

IJZER ALS KLEURGEVEND ELEMENT.

DOOR

R. S. TJADEN MODDERMAN.

Het ijzer is niet alleen voor den mensch het nuttigste metaal, ook in de huishouding der natuur heeft het veel meer te beduiden dan de overige zware metalen. Lood en tin, koper en zink, om van zeldzamer metalen te zwijgen, nemen aan de onophoudelijke veranderingen in en op de aardkorst betrekkelijk weinig deel. Vreedzaam sluimeren zij in hunne ertsen, die, hier en daar afgezet en weggeborgen, grootendeels als logge massa's met de aarde draaien, om de zon reizen en slechts als ballast dienst doen. Anders het ijzer. Wel zijn ook daarvan ontzaggelijke hoeveelheden in de voorraadschuren van moeder aarde opgetast, maar toch op verre na niet alles. Een niet onaanzienlijk deel is wijd en zijd verspreid, nergens geheel ontbrekend en overal rusteloos deelnemend aan chemische omzettingen. In oplossing wordt het meegevoerd door alle wateren en baant zich op deze wijze een weg door de hardste gesteenten, ja zelfs door de planten en dieren, overal de sporen achterlatend van onvermoeide werkzaamheid.

Die groote beweeglijkheid heeft het ijzer te danken aan de vorming van twee oxydatie-trappen, de zoogenoemde ferro- en ferri-verbindingen, en aan 't gemak waarmede deze in elkander overgaan. De eerste, blauwgroen van kleur, (het bekende ijzervitriool behoort daartoe) nemen onmiddellijk uit vochtige lucht en uit luchthoudende wateren zuurstof en water op, daardoor overgaande in de gele tot roodbruine ferri-verbindingen, die op haar beurt door afgifte van zuurstof aan licht oxydeerbare stoffen weer tot ferro-verbindingen worden. Het ijzer werkt zodoende als zuurstof-overdrager: het slurpt de zuurstof der

lucht op om die aan andere lichamen weer afteestaan. Dit verklaart o. a. het snelle vergaan van hout rondom met roest bedekte spijker-gaten en 't verweeren van linnen door roestvlekken. De natuur bedient zich op groote schaal van dit middel om de rotting van plant-aardige en dierlijke stoffen te bevorderen. Het ijzer zelf wordt ten gevolge van deze werking vervoerd. Het koolzuur toch, dat bij de vertering der organische stof gevormd wordt, lost het ten deele herleid metaal als dubbel koolzuur-ijzer (ferro-bicarbonaat) op. Bijna alle wateren bevatten hiervan sporen; is de hoeveelheid grooter, dan spreekt men van »staalwater.”¹

Het ijzer wordt zoo door alle aardlagen vervoerd, die voor water doordringbaar zijn. Komt dit laatste aan de oppervlakte of in de aarde zelve met lucht in aanraking, dan wordt de ijzerverbinding ontleed. Het koolzuur ontwijkt gasvormig en 't ijzer bezinkt: nu eens als enkelvoudig ferro-carbonaat, dan eens, bij ruimere toetreding van lucht, onder verlies van alle koolzuur en opname van zuurstof, als ferri-hydroxyde.² Vele ijzerertsen, uit ferro-carbonaat, ferri-hydroxyde of hunne overgangstrappen bestaande (ijzerspaat, oer, kleijzersteen, enz.), zijn op deze wijze gevormd.

