

SYNTHESE OP HET GEBIED
DER
KOOLSTOFVERBINDINGEN EN HARE VRUCHTEN

DOOR

Dr. G. DOYER VAN CLEEFF.

Kunstmatige bereidingen zijn aan de orde van den dag. Natuurlijke robijnen en diamanten behoeven als edelgesteenten de mededinging nog niet te vreezen van kunstmatig bereide robijnen en diamanten, toch zijn deze te Parijs gemaakt; hetzelfde is het geval met zooveel andere ertsen en gesteenten, die men heeft leeren bereiden, zoodat men althans eenigermate met grond gissen kan naar de omstandigheden, waaronder in de aardkorst de vorming is geschied of nog plaats grijpt. Telkens weder werd in ons tijdschrift, of in het *Wetenschappelijk Bijblad*, of daarbuiten, de aandacht gevestigd op welgeslaagde pogingen van dezen of dien scheikundige, om onder zijne handen eene stof te doen ontstaan, die tot nog toe alleen als voortbrengsel van het plantaardig of dierlijk leven bekend was.

Het laatste nieuws, dat mij daaromtrent bekend werd, zou de bereiding van eene eiwitachtige stof betreffen. Een berlijnsch scheikundige LEON LILIENFELD zou eene zelfstandigheid hebben gemaakt, die in alle eigenschappen *eine verblüffende Uebereinstimmung* zou bezitten met pepton, dus met eene in water oplosbare stof, die bij de spijsvertering, en wel onder de werking van ons maagsap, uit eiwitachtige stoffen wordt gevormd. Wanneer hier gezegd wordt: zou hebben gevormd, moet dat niet aldus worden verstaan, dat de bereiding van „een synthetisch pepton” en van eene andere stof, die als eiwit uit

een kippenei bij verwarming stremt en daarvan alle kleurreacties ver- toont, onmogelijk of zelfs maar onwaarschijnlijk is; de onderstellende uitdrukking werd hier alleen gekozen, omdat de bron, waaraan het bericht door mij ontleend werd, vooralsnog tot voorzichtig afwachten aanmaant.

Toch werd dit bericht de aanleiding tot eene poging om dergelijke *verbluffende* berichten in ruimen kring met eenige kennis van zaken te doen ontvangen, om aan hen, die zelf geen enkele natuurwetenschap als hun studievak kozen, toch eenig inzicht te geven, hoe men tot de *kunstmatige* of *synthetische* bereiding van koolstofverbindingen komt. In welke beteekenis, of liever in welke beteekenissen, het woord *synthese* op scheikundig gebied wordt gebruikt, zal het eerst worden medegedeeld.

I

Het was nog vóór den tijd, waarop de wet op het middelbaar onderwijs aangenomen was en de Nederlandsche jeugd de gelegenheid zou verkrijgen tot geregeld onderwijs in de scheikunde. Ik geloof zelfs, dat het woord scheikunde ons geheel onbekend was; dat wij daarom niet geheel buiten onderwijs in de scheikunde bleven, mag uit het volgend verhaal blijken.

Een onzer kameraden riep ons samen in den tuin van zijn vader, waar niet minder dan eene kunstmatige aardbeving zou worden ver- toond. Natuurlijk ontbrak er niet één, al was hij ongeloovig wat den uitslag betreft. In een pot van gewoon aardewerk werden ijzervijlsel en zwavelbloemen met een weinig water tot eene brij aangemengd, een stuk varkensblaas werd over de opening van de pot gebonden en daarna werd de pot in een kuil in den grond geplaatst en met eene laag aarde overdekt. Van deze eenvoudige voorbereidselen zou eene aardbeving het grootsche gevolg zijn; door de werking van ijzervijlsel en zwavelbloemen op elkander moest de lucht onder de varkensblaas zóó sterk worden verwarmd, dat zij de blaas zou doen springen en de daarover uitgespreide aarde zou door den schok in de lucht om- hoog geworpen worden.

Wij hebben gewacht... de aardbeving kwam niet. Of het ijzer- vijlsel misschien te grof was, of de verhouding tusschen de hoeveel- heden zwavel en ijzer niet goed gekozen, of de pot te groot en de hoeveelheid zwavel en ijzer te klein, zoodat de lucht niet sterk ge-

noeg verwarmd werd, ik weet het niet. Wel weet ik, dat de bedoeling was ons de getuigen te doen zijn van de gevolgen eener *scheikundige synthese*. IJzervijlsel en zwavelbloemen moesten toch samen veranderen in eene andere stof, die, zooals ik later vernam, den naam *zwavelijzer* draagt; van dit *zwavelijzer* zou eene even groote gewichtshoeveelheid worden gevormd als van de eerste twee stoffen samen aanwezig was. En dat deze verandering van ijzer en zwavel in *zwavelijzer* eene *scheikundige* verandering heeten moest, werd openbaar en in de ontwikkelde warmte (een gevolg van den overgang van het arbeidsvermogen van zwavel en ijzer uit den eenen in een anderen vorm) en in het feit, dat het gevormde *zwavelijzer* niet weder van zelf in de oorspronkelijke stoffen veranderen zou.

Aan deze kenmerken toetst men de veranderingen in de stoffelijke wereld rondom ons, wanneer men beoordeelen moet of zij al dan niet tot het domein der scheikunde behooren. Zoo is de verandering van water in stoom geen scheikundige verandering. Wanneer kokend water door de hitte van het vuur verdampt, heeft ook omzetting van arbeidsvermogen plaats (de hitte van het vuur geeft aan den stoom haar spankracht), maar wanneer de stoom behoorlijk wordt afgekoeld, kan hij weder de oorspronkelijke hoeveelheid water opleveren en tegelijk zal hij evenveel warmte afstaan, als voor de vorming van den stoom uit water van denzelfden warmtegraad noodig was. Wel scheikundige verschijnselen leveren het blusschen van ongebluschte kalk en de verbranding van nitroglycerine op.

