

DE HISTORISCHE ONTWIKKELING VAN HET BEGRIIP VERBRANDING

door Dr. C. W. van Hoogstraten,
scheikundige bij het Ministerie van Binnenlandse Zaken.

Van het moment af, dat de oermens zich van zijn omgeving bewust werd, moet in dit bewustzijn het vuur een belangrijke rol gespeeld hebben. In het beeld, dat de primitieve mens zich van de hem omringende natuur kon vormen, werd het vuur tot een levende eigenschap van de dingen, ja, tot die dingen zelf. De vlam, die in spiralen naar boven kronkelde en die zich als een vogel uit het vuur verhief, wordt in voorstellingen uit de oudste tijden vereenzelvigd met verschillende dieren, zoals bijv. de slang of de salamander, terwijl ook de vogel phoenix, die uit de as herrijst, hiermede in verband moet worden gebracht. Maar ook de brandstof zelf, het hout of de olie, werd rechtstreeks betrokken bij het begrip vuur en zo onderscheidt Heraclitus (576—480 v. Chr.) het vuur, dat vernietigt en het vuur, dat niet verschroeit of verzengt, maar gelijkmatig aanwezig is in alle dingen. Ook de lucht werd rechtstreeks gezien als een manifestatie van het vuur en aangezien men in die tijden de lucht reeds als iets stoffelijks had leren kennen, werd ook het vuur als iets stoffelijks gezien. Men was van mening, dat lucht bij verdunning het zuivere vuur opleverde, terwijl hieruit door verdichting water ontstond. Zo ontstond het begrip van de drie levenscheppende elementen, water, lucht en vuur, die zich manifesteerden in de rivieren en beken, de atmosfeer en het licht. Hiernaast erkent Empedocles (490—430 v. Chr.) als vierde element van de cosmos de aarde als weinig veranderlijk beginsel. In de drie eerste elementen ziet hij de drijvende en richtende krachten, die het heelal vormen en die volgens hem bestaan uit liefde (verdichtend of bindend) en

haat (verdunnend of splitsend). Aangezien deze elementen volgens hem ook steeds met het element aarde gemengd zijn, zijn ze dus ook hierin steeds aanwezig.

Volgens de opvattingen van Arestoteles (384—322 v. Chr.) kunnen de vier elementen in elkaar overgaan. Hij neemt dan ook aan, dat ze een moederstof gemeen hebben, die volgens zijn opvattingen evenwel te onstoffelijk is, om een materiëel begrip te kunnen vormen. Deze moederstof is volgens hem steeds gebonden aan de principes, die de overgang van de elementen in elkaar bewerkstelligen. Deze principes of krachten ziet hij vertolkt in de tegenstellingen warm—koud en droog—vochtig. Hoewel deze tegenstellingen volgens zijn leer onveranderlijk waren, kunnen ze volgens zijn opvattingen in elkaar overgaan en elkaar vernietigen. Deze schijnbare tegenspraak verklaart hij door aan te nemen, dat deze principes of krachten zowel werkelijk (actief) als latent of potentiëel (passief) voor kunnen komen, welke beide vormen in elkaar kunnen overgaan. Wanneer dus het actief hete principe overgaat in de passieve vorm, dan treedt het koude principe op de voorgrond enz. Zijn metamorphose-schema ziet er als volgt uit:

	VUUR	
	heet—droog	
LUCHT		AARDE
heet—vochtig		koud—droog
	WATER	
	vochtig—koud	

De overgang van passief naar actief of omgekeerd bepaalt dus de metamorphose.

Deze vier elementen vormden nu volgens Arestoteles de bouwstenen van het heelal en de hem omringende atmosfeer bestond dan ook niet zuiver uit het element lucht, maar bevatte ook de vochtig-koude uitwaseming van het water, zowel als de heet-droge rook van het vuur.

Aangezien hout lichter is dan water, kan het dus niet uit het

zuivere element aarde bestaan, maar moet het ook lucht bevatten,
dus

HOUT = AARDE + LUCHT
koud—droog heet—vochtig

en bij verbranding treedt uit:

VUUR,
droog—heet

dat zich in de vorm van een vlam of rookachtige uitwaseming
weer in de lucht oplost.

