

OORSPRONG EN BETEKENIS
VAN
STRUKTURFORMULES.

DOOR

Dr. G. DOYER VAN CLEEFF.

Den elfden Maart van het vorig jaar werd te Berlijn een vijf-entwintigjarig jubilaëum gevierd. Redevoeringen werden gehouden, wat zou een jubilaëum zonder redenaars zijn; adressen van hulde werden aangeboden en telegrammen van gelukwensching ontvangen, zooals dat gebruikelijk is; een feestmaaltijd werd gehouden, dat spreekt wel van zelf.

Het feest behoorde niet tot dat soort, waarvan er in de duitsche wereldstad elke week eenige kunnen worden gevierd. Immers Keizer WILHELM II liet melden, dat hij tot zijn leedwezen geen gebruik kon maken van de uitnoodiging om het feest mede te vieren; de regeering des lands was door den minister van onderwijs VON GOSSLER vertegenwoordigd; die *Hauptstadt der Intelligenz* had de zalen van haar raadhuys beschikbaar gesteld en twee leden van haren raad behoorden tot de gasten; de adressen waren afkomstig van engelsche, russische, amerikaansche, italiaansche genootschappen, ja zelfs een fransch genootschap had, allen chauvinisten ten spijt, zijne afgevaardigden gezonden om een eervol schrijven voor te lezen; de telegrammen waren denzelfden dag afgezonden uit Rome, Milaan, Palermo, Odessa, Moskou, Weenen, St. Petersburg enz. enz. Het was eene feestviering, zooals er onlangs ook te Berlijn ter eere van VON HOFMANN, VIRCHOW en VON HELMHOLTZ plaats hadden.

En ter herdenking van welk feit had dit internationale huldebetoen plaats en wien gold deze eer? De held van het feest was AUGUST KEKULÉ, hoogleeraar in de scheikunde aan de universiteit te Bonn; de reden, waarom zoovelen den genoemden elfden Maart naar Berlijn waren samengevloeid, was, dat KEKULÉ in het voorjaar van 1865 eene struktuurformule had gegeven voor benzol, eene der vele en wel de meest bekende der vloeistoffen, welke het steenkolenteer ons geeft.

Eene struktuurformule! Alleen zij, die onderwijs in de scheikunde hebben genoten, kunnen zich eene voorstelling van de beteekenis van dit woord maken. Of allen, die zulks kunnen, nu ook eenigszins vermogen te beseffen, waarom zulk eene struktuurformule de reden tot eene feestelijke samenkomst in het Berlijnsche raadhuis kon zijn, valt nog zeer te betwijfelen. En wanneer dan nu hier eene poging zal worden gewaagd het verband tusschen de beide zaken in het licht te stellen en er bij het lezend publiek belangstelling voor te wekken, dan dient wel vooraf eene beknopte uiteenzetting gegeven te worden van hetgeen de scheikundigen onder struktuurformules verstaan.

De beoefenaars der scheikunde maken bij de geschreven of gedrukte behandeling van het vak hunner keuze veelvuldig gebruik van teekens of zinnebeelden, waarin zij eene korte uitdrukking vinden voor een begrip. Wanneer zij b.v. van keukenzout willen zeggen, dat het door vereeniging van twee zeer ongelijksoortige stoffen kan worden samengesteld, namelijk door vereeniging van het zilverwitte metaal natrium en het groenachtig gele gas, dat den naam chloor draagt, dan vinden zij eene beknopte uitdrukking voor dit feit in het teeken NaCl voor keukenzout; het teeken Na wijst op natrium en het teeken Cl op chloor en dat deze twee teekens als zoodanig worden gebruikt voor de twee bedoelde stoffen, is het gevolg daarvan, dat tot nog toe een middel om natrium of om chloor samen te stellen niet gevonden is en dat men tot nog toe nooit heeft kunnen waarnemen, dat natrium of chloor zich in twee ongelijksoortige bestanddeelen liet splitsen. Van het gebruik van de teekens Na en Cl op zichzelf is dus de bedoeling om te kennen te geven, dat natrium en chloor (vooralsnog) voor grondstoffen moeten gehouden worden, terwijl de verbinding van deze twee teekens tot NaCl , om daarmede keukenzout aan te wijzen, in zich sluit, dat deze stof geen grondstof is.

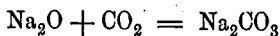
Niet alleen wordt in dit teeken voorgesteld, welke ongelijksoortige stoffen te zamen keukenzout kunnen voortbrengen of misschien daaruit kunnen worden verkregen, bovendien leest men er in, dat 23 gewichts-

deelen Na op 35.5 gewichtsdeelen chloor voor de vorming van keukenzout noodig zijn. Een teeken namelijk, waardoor eene grondstof wordt voorgesteld, stelt daarvan tevens eene bepaalde gewichtshoeveelheid voor; wanneer Na 23 gewichtsdeelen voorstelt, stelt Cl 35.5 gewichtsdeelen voor, C (koolstof of carbonium) 12 gewichtsdeelen, O (zuurstof of oxygenium) 16 gewichtsdeelen enz. Deze hoeveelheden noemt men de atoomgewichten der grondstoffen; zij stellen de verhouding voor tusschen de gewichtshoeveelheden van de atomen der grondstoffen, dus van de kleinste hoeveelheden dier grondstoffen, die als elementen¹ in de samengestelde stoffen voorkomen.

