en door proeven waarschijnlijk maakte, dat in salpeter en in lucht eenzelfde bestanddeel voorkomt, de *spiritus nitro-aëreus*, die de oorzaak der verbranding is. *Lavoisier* heeft de werken van *Mayow* gekend maar er in zijn geschriften met geen woord melding van gemaakt.

Ook nu nog dicht men hem ontdekkingen toe, die hij niet heeft gedaan. Hij heeft niet de balans in het chemisch laboratorium ingevoerd. *Van Helmont* had er al gebruik van gemaakt en het beroemde werk van *Black* steunde volkomen op de toepassing van dit instrument. Ook de wet van het behoud van de massa, *rien ne se crée, ni dans les opérations de l'art, ni dans celles de la nature et l'on peut poser en principe, que dans toute opération, il y a une égale quantité de matière avant et après l'opération; que la qualité et la quantité des principes est la même et qu'il n'y a que des changements de modification — c'est sur ce principe qu'est fondé tout l'art de faire des expériences en chimie*, was al volkomen gemeengoed geworden, nadat gevonden was, dat warmte geen gewicht heeft en ook hier noem ik *van Helmont* en *Black*, die bij hun onderzoekingen deze wet als voor de hand liggend aannamen.

Een rechtvaardig oordeel lijkt het volgende:

Lavoisier is een pachter der belastingen, die als verscheidene zijner tijdgenoten zijn vrije tijd aan de natuurwetenschappen wijdt. Hij herhaalt de proeven van anderen, maar voor een uitgebreid en uitgelezen publiek waardoor zij overtuigend werken.

Nu echter na de voorafgaande scherpe critiek de lof, die de critiek volkomen overschaduwde. Uit deze proeven weet hij gevolgtrekkingen te maken, waartoe de oorspronkelijke uitvoerders niet in staat waren en op geniale wijze weet hij ze samen te bundelen tot steun van zijn theorie.

Terwijl hij eerst niet geheel afwijzend tegenover de phlogiston theorie staat, wordt zijn bestrijding steeds heftiger om te culmineren in een tragi-comische geschiedenis.

In 1789 voerde *Lavoisier* een soort openbaar auto da fé op waarbij *Stahl* als advocatus diaboli moest optreden en zijn geschriften na veroordeling door *Madame Lavoisier* als offerpriesteres in een Grieks gewaad gehuld eigenhandig op een soort altaar werden verbrand. Ter verontschuldiging kan aangevoerd worden, dat dergelijke opvoeringen in de mode waren. Vijf jaar later was *Lavoisier* zelf het offer op een bloediger altaar!

Maar nu de ontwikkeling van *Lavoisiers* systeem. Die valt in de jaren 1772—1774. Hij herhaalt een proef van *Boyle*, hij verhit tin in een gesloten retort en vindt dat de retort niet zwaarder wordt; wordt de retort evenwel geopend, dan dringt lucht naar binnen en alles is evenveel zwaarder geworden als de tin in verkalking in gewicht is toegenomen, een proef, die 15 jaar te voren al door de Italiaanse priester *Beccaria* was uitgevoerd. Verkalking berust dus op een absorptie van lucht.

Lavoisier weet er echter verder niet recht raad mee, en schrijft aan de in de lucht aanwezige fixe lucht (koolzuur) een rol toe bij de verbranding, tot hij op een diner in Parijs *Priestley* in gebroken Frans het verhaal van de ontdekking van zuurstof hoort doen. Hij gevoelt direct het grote belang hiervan voor zijn opvatting, dat verbranding een absorptie van lucht is. Hij herhaalt de proef, meent nu ook verder dat deze van hem is en in 1777 kan hij de volgende stellingen publiceren, waarmee hij zich losmaakt van de phlogistontheorie:

De stoffen branden slechts in zuivere lucht. Deze wordt bij de verbranding gebruikt en de gewichtstoename van het verbrande lichaam is gelijk aan de gewichtsvermindering van de lucht. De brandbare stoffen worden gewoonlijk door hun verbinding met zuivere lucht omgezet in een zuur, de metalen daarentegen in een metaalkalk. Omgekeerd verwacht *Lavoisier* dus in ieder zuur zuurstof. Zoutzuur en chloor moeten oxyden zijn van een onbekend element het murium, waar jaren lang tevergeefs naargezocht is.

Waterstof als brandbare stof moest dus ook een zuur leveren, waar *Lavoisier* tevergeefs naar zocht en ook wist hij geen weg met de ontwikkeling van waterstof uit een metaal en een zuur. Maar ook hier is de fortuin hem gunstig. *Cavendish* ontdekt de samenstelling van water, *Lavoisier* herhaalt ook deze proef en kan dan zoals reeds vroeger gezegd, de waterstof-ontwikkeling verklaren uit de ontleding van het water, waarbij de zuurstof naar het metaal gaat en de gevormde kalk in het zuur oplost.

Hiermede is het sluitstuk van zijn theorie aangebracht (1783). Zij wordt samengevat in het in 1789 verschenen *Traité élémentaire de chimie présenté dans un ordre nouveau et d'après les découvertes modernes*.

In korte tijd verdringt dan ook het *système anti-phlogistique* de phlogiston theorie volkomen, behalve bij *Cavendish*, die ten hoogste wilde toegeven, dat de

nieuwe methode de zaken wel ongeveer even goed verklaarde en bij *Priestley*, die in 1800 zijn laatste geschrift het licht doet zien: *The doctrine of phlogiston established*.