Wanneer op gebrande schelpen of op brokken gebrande kalksteen water geschonken wordt, verdwijnen dit en de gebrande kalk als zoodanig en vormen zij te zamen droge gebluschte kalk, die gemakkelijk uiteenvalt tot een fijn poeder, dat gebuild worden kan; aan den wasem, die zich bij het blusschen in de lucht verspreidt, merkt men de werking der vrij geworden warmte, die het water, dat er te veel genomen is, doet verdampen; de gebluschte kalk kan niet, zooals stoom wel kan, gemakkelijk in de oorspronkelijke stoffen overgaan. En wanneer nitroglycerine door haar ontbranding hechte gebouwen in puinhoopen verandert of gesteenten doet springen, om der beschaving nieuwe wegen te openen, dan wordt het in de gevaarlijke vloeistof opgesloten arbeidsvermogen omgezet in warmte en geeft het aan de door de verbranding gevormde gassen (stikstof, zuurstof, waterdamp en koolzuur) de geweldige spanning, die de laatste oorzaak der ontploffing is; deze spanning komt bij de nitroglycerine uit haar zelve voort en wordt er niet aan

gegeven zooals bij den stoom door verwarming van het kokend water geschiedt, en, terwijl stoom de warmte teruggeeft wanneer hij in water verandert, kunnen stikstof, zuurstof, waterdamp en koolzuur niet gemakkelijk weder van arbeidsvermogen worden voorzien, zoodat zij in nitroglycerine overgaan.

Wanneer wij hier als verbrandingsprodukten van nitroglycerine dezelfde gassen noemen, waaruit de ons omgevende dampkringslucht voornamelijk bestaat, dan mag de opmerking niet achterwege blijven, dat de verhouding tusschen de hoeveelheden dier gassen in beide gevallen zeer verschillend is. Hetgeen bij de verbranding van nitroglycerine ontstaat, gelijkt nog iets meer dan op de lucht, die wij inademen, op de door ons uitgeademde lucht, die door onze stofwisseling armer aan zuurstof en rijker aan koolzuur en waterdamp geworden is.

Scheikundige veranderingen hebben dus plaats, wanneer bij die veranderingen bepaalde stoffen verdwijnen en andere daarvoor ontstaan, m. a. w. wanneer zich blijvende stoffelijke veranderingen vertoonen. Daarbij gaat altijd arbeidsvermogen uit den eenen vorm in een anderen over. Na de gegeven voorbeelden zou de indruk kunnen zijn, dat de omzetting van arbeidsvermogen altijd hierin bestaat, dat de verdwijning der stof altijd eene bron van warmte is. Dit is echter niet het geval. Bij andere scheikundige werkingen wordt warmte *gebonden* of *latent*, d. w. z. de inhoud van het vat, waarin de werking plaats heeft, ondergaat juist daardoor eene temperatuursverlaging; bij zoogenaamde *koudmakende mengsels* wordt hiervan gebruik gemaakt. Ook kan de omzetting van arbeidsvermogen geschieden, zonder dat men iets van temperatuursverhooging of verlaging bemerkt. Zoo kunnen b.v. scheikundige werkingen tot stand komen ten koste van elektrisch arbeidsvermogen, of het tegenovergestelde doen en elektrische stroomen voortbrengen.

Voor ons is het echter meer bepaald de vraag, wanneer eene scheikundige werking eene *synthese* heet. Dit woord heeft hier meer dan ééne beteekenis. De eenvoudigste beteekenis, waarover eerst gesproken wordt, is deze: eene *synthese* heeft daar plaats, waar uit twee of meer stoffen ééne nieuwe stof gevormd wordt. De vorming van *zwavelijzer* uit zwavel en ijzer en die van gebluschte kalk uit ongebluschte kalk en water zijn twee voorbeelden van eene synthese. De ontleding van nitroglycerine bij ontbranding daarentegen is geen synthese; eene zekere hoeveelheid nitroglycerine verdwijnt van het tooneel en daaraan evenredige hoeveelheden stikstof, zuurstof, waterdamp en koolzuur komen te voorschijn. Dezelfde gewichtshoeveelheid stof, die eerst als

nitroglycerine medetelde, wordt nu door het gezamenlijk gewicht van de vier genoemde gassen vertegenwoordigd.

Synthesen in dezen zin ziet men gebeuren, waar metalen door de zuurstof uit de lucht in roest veranderen; zij hebben plaats, waar door verbranding van zinkdampen zinkwit en door verhitting van gesmolten lood aan de lucht de roode verfstof menie wordt gemaakt.

Onder het ontzaglijk groote aantal stoffen, die in scheikundige handboeken en woordenboeken beschreven worden, zijn er betrekkelijk weinigen, waaromtrent deskundigen nog niet het geringste vermoeden hebben, hoe zij ooit door synthese uit twee of meer anderen zullen kunnen worden bereid. Met de metalen, met zwavel, zuurstof en stikstof o. a. is dit het geval. Niet alleen zijn deze stoffen nog nooit door synthese ontstaan; evenmin hebben zij tot nog toe ooit twee of meer andere voortgebracht, zooals nitroglycerine bij haar ontbranding vier gassen oplevert. Stoffen, waarmede dit het geval is, worden als *grondstoffen* of *enkelvoudige stoffen* beschouwd; zoo zullen zij tijdelijk worden genoemd, totdat er voldoende grond is voor de onderstelling, dat zij spoedig uit twee of meer andere stoffen zullen kunnen worden gemaakt of in twee of meer stoffen zullen kunnen worden ontleed. Tijdelijke maatregelen duren ook hier dikwijls zeer lang. Ongeveer zeventig stoffen staan tegenwoordig op deze lijst van grondstoffen.