Dat alle uit water bezonken gesteenten ijzer bevatten, staat natuurlijk in verband met het algemeen voorkomen van dit metaal in alle natuurlijke wateren: het eene is beurtelings oorzaak en gevolg van het andere. Reeds in de oudste kristallijne gesteenten, waaruit in volgende geologische tijdperken de duidelijk uit water bezonken lagen ontstonden, treft men zonder uitzondering ijzer aan. Zoo heeft men voor graniet uit 12 analyses een gemiddeld ijzergehalte van 2,2 pct. berekend en voor gneis een van 5,5 pct. Diabas, doleriet en basalt bevatten resp. 9,9; 10,6 en 12,3 pct. Het komt in deze gesteenten voor als silicaat, dus

¹ Ouder gewoonte worden in de geneeskunde gebruikelijke ijzer-verbindingen veelal »staal” genoemd (staalpoeder, staalwater, enz.). De ouden meenden dat staal de zuiverste ijzersoort was. Eerst door onderzoekingen van MONGE, VANDERMONDE en BERTHOLLET is (1786) uitgemaakt, dat staal rijker aan koolstof is dan smeedijzer, welk laatste het meest tot het zuiver metaal nadert. De derde gebruikelijke ijzersoort, het gietijzer, is nog rijker aan kool dan staal.

² Uit dit laatste bestaat ook het roodbruin bezinksel, dat zich in opene flesschen uit staalwater afzet. — Over de werking van de ijzerbacteriën, die uit staalwateren ijzer-hydroxyde afscheiden en, volgens de interessante onderzoekingen van WINOGRADSKY, aldus de oerbanken doen ontstaan, vergelijkte men het opstel van prof. HUGO DE VRIES in dit *Album*: jaarg. 1888, blz. 257.

gebonden aan kiezel en zuurstof, ten deele ook als oxyde of als kies (verbinding met zwavel).

Met behulp van het voorgaande is nu gemakkelijk in te zien, dat het ijzer in het delfstoffenrijk het voornaamste kleurgevend element is. De elementen toch, die de hoofdmassa van de vaste aardkorst uitmaken: zuurstof, kiezel, aluminium en calcium, vormen onderling kleurlooze verbindingen, en ook door de betrekkelijk veel kleinere hoeveelheden magnesium, kool (als carbonaat) en chloor worden ze niet gekleurd. Wanneer nu niettemin de rotsen en gebergten, de bouwgronden en daaronder gelegen aardlagen steeds min of meer gekleurd zijn, dan is dat — afgezien van planten, dieren en de ontledingsproducten daarvan — steeds aan hun ijzergehalte toetschrijven. Gele en roode tinten wijzen op dit metaal als ferrioxjde of als zwavelkies, grijze en blauwachtige kleuringen (leem, klei, enz.) op ferro-verbindingen. Dat deze laatste werkelijk aan ijzer zijn [toetschrijven, kan blijken door de stoffen aan de lucht te gloeien: door den overgang van ferro- in ferri-oxyde worden ze dan geel tot rood. Algemeen bekend is die kleursverandering bij het bakken van klei en leem: inderdaad hebben onze baksteenen en pottenbakkerswaren hunne roode kleur aan het ijzeroxyde te danken.

Kwarts is het overvloedigst voorkomend mineraal, dat niet alleen zelfstandig optreedt, maar bovendien hoofdbestanddeel is van vele gesteenten. Het is bijna altijd ijzerhoudend. Duidelijk verraadt zich dit door de kleur bij een aantal variëteiten: de roode tot bruine ijzerkiesel, de jaspis met zijne gele tot donkerbruine schakeeringen, bij hoornsteen, carneool, agaath, enz. 't Zelfde geldt van den zandsteen, die in het Zwarte Woud en de Vogeezen de warme roode tinten aan het gebergte geeft, scherp afstekend bij het groene plantenkleeid, en die de bouwstoffen opleverde voor de meeste domkerken tusschen Basel en Keulen. Niet zelden is evenwel het ijzergehalte van kwarts en zijn verweeringsproduct het zand te gering, om zich duidelijk door de kleur te openbaren. Doch het daarmede bereid glas laat de blauw-groene kleuring (van ferro-silicaat) sterk doorschemeren, gelijk men aan de gewone flesschen zien kan. Ter verkrijging van nagenoeg kleurloos glas wordt steeds een ontkleuringsmiddel toegevoegd, doorgaans bruinsteen, die, als een oxyde van het metaal mangaan, een paarse tint voortbrengt, waardoor de groenkleuring, door het ijzer veroorzaakt, onzichtbaar wordt. Toch is deze laatste nog waartenemen in dikkere lagen, b. v. door een glasruit op den kant te bezien, of eenige glasruiten op elkander te leggen.