Ook toen was reeds bekend, dat de lucht bij de verbranding
een zekere rol speelde. Door het vuur zoveel mogelijk van de lucht
af te sluiten, bijv. door er een laag as overheen te brengen, kon
dit vuur sterk worden getemperd en op deze wijze tot de volgende
dag worden bewaard. Aangezien volgens de begrippen uit die
dagen in een koortspatiënt te veel vuur aanwezig was, werd de
op hem toegepaste therapie geheel in analogie hiermee aangepast
en zorgde men ervoor, dat de patiënt zeer rustig werd gehouden,
goed onder de dekens werd gestopt en vooral tochtvrij kwam te
liggen.

Hoewel men over de ademhaling nog slechts weinig begrip
had, was men zich duidelijk bewust van het verband, dat er
bestond tussen de ingeademde lucht en de lichaamstemperatuur.
De zetel van het lichaamsvuur was volgens Arestoteles in het
hart aanwezig en de ingeademde lucht deed alleen dienst als
koelend medium om te voorkomen, dat deze temperatuur te hoog
zou worden.

Terwijl de leer van Arestoteles vele eeuwen lang heeft
standgehouden en op de duur een geweldige rem is gaan vormen
voor de ontwikkeling van het natuurphilosophisch denken, heeft
zich in de laatste eeuw voor Christus een tijd lang de zogenaamde
atoomtheorie kunnen handhaven. Volgens deze theorie, waarvan
Lucretius (98—55 v. Chr.) een aanhanger was, zijn de elementen,
in tegenstelling met de leer van Arestoteles, onveranderlijk en
ondeelbaar. Ieder element is opgebouwd uit atomen, die voor ieder

element een bepaalde onveranderlijke vorm bezitten. Zo bestond het element vuur uit regulaire tetraeders, waarvan de scherpe kanten gemakkelijk in andere stoffen konden doordringen en hierop dus een scheidende en vernietigende werking konden uitoefenen. De grote verscheidenheid der in de natuur voorkomende stoffen werd door deze atomistische leer verklaard door een zeer speciale rangschikking van de atomen, die voor iedere stof karakteristiek was, aan te nemen. Hoewel het element vuur dus in alle mogelijke stoffen aanwezig was, was het in deze stoffen zodanig gebonden, dat het zonder meer hieruit niet kon worden vrijgemaakt, want, zegt Lucretius, wanneer men met een bijl in het hout hakt, ontsnappen hierbij geen vurige vlammen.

De vier elementen vuur, lucht, water en aarde zijn gedurende vele eeuwen de grondslag gebleven van het natuurwetenschappelijk denken. Onder invloed van de kennis der alchemie, die door de Arabieren vanuit Egypte naar Europa was overgebracht, werden deze begrippen langzamerhand vervangen door andere, die verband hielden met de speciale onderwerpen, waarmede deze Alchemisten zich bezig hielden. In tegenstelling met de oude Griekse wijsgeren, die zich van ieder experiment verre hielden, aangezien zij van mening waren, dat handenarbeid het werk was voor slaven en andere onaanzienlijke lieden, waren deze Alchemisten echte laboranten, die bij hun zoeken naar de steen der wijzen en het levenselixer hun dagen zoekbrachten met destilleren van vele stoffen en het omsmelten van ertsen en metalen. Zo wordt onder invloed van deze experimenten het element vuur vervangen door het begrip zwavel. Dit element komt in vele mineralen voor en volgens de begrippen van Arestoteles was hierin de vurige uitwaseming aanwezig. Aangezien zwavel tevens in hete bronnen voorkwam en men deze warmte aan de aanwezigheid van deze zwavel toeschreef, terwijl dit element bovendien gevonden werd in de buurt van vulkanen, die men als uitlopers van de hel beschouwde, is de verschuiving van het begrip vuur naar het element zwavel begrijpelijk. Terwijl volgens Arestoteles in de