In het tot nog toe gebruikte voorbeeld, het teeken voor keukenzout, was het aantal atomen chloor en natrium gelijk. Verschilt dit aantal bij de eene soort van atomen en bij de andere, dan wordt dit door een cijfer rechts aan den benedenkant van het teeken aangewezen. Is b.v. het teeken voor (water vrije) soda Na_2CO_3 , dan wordt hiermede bedoeld, dat 2×23 gewichtsdeelen natrium noodig zijn op 12 gewichtsdeelen koolstof en op 3×16 gewichtsdeelen zuurstof. Ook deze samengestelde stof kan uit de daarin door teekens voorgestelde grondstoffen ontstaan. Hiervoor zou het noodig zijn, dat de hoeveelheid houtskool, die 12 G. zuivere koolstof bevat, bij overvloedigen toevoer van (zuurstof uit de) lucht werd verbrand; de daardoor gevormde 44 G. koolzuur, waarvoor het teeken CO_2 is, zouden dan in water moeten worden opgelost en daarna vermengd met de 62 G. natriumoxyde, die ontstaan zouden, wanneer 46 G. natrium aan droge lucht werden blootgesteld en zich met 16 G. zuurstof daaruit zouden verbinden. Had dit natriumoxyde tot teeken Na_2O , dan zou de hierdoor voorgestelde hoeveelheid zich met de door CO_2 voorgestelde hoeveelheid koolzuur tot 106 G. Na_2CO_3 vereenigen.

¹ In navolging van D. MENDELEJEFF (*Grundlagen der Chemie*, aus dem Russischen übersetzt von L. JAWEIN en A. THILLOT, R. 27, 1890) maken wij onderscheid tusschen het begrip *enkelvoudige stof* of *grondstof* en het begrip *element*. Met *grondstoffen* worden dan bedoeld de (tot nog toe) niet voor ontleding vatbare, in de werkelijkheid bestaande stoffen; met *elementen* de ongelijksoortige bestanddeelen, die men te zamen in eene samengestelde stof aanneemt. Het metaal natrium, dat men niet zonder gevaar met een *vochtigen* vinger aanraken kan, en het gas chloor, dat bij inademing zoo hevig op de ademhalingsorganen werken kan, zijn *grondstoffen*; in den toestand van *elementen* komen deze twee b.v. voor in het keukenzout, waarvan men de deeltjes met waterdamp vermengd inademt, wanneer men bij sommige keelaandoeningen hulp bij een inhalatie-toestelletje zoekt. In het laatste geval is er van de eigenschappen van de grondstoffen natrium en chloor niets meer te bespeuren.

Ook dit feit van de vereeniging wordt door een zinnebeeldigen vorm voorgesteld. Immers in de vergelijking



staat uitgedrukt, dat het gewicht van de stof, die na de werking aanwezig is, gelijk is aan de som van de gewichten der stoffen, die aanwezig waren, voordat de werking begon. Elke scheikundige werking, zij moge eene vereeniging, eene splitsing of iets anders zijn, heeft op deze wijze haar vergelijking, die haar in beknopten vorm vertolkt.

De hier tot nog toe behandelde teekens of formules zijn echter nog geen structuurformules. Hiertoe komen wij thans. In welke volgorde in eene samengestelde stof of verbinding de atomen van verschillende soort onderling verbonden zijn, of bijv. in (watervrije) soda het atoom C misschien in eene keten de schakel is, die de atomen Na met de atomen O verbindt, of men het geheel uit die zes atomen samengesteld, als eene in ééne richting zich uitstrekkende reeks beschouwt of wel als een kring van atomen, het antwoord hierop vindt men in de zoogenaamde structuurformules. Menigeen acht misschien de beantwoording van deze vragen onmogelijk, en wellicht ook het stellen zelf der vraag tijdverlies. De atomen zijn voortbrengselen van de verbeelding der scheikundigen, hun wezenlijk bestaan is op geen enkele wijze voor ons zinnelijk waarneembaar te maken; en nu zou men durven spreken over de opeenvolging dier atomen in het door hen gevormd geheel, met andere woorden over den bouw of de structuur van het gebouw, hetwelk zij volgens de levendige verbeeldingskracht van heeren scheikundigen heeten te vormen! Dat is te veel gevergd! En toch gingen den 11den Maart 1890 zoovelen naar het Berlijnsche raadhuys op, om daar de rijke vruchten te herdenken, die de in 1865 door KEKULÉ gegeven structuurformule voor benzol opgeleverd heeft. Wanneer het waar is, dat de boom aan zijne vruchten wordt gekend, dan bewijzen hier zonder twijfel de vruchten, dat de boom door KEKULÉ geplant een krachtigen wasdom heeft en zijne breede takken steeds in wijderen kring rondspreidt.