Wat van kwarts gezegd is, geldt ook van de veelvuldig voorkomende koolzure kalk, die als arragoniet, kalkspaat, kalksteen, marmer enz. bijna altijd ijzerhoudend en niet zelden daardoor zichtbaar gekleurd is; van de bitterkalk (isomorph mengsel van koolzure kalk en magnesia), die als dolomiet geheele bergen vormt, enz. Wel is waar beschikt de natuur ook nog over andere hulpmiddelen om de genoemde en vele andere delfstoffen te kleuren, (mangaan, kool, organische stoffen, een enkele maal koper); maar het ijzer is toch verreweg het meest gewoon kleurgevend element.

Op geheel andere en ook onderling weer verschillende wijze is het ijzer in het planten- en dierenrijk oorzaak van kleuring.

Bevatten alle bouwgronden dit metaal, het is voor den plantengroei niet onverschillig in welken staat het daarin voorkomt: kleine hoeveelheden mogen en moeten in het bodemwater in oplossing komen, om aldus door de wortels der planten te worden opgenomen, groote hoeveelheden zouden schadelijk werken en de planten doen kwijnen of zelfs doodden. Plaatst men planten in aarde of in slappe zoutoplossingen, die geheel ijzer-vrij zijn, maar die overigens alles bevatten wat voor haar groei noodig is, dan blijven de bladen kleurloos. Men ziet ze evenwel binnen korten tijd groen worden, zoodra men de wortels met eene verdunde ijzeroplossing begiet. Zelfs worden de bladeren groen, als ze met de ijzeroplossing bestreken worden. En toch, al is het ijzer voor de ontwikkeling van het bladgroen noodzakelijk, bevat dit laatste het genoemd element niet. Op welke wijze het chemisch werkzaam is, om deze meest algemeene plantenkleurstof voorttebrengen, is tot dusverre onbekend. Ook kan niet worden aangegeven welke bindingsvormen het in de planten doorloopt, nadat het als anorganisch zout door den wortel is opgenomen: waarschijnlijk vormt het spoedig organische verbindingen, zoodanige die niet direct door de bekende reagentiën aantoonbaar zijn. Hoe gering de totale hoeveelheid ijzer in de planten ook zij, is ze toch dikwerf groot genoeg om aan de asch, die daarvan gemiddeld 1 pct. bevat, een roodachtige tint te geven. In waterplanten schijnt de hoeveelheid iets grooter te zijn dan in landplanten: van turf is vaak het ijzergehalte zoo groot, dat de asch roodbruin gekleurd is.

De dieren ontvangen het ijzer door de planten, waarvan zij middellijk of onmiddellijk allen leven, en dus in den vorm van organische

verbindingen. Deze worden door de stofwisseling omgezet en doen in de gewervelde dieren de roode bloedkleurstof, het zoogenoemd haemoglobine ontstaan, eene van de meest gecompliceerde organische verbindingen, die bekend is. Zij bestaat uit niet minder dan zes elementen (koolstof 54 pct., waterstof 7.25 pct., stikstof 16.25 pct., zuurstof 21.45 pct., zwavel 0.63 pct. en ijzer 0.42 pct). Uit de medegedeelde cijfers, berekende HUFNER als minimum het verbazend hoog moleculair-gewicht 14129, overeenkomstig de formule $C_{636} H_{1025} N_{164} Fe S_3 O_{189}$. Eenvoudiger kan deze niet zijn, omdat daarin toch minstens één atoom ijzer (d. i. 56 gew. deelen) moet worden aangenomen.