II

Het woord *synthese* heeft eene tweede beteekenis, die niet in weinig woorden kan worden uitgedrukt. Wie iets wenscht te begrijpen van de denkbeelden, waarvan de synthetische bereiding van nieuwe stoffen de vrucht is, zal verplicht zijn de uiteenzetting te volgen van eenige scheikundige begrippen. Moge het hem gaan als den reiziger, die verplicht is zijn weg te zoeken door struiken laag boomgewas, om het hooge punt daarachter te bereiken, waar een vergezicht hem voor zijne moeite beloonen zal. Als ik mij dan aanbied als gids voor te gaan, om het gemakkelijkst toegankelijke pad naar boven te zoeken en de takken op zijde te duwen, dan hoop ik, dat zij, die mij volgen, aan het einde van den tocht mij niet verwijtend zullen aanzien, met de woorden »zóoveel moeite en daarvoor zóó weinig genot". Ik beloof zoo recht mogelijk op ons doel te zullen afgaan en niet ter wille van de volledigheid der scheikundige beschouwingen zijwegen te zullen inslaan. Ongeveer zeventig grondstoffen komen onder de bekende zelfstandig-

heden voor. Men zou deze grondstoffen met letters en de stoffen in het algemeen met woorden kunnen vergelijken.

Sommige letters kunnen op zichzelf woorden zijn; met eenige tusschenwerpsels is dit het geval; verreweg de meeste woorden zijn door vereeniging van twee of meer letters gevormd; zoo zijn eveneens betrekkelijk weinig stoffen grondstoffen en kan de groote meerderheid door synthese uit twee of meer grondstoffen ontstaan. Zwavelijzer is eene stof, waarvan de synthese uit twee grondstoffen kan worden volbracht; onder de woorden zou men dan ter vergelijking woorden van tweeërlei letters moeten kiezen; dit is ook het geval met koolzuur, dat door synthese uit koolstof en zuurstof, en met water, dat door synthese uit zuurstof en waterstof kan ontstaan. Ongebluschte kalk en water, beiden te vergelijken met woorden van tweeërlei letters, brengen in de gebluschte kalk eene stof voort, die met een woord moet vergeleken worden, dat uit drieërlei letters is samengesteld; ongebluschte kalk en water toch zouden beiden voor haar synthese zuurstof behoeven, zoodat van de bestanddeelen, die voor elk van beiden noodig zijn, telkens één hetzelfde is. Nitroglycerine eindelijk (wij zouden de reeks verder kunnen voortzetten) vindt onder de woorden met vierderlei letters haar gelijkenis.

In den klank der woorden vindt men nog den invloed der afzonderlijke letters; de beteekenis der woorden is echter onafhankelijk van den aard der letters; wat heeft de letter *e* op zichzelf uit te staan met de beteekenis van de woorden: *bedelen* en *bedeelen*? Eene dergelijke opmerking kan men maken aangaande de eigenschappen van de grondstoffen en van de uit hen door synthese (hetzij deze synthese alleen denkbaar of ook praktisch uitvoerbaar is) gemaakte andere stoffen. In het uitwendig voorkomen van deze stoffen geraakt de invloed van de grondstoffen zelfs geheel schuil, terwijl de letterteekens nog in de woorden blijven bestaan; wie toch kan zien, dat van het koolzuur en den waterdamp, beide kleurlooze gasvormige bestanddeelen van de dampkringslucht, beide gevormd door de stofwisseling in ons lichaam en diensgevolge in rijke mate voorhanden in de door ons uitgeademde lucht, het eerste wel door synthese uit koolstof en zuurstof en het tweede niet op die wijze zou kunnen ontstaan? Dat nitroglycerine als laatste ontledingsprodukten zou kunnen geven: stikstof, koolstof, zuurstof en waterstof? Dat voor de vorming van vitriool uit grondstoffen hiervan de volgende drie: zwavel, zuurstof en waterstof voorhanden moeten zijn? Dat suiker en azijn-

zuur, alkohol en carbolzuur, het zetmeel van het brood en de boter, die op ons brood wordt gesmeerd, dat deze zes stoffen en honderden andere tot koolzuur en water kunnen verbranden en daarom uit koolstof, waterstof en zuurstof heeten te bestaan?

Gaat het uitwendig voorkomen van de grondstoffen geheel zoek, (verliezen, zouden wij kunnen zeggen, de grondstoffen haar individualiteit), wanneer uit haar door synthese andere stoffen worden gevormd, ééne eigenschap nemen zij in ongerepten toestand mede en deelen zij aan het nieuwe geheel, dat zij vormen, mede. Deze eigenschap is haar gewicht. Waar vitriool of zwavelzuur uit de grondstoffen zou worden gemaakt, daar zou blijken, dat er in gewicht evenveel van ontstond als aan het gezamenlijk gewicht van zwavel, zuurstof en waterstof werd verbruikt. Met deze bijzonderheid houdt men rekening bij het teekenschrift, hetwelk de scheikundigen gebruiken.

De vergelijking tusschen letters en grondstoffen, woorden en stoffen in het algemeen kunnen wij nu laten varen. Er hangt een zware tak dwars over den weg, de zin van het scheikundig teekenschrift.

De eindelooze verscheidenheid der bestaande stoffen, die ten slotte, wat hunne samenstelling betreft, tot de ongeveer zeventig grondstoffen worden teruggeleid, wordt op eenvoudige wijze in teekens uitgedrukt.