aarde zowel de vurige als de vochtige uitwaseming voorkwam, werden volgens de Arabische opvattingen bij aanwezigheid van overmaat van het element zwavel de mineralen en bij overmaat van het element kwik (het vluchtige element) de metalen gevormd. Aangezien de metalen in het algemeen evenwel niet vluchtig en de mineralen in het algemeen niet brandbaar zijn, voerden zij een derde element in, n.l. het zout, dat in deze stoffen met de eerstgenoemde elementen verbonden was. Dit element vertegenwoordigde de as, die bij de verbranding overbleef. De elementen kwik, zwavel en zout vertegenwoordigden dus de begrippen vluchtig, brandbaar en vuurbestendig. Deze begrippen werden bij de verdere ontwikkeling der Alchemie uitgebreid met de elementen aarde, hetgeen het onoplosbare principe vertegenwoordigde en water, hetgeen ondermeer bij verschillende destillaties verkregen werd. Wanneer men wijn destilleerde, ontstond eerst het vluchtige element, ook wel de spiritus genoemd, en vervolgens water, het z.g. phlegma, terwijl tenslotte de brandbare olie (de zwavel) overdestilleerde. Voegde men al deze ingrediënten bij het achtergebleven residu (aarde + zout), dan kreeg men geen wijn terug, zodat men aannam, dat deze verschillende destillatieproducten onder invloed van het vuur zouden moeten zijn ontstaan. Evenals ten tijde van Arestoteles geloofde men dus in de transmutatie der elementen.

Hoewel men in deze periode wel een zekere relatie tussen verbranding en lucht constateerde, beschouwde men de rol, die de lucht bij de verbranding speelde, als zuiver mechanisch. De volkomen elastische lucht oefende een pulserende werking uit zoals een blaasbalg, die de vlam in haar spiraalvorm bracht en ervoor zorgde, dat de rook kon ontwijken. Men wist, dat in een afgesloten ruimte de vlam werd verstikt en nam aan, dat dit geschiedde doordat de lucht onder invloed van de rook haar elasticiteit verloor. Ook geloofde men, dat een vlam gedoofd kon worden door samengeperste lucht, een voorstelling, die zelfs nog op het eind der achttiende eeuw wordt teruggevonden. Zo

verklaart de uit de Franse revolutie bekend geworden figuur van Marat, dat de vlam in een afgesloten ruimte gedooft wordt, omdat in deze ruimte de druk van de lucht onder invloed van de warmte-ontwikkeling zo zeer is toegenomen, dat de vlam hierdoor wordt uitgeknepen.

Hoewel meerdere malen geconstateerd werd, dat onder invloed van vuur of verbranding een gewichtsvermeerdering van de stof optrad, deed men geen of weinig moeite hiervoor een verklaring te vinden. In het bijzonder werd dit waargenomen bij de z.g. calcinering van metalen, waaronder men verstond het aan de lucht verhitten van een metaal. Hierbij wordt een metaaloxijde, de zogenaamde kalk, gevormd, waarvan het gewicht hoger is dan dat van het oorspronkelijke metaal. Aangezien men evenwel nog niet geleerd had kwantitatief te denken, werd de betekenis hiervan over het algemeen niet gezien en gaf men zich geen moeite hiervoor een verklaring te vinden. Het verschijnsel scheen in strijd met de bestaande opvattingen, dat bij warmte-ontwikkeling het element vuur (zwavel) wordt afgegeven, waardoor dus eigenlijk een gewichtsvermindering zou moeten ontstaan.

De calcinering van tin is o.a. uitvoerig beschreven door de Fransman Jean Rey (1575—1645), die de gewichtsvermeerdering verklaart door aan te nemen, dat het tin door de verhitting in staat wordt gesteld lucht te absorberen. Een dergelijke verklaring wordt ook gegeven door Hales (1677—1761), die aanneemt, dat de bij de calcinering ontwijkende zwavel zich verbindt met de lucht en deze verbinding weer door het metaal wordt opgenomen. In beide verklaringen wordt dus voor het eerst aan de lucht een meer actieve rol toebedeeld, maar deze verklaringen bleven op zichzelf staan en werden niet tot een meer algemeen gangbaar begrip.