Deze nieuwe theorie heeft nog een ander gevolg, waarvan men de betekenis nauwelijks kan overschatten, zij eist een nieuwe nomenclatuur. Deze groeit uit discussies met verschillende vakgenoten en wordt neergelegd in een boek, getiteld *Méthode de nomenclature chimique* (1787), geschreven door *Lavoisier*, *Cuyton de Morveau*, *Berthollet* en *Fourcroy*. Zij leidt tot namen, die nu nog in Frankrijk gebruikelijk zijn als *oxyde de cuivre*, *acide sulfurique*, *acide sulfureux*, *nitrate de plomb*, *nitrite de soude*, welke vertaald over de gehele wereld ook nu nog gebruikt worden. Maar om deze nomenclatuur te kunnen toepassen, moet men de stoffen verdelen hetgeen deze methode dan ook doet.

Ten eerste onderscheidt zij element en verbindingen. Tot de elementen behoren licht en warmte (niet stoffelijk gedacht), verder zuurstof, waterstof en stikstof als eerste klasse, de tweede klasse de niet-metalen, waaronder ook de hypothetische radicalen van vloeispaatzuur, van zoutzuur en boorzuur, van de eerste twee ten onrechte, maar van de derde volkomen juist. De derde klasse vormt de metalen, de vierde de aarden, de vijfde de alkaliën, waarvan echter reeds sterk betwijfeld werd of het wel elementen waren. In 1789 in de *Traité* worden zij dan ook niet meer onder de elementen vermeld.

Dan volgen de binaire verbindingen en wel de zuren als verbindingen tussen metalloïden en zuurstof en de basen of metaalkalken, welke uit metaal en zuurstof zijn opgebouwd. De ternaire verbindingen tenslotte zijn de zouten.

Deze rationele nomenclatuur heeft meer dan iets anders bijgedragen tot de snelle zegepraal van het systeem van *Lavoisier*. Want dit logische systeem was nauw verbonden met het *système antiphlogistique*. En thans stap ik enkele jaren verder in de negentiende eeuw. Uit zijn verbond met de zo eenvoudige atoomtheorie van *Dalton* groeide binnen een twintig jaren onder de geniale handen van *Berzelius* bijna vanzelf de moderne chemie met zijn formules, zijn atoomgewichten en verdere quantitatieve verhoudingen. Hierbij mogen wij *Klaproth* (1743—1817) niet vergeten, de ontdekker van drie nieuwe elementen uranium, titanium en cerium, die met de Zweed *Bergman* de grondlegger van de moderne analytische chemie is.

Van hem zijn de meeste trucjes der quantitatieve

analyse als drogen of gloeien der neerslagen tot constant gewicht, of opgave der analyse resultaten in onverfraaide vorm, afkomstig.

Wie de *Méthode de nomenclature chimique* aanvaardde, aanvaardde ook het nieuwe begrip element en verwierp daarmee de elementen van *Aristoteles* en dus een theorie, die bijna tweeduizend jaar, zij het in gewijzigde vorm, zijn geldigheid had behouden. Van veranderbaar waren de elementen stabiel en onveranderlijk geworden. Zij werden het blijvende deel in het spel der chemische omzettingen. Maar daartegenover verloren zij hun functie van dragers der eigenschappen. De aarde was niet meer vast (SiF_4), het water niet meer vloeibaar (Calciumhydroxyde) en de lucht niet meer vluchtig (de meeste zuurstofverbindingen), terwijl het vuur niet eens meer een stof mocht heten, waardoor het chemisch gesproken gedegradeerd was tot een bijkomend verschijnsel.

Wij hebben dus gezien, hoe in 1700 de chemie juist tot afzonderlijke wetenschap verheven, in het bezit was van een goed gefundeerde theorie, de phlogistontheorie, die de feiten goed wist te verklaren. Maar we hebben ook gezien hoe deze theorie in wezen steunde op de leer der vier elementen van *Aristoteles*. Ik heb getracht U te schetsen hoe in de achttiende eeuw deze vier elementen stuk voor stuk van hun ereplaats werden afgestoten, hoe *Black* aantoonde dat er niet één aarde was, maar dat er talrijke aarden zijn, hoe hij, *Cavendish*, *Scheele* en *Priestley* vonden dat er niet één lucht maar meer luchtsoorten zijn en zelfs dat de gewone lucht samengesteld is, hoe het water door *Cavendish* tot een doodgewone verbinding werd gedegradeerd en hoe het vuur langzaam maar zeker zijn stoffelijke betekenis verloor.

Tevens hoop ik, dat ik U er van doordrongen heb, dat ofschoon wij steeds roepen over de wonderbaarlijke uitvindingen der laatste jaren, dat er tijden in de natuurwetenschap, ook in het bijzonder in de chemie zijn geweest, die even rijk waren aan opzienbarende ontdekkingen van revolutionaire betekenis. Als wij een vergelijking treffen en daarbij het aantal onderzoekers, dat toen aan het werk was en het aantal dat er thans aan werkt in beschouwing nemen, dan kunnen wij zeggen, dat er tijden zijn geweest die vele malen belangwekkender waren dan het tegenwoordige tijdsbestek is. Een van deze tijden en in de chemie misschien wel de belangrijkste, was zeker de achttiende eeuw, zodat wij dus gerechtigd zijn te spreken van „De omwenteling in het chemisch denken in de achttiende eeuw”.