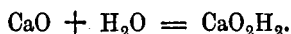
Het beginsel hiervan is dit, dat eene vaste hoeveelheid van elke grondstof door een teeken van één of van twee letters wordt voorgesteld. Die hoeveelheid draagt den naam *atoom*. Voor een atoom ijzer is het teeken Fe (de eerste twee letters van het latijnsche woord: *ferrum*), voor een atoom zwavel is het teeken S (de eerste letter van het latijnsche woord *sulphur*); zoo stellen de teekens O, H, N, C en Ca (de eerste letters van de uit grieksche vormen samengestelde woorden: *oxygenium*, *hydrogenium* en *nitrogenium* en van de latijnsche vormen: *carbonium* en *calcium*) achtereenvolgens atomen zuurstof, waterstof, stikstof, koolstof en calcium (een metaal) voor. Hoe men weet, dat, als de door O voorgestelde hoeveelheid zuurstof 16 gewichtsdeelen (16 gram b.v.) is, H moet voorstellen 1 gram waterstof, N 14 gram stikstof, Fe 56 gram ijzer, S 32 gram zwavel, C 12 gram koolstof en Ca 40 gram calcium, kan hier niet worden behandeld. Hier zij voldoende, dat elk teeken een atoom van de grondstof voorstelt en dat de verhouding tusschen de aan die teekens verbonden gewichtshoeveelheden de verhouding tusschen de *atoomgewichten* is.

Nu wordt ook voor de stoffen, die geacht kunnen worden uit de grondstoffen door synthese (of deze practisch uitvoerbaar is doet hier

weder niets ter zake) te kunnen ontstaan, een teeken gebruikt. Dit teeken is op zijn minst uit de teekens van twee grondstoffen samengesteld en wijst op die misschien praktisch uitvoerbare synthese. Het teeken voor zwavelijzer b.v. is FeS en dat voor ongebluschte kalk CaO . Een deskundige leest hier bovendien in, dat juist 56 gram ijzer (het gewicht van één atoom ijzer) zich met 32 gram zwavel (het gewicht van één atoom zwavel) vereenigen, of liever dat voor de vorming van zwavelijzer 7 gram ijzer noodig zijn tegen 4 gram zwavel. Zoo ligt in het teeken voor ongebluschte kalk opgesloten, dat 40 gram van het metaal calcium 16 gram zuurstof zouden behoeven; liever dat deze twee grondstoffen in de verhouding van $2\frac{1}{2}$ gewichtsdeel tegen 1 gewichtsdeel aanwezig moeten zijn, zullen zij bij haar onderlinge inwerking $3\frac{1}{2}$ gewichtsdeel ongebluschte kalk geven.

Het teeken voor water, dat op deze opvatting berust, is H_2O en dat voor koolzuur is CO_2 . Het cijfer 2 rechts van de hoofdletters H en O beteekent, dat de door H en O voorgestelde gewichtshoeveelheden tweemaal in rekening moeten worden gebracht, tegen de hoeveelheid van O éénmaal (bij water) en de hoeveelheid van C éénmaal (bij koolzuur). Het is namelijk eene stilzwijgende overeenkomst; dat de door een letterteeken voorgestelde gewichtshoeveelheid eenmaal wordt geteld, wanneer rechts van het letterteeken geen cijfer (boven of beneden) is geplaatst. De gewichtshoeveelheden waterstof en zuurstof, die te zamen tot water kunnen worden, staan dus tot elkander als 2×1 gram en 16 gram; telt men deze twee hoeveelheden bij elkander op, dan verkrijgt men tot uitkomst, dat het teeken H_2O 18 gram water voorstelt. Zoo stelt CO_2 44 gram koolzuur voor, eene hoeveelheid die gevormd kan worden, wanneer 12 gram koolstof (diamant b.v.) in de lucht verbranden en dan 2×16 gram zuurstof uit de lucht wegnemen.

Voor andere stoffen kan men meer samengestelde teekens behoeven, het teekenschrift laat u niet in den steek. Het feit, dat de door CaO voorgestelde hoeveelheid (dus 56 gram) ongebluschte kalk zich bij het blussen vereenigen met de door H_2O voorgestelde hoeveelheid water (dus met 18 gram), drukt men uit door de volgende vergelijking, waaruit het teeken CaO_2H_2 voor de gebluschte kalk als van zelf voortvloeit:



Eindelijk noem ik nog het teeken voor de nitroglycerine: $\text{C}_3\text{H}_5\text{N}_3\text{O}_9$; hierin ligt opgesloten, dat wanneer deze stof ontleed wordt, de door het teeken voorgestelde gewichtshoeveelheid (3×12 gram + $5 \times$

1 gram + 3×14 gram + 9×16 gram dus samen 227 gram) van verschillende andere stoffen evenveel kan doen ontstaan, als ook door de werking van 36 gram koolstof, 5 gram waterstof, 42 gram stikstof en 144 gram zuurstof kan worden gevormd.

Nog ééne opmerking naar aanleiding van deze teekens. Hier werd de waarde der letterteekens steeds in grammen uitgedrukt. In het algemeen is dit de bedoeling niet. De cijfers 16 voor O, 12 voor C enz. geven de verhouding aan van *onbenoemde* gewichtshoeveelheden; zij kunnen even goed duizendsten van milligrammen als elke andere bepaalde gewichtshoeveelheid voorstellen.

Wanneer deze zwarigheid hiermede uit den weg geruimd mag zijn, zooals ik hoop, zouden wij de vraag kunnen hervatten, welke beteekenis het woord *synthese* en de uitdrukkingen *synthetische bereidingen* in de scheikunde nog meer hebben behalve die, welke op bladz. 36 werd genoemd.

Ook hier blijft de beteekenis van het woord *synthese* als *samenstelling* gehandhaafd, al denken wij niet meer alleen aan het samen verbinden van twee of meer stoffen tot één geheel. Wij beperken ons tot het gebied der koolstofverbindingen; is het voor deze begrepen, dan kan het gemakkelijk worden toegepast op verbindingen, die van andere grondstoffen zijn afgeleid.