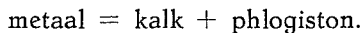
Zo trachtte Boyle (1626—1691) de gewichtsvermeerdering van de kalk, die hij verkreeg door verhitting van metalen in toegesmolten glazen buizen, te verklaren door aan te nemen, dat de warmtestof uit het vuur door het metaal werd opgenomen. Terwijl hij dus enerzijds aannam, dat deze vuurdeeltjes zo klein waren,

dat ze door het glas konden heendringen, beschouwde hij ze anderzijds materiëel genoeg om de gewichtstoename te kunnen verklaren.

Terwijl Boyle dus nog gewicht toekent aan de vuurdeeltjes, wint langzamerhand de gedachte veld, dat het vuur- en licht-principe gewichtloos is. Deze opvatting is vooral door de voorstanders van de z.g. phlogistontheorie verspreid en heeft gedurende ruime tijd het natuurwetenschappelijk denken beheerst. Deze theorie is naar voren gebracht door Stahl (1660—1734), professor te Halle en leerling van Becher, professor te Mainz. Becher was een van de eersten, die ervan overtuigd was, dat bij de calcinering van metalen het vuurelement (hij noemde dit terra-pinguis) ontweek, waarmee hij dus definitief calcinering en verbranding op één lijn bracht.

Tegenover de vele vuurprincipes (zwavel, olie-achtige aarde, terra-pinguis enz.) die men tot nogtoe gekend had, stelde Stahl het begrip phlogiston, een gewichtloze materie, die overal en onveranderlijk aanwezig wordt geacht. Op zichzelf was deze materie niet waarneembaar, maar vormde de aandrijvende kracht voor het vuur en het principe der ontvlambaarheid.

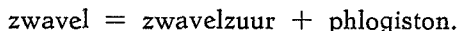
Wanneer een metaal werd gecalcineerd, werd hierbij door de kracht van het vuur het phlogiston vrij gemaakt, hetgeen ogenblikkelijk door de lucht werd geabsorbeerd en aangezien hierbij een kalk overbleef, was men dus van mening, dat een metaal bestond uit een mengsel van kalk en phlogiston. Dus:



Ook de aanhangers van de phlogiston-theorie bekommerden zich over het algemeen niet over de kwestie van een eventuele gewichtstoename van de kalk. In zeer vele gevallen werd deze gewichtstoename als zodanig niet onderkend, waartoe zeker het gebrek aan inzicht in begrippen als totaalgewicht en soortelijk gewicht heeft bijgedragen. Enkele leerlingen van Stahl hebben evenwel een verklaring trachten te geven, waarbij men er zelfs

toe kwam aan het phlogiston een negatief gewicht toe te schrijven.

Overigens kon men met de phlogiston-theorie vele zaken verklaren. Bij verbranding van zwavel ontstond zwavelzuur en zwavel bestond volgens deze theorie dus uit een mengsel van zwavelzuur en phlogiston. Dus:



Bij inwerking van zwavelzuur op de kalk kreeg men een zout, waarin zich dus geen phlogiston bevond. Bij de inwerking van zwavelzuur op een metaal, waarbij ditzelfde zout gevormd werd, werd het phlogiston dus aan het metaal onttrokken. Het feit, dat de lucht onontbeerlijk was voor de verbranding, werd verklaard door de veronderstelling, dat deze lucht als acceptor voor het phlogiston dienst deed.

Door de ontdekking van de gassen, die de verbranding stimuleren, werd de belangstelling voor de rol van de lucht veel groter. Gedoeld wordt hier op de zuurstof, die ongeveer tegelijkertijd door de Zweedse apotheker Scheele (1742—1786) en de Engelsman Priestley (1733—1804) werd ontdekt. Priestley verkreeg de zuurstof door verhitting van rood kwikoxyde en aangezien dit gas in veel sterkere mate het phlogiston tot zich scheen te trekken dan gewone lucht, noemde hij dit gas gede-phlogistoneerde lucht, d.w.z. lucht, die in hoge mate onverzadigd is aan phlogiston.