De geheele hoeveelheid ijzer, in het menschelijk lichaam voorhanden, is door BUNGE bij benadering vastgesteld. Hij verbrandde daartoe geheele dieren en bepaalde in de asch het ijzergehalte. Hij vond dat per kilo lichaamsgewicht voorkomen: jong konijn 44, jonge kat 47, jonge hond 75 milligrammen ijzer. Aangenomen dat het menschelijk lichaam naar evenredigheid ijzer bevat, dan vindt men voor een mensch van 70 kilo lichaamsgewicht: 70×44 milligram = 3,1 gram, als minimum. Het meeste hiervan (naar schatting 2.4—2.7 gram ijzer) komt in de bloedkleurstof voor. Evenals alle andere elementen wordt het ijzer door de stofwisseling voortdurend afgevoerd (wat ten deele door de urine, ten deele door de vaste uitwerpselen geschiedt) en ook weder aangevoerd. Dat dit voldoende geschieden kan door de organische ijzerverbindingen in ons voedsel, is reeds aangetoond door BOUSSINGAULT, die het ijzergehalte van tal van plantaardige en dierlijke stoffen bepaalde. Zoo vond hij in 100.000 gewichtsdeelen:

	Gewichtsdeelen ijzer.
Rundvleesch	4,8
Hoenderei (zonder schaal).....	5,7
Paardenhaar	50,7
Schapenwol	40,2
Hooi	7,8
Tarwebrood.....	4,8
Rijst	1,5
Aardappels	1,6
Spinazie.....	4,5

En in één liter der volgende vochten:

Ossenbloed	37,5
Koemelk	1,8
Beaujolais	10,9
Bier.....	4,0

De hoeveelheid ijzer, in de bewerkte natuur in omloop, is, gelijk te verwachten was, gering en ze is niet juist het grootste in voor voedsel geschikte stoffen, maar zij is in deze toch groot genoeg om het door de stofwisseling afgescheiden ijzer te vervangen. Zoo berekende BOUSSINGAULT dat de Fransche soldaat, in zijne rations aan brood, vleesch, groenten, koffie en bier, per dag 91 milligram ijzer ontvangt, een Engelsche arbeider in den vorm van aardappels, vleesch, melk en bier 109 en een melkkoe 1365 milligram ijzer.

Men heeft verband gezocht tusschen de eigenschappen van het haemoglobine en het daarin voorhanden ijzer. Inderdaad vindt men sommige eigenschappen, met name van de anorganische ferro-verbindingen, in het haemoglobine terug. Slorpen de eerste vochtige zuurstof op, als ook stikstofoxydegas, welke laatste hare oplossingen door uitkoken weer verliezen, terwijl zij de zuurstof weer aan oxydeerbare stoffen afstaan, ook het haemoglobine neemt in groote hoeveelheid zuurstof op, waarbij het lichter rood van kleur wordt en kan eveneens kooloxyde en stikstofoxyde opnemen. De laatste gassen worden steviger door het haemoglobine gebonden dan de zuurstof, die reeds door verwarming en onder de luchtpomp wordt uitgedreven. Gedragen ferrozouten zich voorts in de natuur als zuurstof-overdragers, gelijk boven ter sprake kwam, ook het haemoglobine vervult die rol bij den bloedsomloop. Het bindt de zuurstof, door de ademhaling in de longen gebracht, en vervoert die in verdichten staat door het lichaam, maar staat ze lichtelijk óveral aan de weefsels weer af.

Het is ons dus gebleken dat het ijzer, in de drie rijken der natuur aan de stofwisseling deelnemend en invloed oefenend, tevens overal een voornaam kleurgevend element is, maar telkens op andere wijze. In het delfstoffenrijk doordringt het de gesteenten als ferro- en ferri-verbindingen, daaraan de tinten meedeelend, welke aan deze eigen zijn; in het plantenrijk neemt het een werkzaam en onmisbaar aandeel aan de vorming van de meest algemeene plantenkleurstof, het bladgroen, maar zonder daarin als integreerend element optetreden; in de gewervelde dieren eindelijk verschijnt het op nieuw en doet hier de roode bloedkleurstof ontstaan, waarvan het zelf een bestanddeel uitmaakt, zij het dan ook tot een bedrag van nog geen half procent en in samenwerking met vijf andere elementen.