Met de synthese van koolstofverbindingen wordt de bereiding bedoeld van stoffen, waarvoor een grooter aantal atomen koolstof noodig is, uit andere, die een kleiner aantal atomen in haar teeken vertoonen. Men zou kunnen spreken van het naar elkander toeschuiven van koolstofatomen uit de teekens van twee verschillende stoffen, zoodat het gezamenlijk aantal atomen koolstof grooter wordt. Bij de behandeling van de teekens moge dit een lichte taak zijn, men moet een man van het vak zijn om te kunnen beoordeelen, hoeveel bewerkingen de scheikundigen de stoffen, waarmede zij werken, moeten laten ondergaan, hoeveel denkkraft en hoeveel kostbare uren het hun kost, voordat eene dergelijke synthese in de werkelijkheid met goede vrucht is volbracht.

De methoden voor syntheses in dezen zin zijn talrijk. Misschien gelukt het ons een paar stoffen te noemen, die niet al te onbekend zijn en waarbij eene synthese is gelukt, die in de scheikunde onder den naam van *synthese van KILIANI* terecht beroemd is geworden.

Misschien is het bij het gebruik van brandspiritus onder een theeketel of bouilloir wel eens den een of ander opgevallen, dat, wanneer de vlam bij gebrek aan brandspiritus uitgegaan was, de pit nog bleef doorgloeien; er verspreidt zich dan weldra een scherpe reuk

door het vertrek. Deze reuk is niet die van brandspiritus maar van eene stof, die gevormd wordt door de langzame verbranding van de laatste deelen brandspiritus, die de vochtige pit nog opgezogen houdt. Deze langzame verbranding houdt de misschien reeds half-verkoolde pit nog geruimen tijd gloeiend. De stof, die zoo scherp riekt, heet *aldehyd*; haar teeken C_2H_4O leert ons nu, dat 2×12 gram + 4×1 gram + 1×16 gram of 44 gram voor sommige scheikundige werkingen kunnen gelijk staan met 2×12 gram koolstof.

Eene stof, die althans bij name bekend is, is het vergiftige *blauwzuur* of *pruisisch zuur*, waarvoor het teeken is HCN; één atoom waterstof, één atoom koolstof en één atoom stikstof staan hier tot een geheel vereenigd.

Nu wordt uit een mengsel van aldehyd en blauwzuur tamelijk gemakkelijk de zelfstandigheid verkregen, die aan zuur geworden melk haar zuren smaak geeft en die ook in gegiste plantaardige stoffen b.v. in zuurkool voorkomen kan. Zij heet *melkzuur*; haar teeken bevat evenveel atomen koolstof, als de teekens voor aldehyd en blauwzuur te zamen bevatten. Melkzuur heeft tot teeken $C_3H_6O_3$. Bij vergelijking met de bovenstaande teekens voor aldehyd en blauwzuur blijkt, dat men niet deze twee teekens eenvoudig bij elkander mag optellen om het teeken voor melkzuur te verkrijgen. Immers het teeken N voor de stikstof van blauwzuur valt weg; de gezamenlijke hoeveelheid waterstof en zuurstof neemt toe, alleen de hoeveelheden koolstof voegen zich bij elkander. Zooals boven werd gezegd, is juist dit het eigenaardige van syntheses op het gebied der koolstofverbindingen.

Dezelfde synthese, door de inwerking van blauwzuur op suikers, heeft E. FISCHER in de laatste jaren doen slagen bij de kunstmatige bereiding van andere suikers dan die de natuur oplevert.

Andere syntheses in dezen zin verrichtte A. W. HOFMANN in 1863, toen hij uit het door hem ontdekte magentarood, door behandeling met methyljodide, de verschillende soorten van *Hofmann's violet* bereidde, eene reeks van kleurstoffen van nooit vermoede schoonheid, een groot aantal fraaie kleurschakeeringen aanbiedend, roodviolet in zachte overgangen vertoonend tot blauwviolet toe. Vooral in den aanvang van de ontwikkeling der steenkoolkleurstoffen hadden dergelijke syntheses een machtigen invloed; zij gaven aan de verffabrikanten voor het eerst een zeker bericht, hoeveel zij voor hun bedrijf van de toepassing van zuiver wetenschappelijke proeven mochten verwachten. Ook de fabriekmatige bereiding van chemicaliën ondervond er bijna onmiddellijk de vruchtbare gevolgen van.

III

Maar nog eens moeten wij terugkeeren naar de beteekenis van de uitdrukking *synthetische bereiding* van koolstofverbindingen. Zij wordt nog in een anderen, in een ruimeren zin gebruikt, waarbij de beteekenis van het woord synthese, d. i. samenstelling, verloren gaat.

Ook hier wacht ons eene nieuwe hindernis op onzen weg. Het zal gelukkig de laatste zijn.

Boven werd uiteengezet, dat de deeltjes (molekulen) van die stoffen, die niet voor grondstoffen mogen gehouden worden, in hun teeken samengevat hebben teekens van atomen van grondstoffen. Twee stoffen werden door mij genoemd, waarvan de teekens uit eene aaneenschakeling van teekens van atomen van dezelfde soorten bestonden. Met aldehyd en melkzuur was dit het geval. Toch vertoonden de twee teekens een duidelijk verschil; het aantal atomen, zoowel van koolstof als van waterstof en van zuurstof, was in de teekens voor beide stoffen ongelijk.