Wanneer een vlam in een besloten ruimte uitdooft, komt dit volgens hem alleen, omdat de lucht zich dan volkomen verzadigd heeft aan phlogiston; men houdt alleen gephlogistoneerde lucht (stikstof) over. Volgens de opvattingen van Priestley is er dan ook in geen enkel opzicht een essentiël verschil tussen zuurstof en stikstof. Het gaat hier slechts om een kwestie van al of niet verzadigd zijn aan phlogiston.

Ook Scheele zag in de stuurstof en de stikstof twee modificaties van lucht, maar hij onderkende in zoverre hun verschil door aan te nemen, dat deze twee gassen niet in elkaar konden overgaan.

De verbranding van een stof verloopt volgens Scheele als volgt:

Door verwarming wordt de brandbare stof in „vurige” beweging gebracht, zodat het phlogiston kan worden afgegeven aan de aanwezige acceptor, b.v. de „vurige” lucht, dit is de naam, die Scheele aan de zuurstof had gegeven. Door de hierbij gevormde warmte stijgt de „gemene” lucht, dit is de stikstof, op en zet de brandstof zelf uit, zodat meer phlogiston met de vurige lucht in aanraking kan komen. Bij het voortschrijden van dit proces treden dus de volgende stadia in:

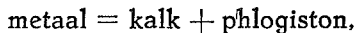
Vurige lucht + phlogiston \longrightarrow warmte door de stof opgenomen.

Vurige lucht + meer phlogiston \longrightarrow stralende warmte (wordt als zodanig waargenomen).

Vurige lucht + nog meer phlogiston \longrightarrow licht.

Het was Scheele ook bekend dat, wanneer verbranding in een gesloten glazen vat plaats vindt, volume en gewicht van de lucht in het vat afnemen. Hij verklaarde dit door aan te nemen, dat de verbinding van de vurige lucht met de phlogiston een zo fijne materie vormde, dat deze door het glas kon ontwijken.

Door de onderzoeken van Cavendish (1731—1800) kreeg men meer inzicht in het wezen der verschillende gassen en begon men in te zien, dat zuurstof en stikstof niet alleen verschilden in gehalte aan, en aantrekkingskracht ten opzichte van phlogiston, maar dat het geheel verschillende gassen waren. Cavendish ontdekte o.a. de waterstof, die ontstaat bij inwerking van een zuur op een metaal. Volgens hem moest dit waterstofgas het zuivere phlogiston zijn, want: het was brandbaar, vormde bij verbranding geen as, terwijl bij inwerking van waterstof op een kalk een metaal werd gevormd, waarbij dus de vergelijking:



in omgekeerde richting werd uitgevoerd.

Volgens Scheele kon het phlogiston evenwel niet in vrije toestand voorkomen, aangezien dit principe volgens hem alleen van de ene acceptor op de andere kon overgaan, welke overgang

dan als vuurverschijnsel zichtbaar werd. Waterstofgas kon volgens hem dan ook niet het vrije phlogiston zijn, maar moest worden gezien als phlogiston, gebonden aan een of andere basis. Nu waren inmiddels meerdere brandbare gassen bekend geworden en had men tenslotte ook geconstateerd, dat bij verbranding van vele van deze gassen water gevormd werd. Volgens Priestley was water dan ook de basis van deze gassen en werd volgens hem zuurstof voorgesteld door de formule: water—phlogiston. Op dezelfde wijze werd nu waterstof voorgesteld als water + phlogiston en de reactie, waarbij waterstof en zuurstof tot water verbranden, als:

(water + phlogiston) + (water — phlogiston) = water + water.