Het zij mij veroorloofd hier nog eenige opmerkingen bijtevoegen, die met het bovenstaande in verband staan.

Het ijzer is het element met het hoogste atoomgewicht (56), dat onmisbaar is voor levende wezens.¹ Was het niet overal verspreid, in alle landen en wateren, het bewerktuigd leven zou niet overal mogelijk zijn. Aan de elementen met hooger atoomgewicht, waarvan de meesten het leven vijandig zijn, is reeds daardoor de toegang tot planten en dieren in den regel ontzegd, omdat zij slechts op enkele plaatsen in hoeveelheden van eenige beteekenis voorkomen. De hoogst geringe sporen toch, die van vele grondstoffen algemeen verspreid zijn, (alle zand is goudhoudend, jodium is in vele wateren aantoonbaar, enz.) komen hier niet in aanmerking. Doch op die enkele plaatsen moet het dan bij uitzondering mogelijk zijn, dat zij in de planten dringen, mits zij in het bodemwater oplosbare verbindingen kunnen vormen.² Enkele gevallen zijn daarvan werkelijk bekend. Zoo bevat het viooltje, dat boven de zinkmijnen der Vieille Montagne, tusschen Aken en Luik, groeit, een weinig van dit metaal en is daardoor tot een variëteit vervormd, die men naar een zinkerts, den calamijnsteen, *viola calaminaria* genoemd heeft.

Het hooge gras (*molinaria coerulea altissima*) op den Koningsberg bij Raibl in Carinthië geeft eene asch met $2\frac{1}{2}$ pct. loodoxyde, $\frac{1}{4}$ pct. zinkoxyde en $\frac{1}{4}$ pct. koperoxyde, kennelijk afkomstig uit de looden zinkertsen, die in genoemden berg voorkomen. Dit gras is vergiftig voor het vee, dat het niettemin gaarne eet: aan den verderen omloop van de genoemde metalen in de bewerktuigde natuur, hier bij uitzondering in eene plant opgenomen, komt dus spoedig een eind. In de asch van tarwe, maïs en andere landbouwgewassen, worden wel eens sporen van koper, lood, tin en zink aangetoond, vermoedelijk afkomstig van de metalen gereedschappen, waarmede zaaizaad en meststoffen in aanraking zijn geweest. Zoo kan het ook niet verwonderen, dat men in de asch van de levers van menschen dikwerf sporen van genoemde metalen heeft aangetoond. Zelfs al bevatten onze spijzen deze aanvankelijk niet, door keukengereedschap, inmaakbussen, enz. stellen wij ze veelal in gelegenheid om ze op te nemen. Werken grootere dosen van de zouten der zware metalen giftig, kleinere hoeveelheden worden in de lever afgezet, waarin ze voor het organisme onschadelijk

¹ Van de omtrent 70 bekende elementen hebben slechts 22 een atoomgewicht kleiner dan ijzer. Hiervan kan men 14 tot de organische grondstoffen brengen.

² Het aluminium, het metaal van de klei, dat in alle bodems rijkelijk voorkomt, doet dit niet en komt daarom in planten en dieren niet voor.

zijn. Dit orgaan is betrekkelijk ook rijk aan allerlei ijzerverbindingen, die gedeeltelijk van ontleed haemoglobine afkomstig schijnen. Ook ijzorzouten, die als geneesmiddelen dienst doen, worden hier allereerst grootendeels afgezet. De werking van deze, die veel moeilijker geabsorbeerd worden dan de organische ijzerverbindingen uit ons voedsel, is — in weerwil van vele onderzoeken — nog niet opgehelderd en zelfs hun geneeskracht, ofschoon van oudsher aangenomen, niet naar eisch bewezen.