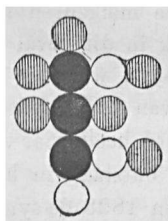
Dit laatste komt echter lang niet altijd voor bij stoffen, waarvoor men in de teekens dezelfde letters schrijven moet. Ook het aantal van alle atomen kan in de teekens voor twee of meer stoffen hetzelfde moeten zijn. Zoo bevat de spiervloeistof een zuur, het vleeschmelkzuur, waarvan de scheikundige samenstelling volkomen overeenstemt met die van het zuur uit zure melk en uit zuurkool, zoodat ook daarvoor $C_3 H_6 O_3$ het teeken moet zijn. Er heerscht in de meeste eigenschappen eene groote overeenstemming tusschen deze twee; toch verschillen het melkzuur uit zure melk en *vleeschmelkzuur* in sommige eigenschappen zóó duidelijk van elkander, dat men ze voor twee onderscheiden stoffen moet houden. Wordt nu, hetzij door eene verwarming onder bepaalde omstandigheden of op eenige andere wijze, het eene van deze twee melkzuren ten koste van het andere gemaakt, dan spreekt men ook in dit geval van eene synthetische bereiding. Dit doet men dan vooral, wanneer eene der twee stoffen vroeger alleen als voortbrengsel van de stofwisseling in een levend organisme bekend was en men geleerd heeft haar voortaan, ook buiten dat levend organisme om, te doen ontstaan in het scheikundig laboratorium. Opzienwekkend was b.v. in 1828 de synthetische bereiding van ureum door F. WÖHLER. Ureum, in den regel een voortbrengsel van de stofwisseling in ons lichaam, werd door WÖHLER verkregen in plaats van ammoniumcyanaat, dat in zijn teeken een gelijk aantal atomen koolstof, stikstof en waterstof vertoont als ureum. De

vermelding van den grooten invloed van deze synthese, haar invloed op de geschiedenis van het begrip *levenskracht*, zou ons hier te ver afvoeren van den weg, dien wij nu moeten volgen.

Twee of meer stoffen, waarvan de molekulen teekens aantoonen met dezelfde letters en, blijkens de cijfers rechts van de letters, van dezelfde letters telkens evenveel, noemt men *isomere* stoffen. Het valt moeilijker te begrijpen, waarom zulke stoffen in eigenschappen van elkander verschillen, dan waarom twee stoffen onderscheiden zijn, die uit ongelijke atomen zijn opgebouwd. Integendeel het zou ons verbazen, wanneer zwavelzuur H_2SO_4 en melkzuur $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ dezelfde eigenschappen bezaten. Maar ook wat de onderling isomere melkzuren en wat andere onderling isomere zelfstandigheden betreft, werd te zijner tijd de vraag gesteld: hoe vermog men eenigermate rekenschap te geven van het verschil in eigenschappen, hetwelk zulke onderling isomere stoffen vertoonen?

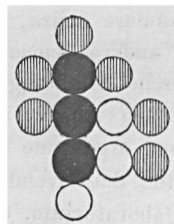
De structuurformules voor zulke stoffen zijn op die vraag het antwoord geweest. Het aantal atomen moge hetzelfde zijn, in de volgorde, waarin die atomen met elkander verbonden zijn, zou verschil kunnen zijn. Twee teekeningen in een plat vlak (bij ernstige beschouwingen stelt men zich de opeenvolging van de atomen *in de ruimte* voor) mogen een indruk geven van hetgeen hier wordt bedoeld. Behalve de twee zoo even genoemde melkzuren bestaat er eene derde daarmede isomere stof, die dan ook den naam melkzuur en het teeken $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ heeft. De wijze, waarop de atomen koolstof, waterstof en zuurstof in de deeltjes van dit melkzuur (fig. 1) en in die van een der twee andere melkzuren (fig. 2) op elkander volgen, wordt in structuurformules in een plat vlak aldus uitgedrukt:

fig. 1.



Strukturformule van het synthetisch melkzuur. De drie zwarte cirkels wijzen atomen koolstof, de zes gestreepte cirkels wijzen atomen waterstof en de drie witte cirkels wijzen atomen zuurstof aan.

fig. 2.



Strukturformule van melkzuur uit zure melk en uit de spiervloeistof.

Het onderscheid in dergelijke structuurformules voor onderling isomere stoffen staat met eigenschappen van elk der stoffen in verband. Over de manier, waarop men tot het stellen van deze structuurformules kwam en over de denkbeelden waarop zij berusten, wordt hier verder niet gesproken. Uitvoeriger werd dat onderwerp behandeld in een opstel »Oorsprong en beteekenis der structuurformules», *Album der Natuur* 1892, bladz. 50—66.

Men heeft deze structuurformules bepaald noodig voor de verklaring van het verschil in eigenschappen van onderling isomere stoffen. Maar bij alle koolstofverbindingen maakt men er gebruik van, ook wanneer er geen sprake van isomerie is. Ingewijden zeggen, dat het verband tusschen die koolstofverbindingen er duidelijk in wordt voorgesteld en dat zij in bepaalde groepeerings van atomen, in die structuurformules, zinnebeeldige uitdrukkingen van eigenschappen der stoffen lezen. Aan eigenschappen van stoffen wordt dus het geoorloofde of ongeoorloofde van structuurformules getoetst; de verbeeldingskracht wordt er door gecontroleerd en binnen betamelijke perken gehouden.

Hier moesten wij die structuurformules noemen, omdat men onder *synthetische bereiding* in den ruimsten zin verstaat eene kunstmatige, dikwijls vooraf gewilde bereiding van stoffen, die in structuurformules haar uitgangspunt, hare wegwijzers en haar kompas vindt.

Tot opheldering wenschen wij hier de klassieke kunstmatige bereiding van alizarine- of meekrapkleurstoffen te gebruiken.

Na de vruchtdragende werkzaamheid van HOFMANN (blz. 42) was het wetenschappelijk onderzoek van kleurstoffen weldra in vollen gang.

De mannen van de praktijk verschaften aan de beoefenaars van zuiver wetenschappelijk onderzoek het materiaal en wachtten met belangstelling de uitkomsten van dat onderzoek af. Vooral in Duitschland had men een open oog voor de vereischten van den nieuwen tijd; aan fabrieken van kleurstoffen werden scheikundigen in grooten getale verbonden, met geen andere verplichting, dan dat zij zich rustig aan hunne onderzoekingen zouden wijden. Men vertrouwde, dat de nijverheid er op haren tijd de vruchten van plukken zou. De toestand is zoo gebleven tot op dezen dag en de volkswelvaart heeft er groot voordeel bij gevonden. Een paar jaar geleden waren aan de *Badische Anilin- und Sodafabrik* te Ludwigshaven niet minder dan *acht-en-zeventig* scheikundigen werkzaam, waarvan *zes-en-vijftig* den titel doctor in de scheikunde bezaten.