Hoewel met de phlogiston-theorie meerdere zaken op min of meer elegante wijze konden worden verklaard, bleef de gewichtstoename van de kalk een uiterst zwak punt in de gehele opzet. De zeer weinig bevredigende wijze, waarop men hiervoor verklaringen trachtte te geven, is ongetwijfeld voor Lavoisier (1743—1794) mede aanleiding geweest om de gehele phlogiston-theorie te bestrijden en tenslotte te komen tot een juist beeld betreffende de rol, die de lucht bij de verbranding en de calcinerings speelt. Volgens hem moet deze gewichtsvermeerdering direct verklaard worden door opname van de zuurstof en hij heeft dan ook een groot aantal proeven genomen om dit te kunnen bewijzen. Hij toonde aan, dat bij verbranding of calcinerings in toegesmolten glazen buizen de gewichtstoename van de verbrande of gecalcineerde stof ongeveer gelijk was aan de gewichtsafname van de lucht in de buizen en hij trachtte deze opgenomen lucht weer uit de stof vrij te maken. Tot nog toe had men uit de kalk het metaal weer weten te isoleren door verhitting van de kalk met koolstof, waarbij zich de z.g. gefixeerde lucht (koolzuur) vormde. Dit bracht evenwel nieuwe moeilijkheden met zich mee, aangezien hem bleek, dat, wanneer hij deze gefixeerde lucht aan het overgebleven luchtmengsel toevoegde, de samenstelling van dit luchtmengsel anders was dan de oorspronkelijke lucht; dit

mengsel kon n.l. de verbranding niet meer onderhouden. Hij zocht dan ook naar een kalk, die de opgenomen lucht zou kunnen afgeven zonder dat gebruik behoefde te worden gemaakt van koolstof. Het is de ironie der historie geweest, dat het juist Priestley, de grote voorstander van de phlogiston-theorie, moest zijn, die hem deze kalk kon verschaffen en hem daarmee het beste wapen tegen zichzelf in de hand gaf. Gelijk reeds gezegd, verkreeg Priestley zijn gedephlogistoneerde lucht door verhitting van rood kwikoxyde. Lavoisier kon nu enerzijds dit kwikoxyde bereiden door kwik gedurende lange tijd bij aanwezigheid van een bepaald volume lucht te koken, terwijl hij anderzijds de hierdoor gebonden zuurstof door verhitting op hogere temperatuur weer uit de kalk kon vrij maken en aantonen, dat wanneer hij deze zuurstof aan het uit de oorspronkelijke lucht overgebleven gas toevoegde, het gasmengsel zijn oorspronkelijke samenstelling had herkregeen. Hiermede bewees hij dus, dat het principe der verbranding niet in de eerste plaats aanwezig is in de brandstof, maar in de lucht en dat dit principe hierin in de vorm van de zuurstof voorkomt.

Toch leverden de bij de verbranding optredende warmte- en lichtverschijnselen ook voor Lavoisier nog vele moeilijkheden op, die hij slechts kon verklaren door een hypothetische stof aan te nemen, die hij „calorique” noemde en die volgens hem aan de zuurstof gebonden was en bij de verbranding vrij kwam. Ook Lavoisier heeft zich dus nog niet geheel vrij kunnen maken van de oude begrippen omtrent de aanwezigheid van een warmtestof. Hoewel zich bij de calcineren deze warmtestof in het algemeen niet manifesteerde, trachtte hij haar aanwezigheid te bewijzen door ijzerdraad in een zuurstofatmosfeer te verbranden. Onder deze omstandigheden treden hoge temperaturen en sterke lichtverschijnselen op.

Volgens hem ging een vaste stof onder invloed van deze „calorique” over in vloeistof, terwijl bij aanwezigheid van grotere hoeveelheden van deze warmtestof de vloeistof overging in damp. Dit laatste overblijfsel van het zo vele eeuwen oude begrip

warmtestof verdween eerst volledig uit het natuurwetenschappelijk denken, toen men de warmte en het licht onderkende als een bepaalde vorm van energie en het zijn dan tenslotte ook de natuurkundigen uit de negentiende eeuw geweest, die de begrippen omtrent de verbranding gebracht hebben op het niveau, waarop de hedendaagse onderzoeken worden voortgezet.