In den tijd, waarin de lezers nu worden verplaatst, verkeerde

de koolteer- en verfstofindustrie nog in haar kindsheid. Het is in 1868. GRAEBE en LIEBERMANN passen eene kort geleden ontdekte bewerking: de verhitting met zinkstof, toe op alizarine, de grondstof van de meekrapkleurstoffen. Zij verkrijgen hierbij anthraceen, eene stof, die jaren geleden voor het eerst afgezonderd werd uit de bij hoogere temperaturen kokende bestanddeelen van koolteer en die tot nog toe in de uit dat teer vervaardigde smeeroliën als eene stof van geringe waarde gebruikt werd.

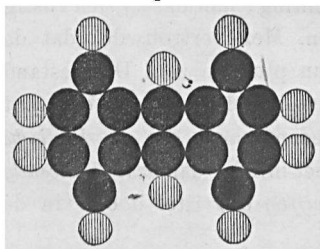
Anderen hadden vroeger getracht alizarine te maken uit een ander voortbrengsel van de verhitting van koolteer, namelijk uit naphthaline, doch zonder den gewenschten uitslag. Uit benzol (het hoofdbestanddeel van vlekkenwater) was iets gemaakt, dat in eenige eigenschappen zóóveel op alizarine geleek, dat men alle benzolachtige stoffen hoopte te kunnen gebruiken voor de vervaardiging van alizarineachtige stoffen. Het werd eerst met naphthaline beproefd, zooals gezegd werd, maar te vergeefs: hetgeen men verkreeg mocht veel op alizarine gelijken, alizarine was het nog niet.

Daarop kiezen GRAEBE en LIEBERMANN alizarine als het uitgangspunt en niet als het einddoel van hun onderzoek. Zinkstof doet er het met benzol en naphthaline verwante anthraceen uit ontstaan.

De weg moet dus nu weder in de tegengestelde richting worden afgelegd. Hoe dit geschieden kon, welke middelen er voor moesten worden gebruikt, welke scheikundige bewerkingen op anthraceen moesten worden toegepast, GRAEBE zag zich hierbij den weg aangewezen door de structuurformule, die reeds algemeen voor anthraceen was aangenomen, en ten tweede door die, welke hij aan alizarine meende te mogen geven.

De structuurformule, waarin de beteekenis der cirkels dezelfde is als op bladz. 44 en die het best bij de eigenschappen van anthraceen paste, wordt door fig. 3 voorgesteld.

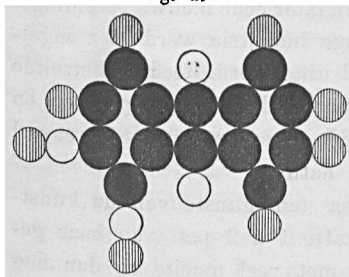
fig. 3.



De overeenkomst in eigenschappen van alizarine met de hierop gelijkende stoffen, die uit benzol en naphthaline waren vervaardigd, gaf aan GRAEBE vrijheid voor alizarine de structuurformule op te stellen van fig. 4.

Zooals men ziet, is het onderscheid tusschen deze twee schema's gering. Het was bekend, welke scheikundige bewerkingen noodig waren om van

fig. 4.



twee stoffen, wier structuurformules ditzelfde verschil vertoonen, de eerste voor de bereiding van de tweede te doen dienen. GRAEBE en LIEBERMANN passen deze bewerkingen ook hier achter-eenvolgens toe. De kunstmatige alizarine was geboren. In wijden, zeer wijden kring zouden de gevolgen hiervan binnen weinig jaren worden gevoeld.

Door dr. HEINRICH CARO, een man van het vak en bekwaam scheikundige, werd de verdere geschiedenis onlangs¹ in levende trekken geteekend. In een oogwenk werd, bijna op denzelfden tijd in Duitschland en in Engeland in het voorjaar van 1869 de fabriekmatige bereiding ontdekt, zooals zij nog heden ten dage geschiedt.

Wel bestond er in het begin nog eenige twijfel, of uit koolteer genoeg anthraceen zou kunnen gewonnen worden, opdat het kunstprodukt in den strijd met de natuurlijke meekrap verwinnaar zou zijn. Destijds werden jaarlijks ongeveer 70.000 tonnen meekrapwortel verwerkt; wanneer men de hoeveelheid zuivere verfstof op slechts 1 pct. van het gewicht van den wortel schatte, dan zou men zeker moeten zijn jaarlijks over duizenden tonnen anthraceen te kunnen beschikken.

Zoo worden de koolteerfabrikanten aan het werk gezet om de destillatie van hun teer voortaan verder voort te zetten dan vroeger. Tot nog toe waren zij gewoon dat teer te verhitten, totdat er in de retorten half-vaste, half-vloeibare oliën overbleven, die als smeeroliën werden gebruikt. Voortaan werden ook deze smeeroliën verhit, totdat zij na bekoeling tot pek vast werden; het vloeibare gedeelte was nu verdampd en had in den ontvanger een destillaat opgeleverd, eene zware teerolie, waaruit anthraceen kon worden afgescheiden.

De vrees voor gebrek aan anthraceen kon wijken. Alleen van den kant der meekrapbouwers werd van tijd tot tijd getracht de onrust gaande te houden. Het bleek echter, dat er genoeg zou zijn, wanneer koolteer hoogstens 0,4 pct. zuiver anthraceen bevatte. Er was voorraad en meer dan dat. De gasfabrikanten zagen den prijs van hun koolteer verhoogd en in de koolteerindustrie vonden meer handen werk. De behoefte aan rookend zwavelzuur voor de omzetting van anthraceen

¹ *Ueber die Entwicklung der Theerfarben-Industrie.* Berlin, R. FRIEDLÄNDER UND SOHN, 1893.

in alizarine riep weldra nieuwe fabrieken en later eene nieuwe bereidingswijze van dit zuur in het licht. De jonge industrie werd met engelsche geestkracht en duitse degelijkheid uitgevoerd. Reeds in hetzelfde jaar 1869 kwam de alizarine aan de markt. Een strijd op leven en dood, de eerste van dien aard, ontbrandde tusschen een voortbrengsel der kunst en een voortbrengsel van de natuur.

Verschillende omstandigheden werkten ten gunste van de kunstmatige alizarine. De meekrapwortel bevatte 1 à 2 pct. van haar gewicht aan kleurstof, die daar niet dan met veel moeite en dan nog niet zuiver uit kon worden verkregen. De bouw was duur en lag beslag op uitstekend land. Omdat de verf niet zuiver was, moesten de geverfde stoffen aan langdurige en kostbare avivagien onderworpen worden. Daarentegen was de kunstmatige alizarine bijna scheikundig zuiver. Bij het verven en drukken van katoenen stoffen maakte zij dientengevolge spoedig opgang.

Ten overvloede leerde men uit de kunstmatige alizarine spoedig andere kleurstoffen bereiden; o. a. kunstmatige purpurine, alizarine-oranje, alizarine-blauw, alizarine-groen, anthraceenblauw.

De beslissing liet niet lang op zich wachten, vooral omdat de kunstmatige alizarine-kleurstoffen steeds goedkooper werden, ten gevolge van de mededinging van talrijke fabrikanten.

Vier jaren later, bij gelegenheid van de werelddtentoonstelling te Weenen in 1873, kwam het uit, dat de hoeveelheid alizarine, die jaarlijks uit koolteer werd bereid, ruimschoots kon voorzien in de jaarlijksche behoefte, waarvoor vroeger meekrap werd verbouwd. Op de werelddtentoonstelling te Parijs in 1878 werd weder een verslag uitgebracht, waaruit bleek, dat de hoeveelheid meekrap, die in Frankrijk werd verbouwd, een *vijftigste* bedroeg van hetgeen vroeger werd gewonnen en dat deze hoeveelheid niet eens meer noodig bleek te zijn. Na 1878 verloor de meekrap ook haar terrein bij het verwen en drukken van wollen stoffen.

Het graan golfde weder op den akker op de plaats, waar vroeger meekrap stond."

Zoo eindigt Dr. CARO zijne mededeelingen over den rechtstreekschen invloed van de ontdekking der kunstmatige alizarine.

Aan de woorden, die wij het laatst van hem overnamen, is het te merken, dat hij door duitse oogen ziet en dat hij de zaken beschouwt van den kant, waar voordeel behaald werd. Zoo opgewekt stemde de nieuwe stand van zaken lang niet iedereen, die er bij

betrokken was. Het graan golfde wel op den akker, maar niet tot ieders tevredenheid. GRIMAUX herinnerde onlangs nog, dat een departement van Frankrijk, dat voornamelijk van den meekrapbouw leefde, zich ernstig in zijne belangen getroffen zag; meekrapvelden, waarvan de hectare vroeger 10.000 *francs* waardig waren geweest, werden voor 500 *francs* de hectare verkocht.

Hoe groot de voordeelen zijn, die de duitsehe nijverheid ondervond van de door GRAEBE en LIEBERMANN met behulp der structuurformules gedane ontdekking, kan onmogelijk in cijfers worden uitgedrukt, daar verscheidene takken van scheikundige industrie eene geheele hervorming ondergingen en andere nieuw werden geschapen, terwijl ook de vervaardiging van de noodige nieuwe toestellen aan tallooze handen werk verschafte. Eenige cijfers, die natuurlijk een zeer onvolledigen indruk geven, daar zij alleen op de hoeveelheid alizarine zelf betrekking hebben, gaf dr. H. WICHELHAUS in 1893 ¹. Jaarlijks wordt ongeveer 25.000 ton alizarine gemaakt, waarvan $\frac{7}{8}$ in duitsehe fabrieken. De waarde van de in 1874 in Duitschland bereide alizarinekleurstoffen schat hij op 12 millioen *Mark*. Voor de jaren 1878, 1882 en 1890 zijn die cijfers 25 millioen, 35 millioen en 25 millioen *Mark*. Daar de prijs van de alizarinekleurstoffen inmiddels eene aanmerkelijke daling had ondergaan, is de hoeveelheid, die jaarlijks bereid werd, binnen acht jaren meer dan verdubbeld. ²

(Slot volgt).

¹ *Wirtschaftliche Bedeutung chemischer Arbeit*. Braunschweig, FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN, 1893.

² Ook ons land ondervond den terugslag van de nieuwe bereiding.

Nog onlangs bevatte het *Nieuws van den Dag* het volgend bericht uit Oude-Tonge op Flakkee:

»De meestof is, na eene rust van vijftien jaren, weder begonnen te werken. De voordeelige prijzen van de meekrap in de laatste drie jaren spoorden vele landbouwers onder deze gemeente aan, om de teelt van dat gewas dit jaar aanzienlijk uit te breiden. In hunne verwachtingen zijn zij echter deerlijk telenrgesteld: de prijzen der meekrap zijn ongekend laag; de 50 KG., welke in 1892 ongeveer f 30 opbracht, geldt nu slechts f 14.

Natuurlijk zal nu het volgend jaar weer weinig of geen meekrap verbouwd worden, tot groot nadeel van de arbeidende klasse, want weinig landbouwproducten vereischen zóóveel arbeid als deze verfstof."