Wanneer hier nu eerst de gelegenheid gegeven wordt in korte woorden te vermelden, wat men onder structuurformules verstaat en op welken grondslag zij berusten, dan zal het vervolgens moeielijk vallen uit den overvloed van vruchten eene goede keuze te doen. Beperkten wij ons daarbij niet, dan zou van de aandacht der lezers te veel worden gevergd.

De atomen van onderscheiden soort verschillen ook hierin van elkander, dat zij met een ongelijk aantal atomen van ééne bepaalde soort een geheel kunnen vormen. Het teeken voor keukenzout is NaCl, waarin dus voorgesteld wordt, dat één atoom Na met één atoom Cl verbonden voorkomt tot keukenzout. Vraagt men nu naar het teeken van de verbindingen van atomen chloor met atomen zuurstof en met atomen koolstof en wel van die verbindingen, waarin één atoom zuurstof of één atoom koolstof voorkomt, dan geeft het antwoord de teekens Cl_2O en CCl_4 . Vergelijkt men dus onderling de atomen Na, O en C wat hun vatbaarheid betreft, om met atomen Cl een geheel te vormen, dat als eene bestaande verbinding een naam draagt, dan blijkt, dat één atoom Na met één atoom Cl, daarentegen één atoom O met twee atomen Cl en één atoom C met vier atomen Cl zulk een geheel vormt.

Tot dezelfde uitkomst brengt ons de vergelijking van onderscheiden atomen, wat betreft hun vermogen om met een zeker aantal atomen waterstof (teeken: H) deeltjes van ééne bepaalde stof te kunnen vormen. Zoo is het teeken van zoutzuur: HCl, dat voor water H_2O , dat voor ammonia of vliegende geest NH_3 en dat voor mijngas of moerasgas CH_4 . Van de atomen H, waarvan één atoom in het bedoelde opzicht gelijk staat met één atoom Na (immers beiden worden vastgehouden door één atoom Cl in zoutzuur HCl en in keukenzout NaCl), worden dus weder twee door één atoom O tot water en worden weder vier door één atoom C gebonden tot mijngas of moerasgas.

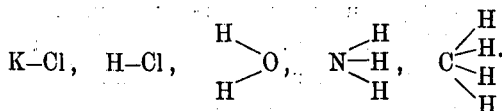
Van dit vermogen der atomen, zóó verschillend wat hun vatbaarheid betreft om rechtstreeks op een bepaald aantal atomen van eene tweede grondstof te kunnen werken, zijn tal van populaire voorstellingen gegeven. In zijn *Aus der Molecular-Welt*¹ leidt HERMANN KOPP de lezers binnen in een Atrarium, waarin verschillende gassen tentoongesteld zijn zooals de zeedieren in een Aquarium; éénhandige waterstofatomen en éénhandige chlooratomen komen daar bij paren tot molekulen verbonden voor; in andere afdelingen zijn de bewegingen van uit tweehandige zuurstofatomen, uit driehandige stikstofatomen, uit vierhandige koolstofatomen samengestelde deeltjes te zien. Sir LYON PLAYFAIR ontwikkelde onlangs den voortgang der schei-

¹ *Aus der Molecular-Welt*. Ein Gratulations-schrift an ROBERT BUNSEN von HERMANN KOPP. (Dritte Ausgabe) Heidelberg. CARL WINTER's Universitätsbuchhandlung 1886.

kundige denkbbeelden in de jubilee-vergadering der *Chemical Society*, wees op den grooten invloed ook van deze beschouwingen en sprak daarbij over de monogamie der waterstof en chlooratomen, de bigamie van zuurstof- en zwavelatomen, de polygamie van stikstof- en koolstofatomen enz.

Aan populaire voorstellingen, zeer bevorderlijk om eene duidelijke voorstelling van de bedoeling der zaak zelve te verschaffen, is dus geen gebrek. Met de zaak zelve wordt dan bedoeld, dat de aantrekkingskracht, die van één atoom van eenige grondstof kan uitgaan, naar gelang van den aard dier grondstof rechtstreeks kan werken op een ongelijk aantal atomen. Men is gewoon hetgeen hier werd gezegd samen te vatten in de woorden: een atoom waterstof is *éénwaardig*, een atoom chloor en een atoom natrium zijn dit ook, een atoom zuurstof is *tweewaardig*, een atoom stikstof *driewaardig*, een atoom koolstof *vierwaardig* enz.

Symbolisch wordt deze eigenschap weder in teekens uitgedrukt. Zoo stellen de teekens



voor, hetgeen men denkt omtrent de vereeniging der atomen tot deeltjes of molekulen chloorkalium (eene stof die veel op chloornatrium of keukenzout gelijk), zoutzuur, water, ammonia en mijn- of moerasgas.

Het is ook de verdienste van KÉKULE het eerst er op gewezen te hebben, welk licht de toepassing van de vierwaardigheid van het atoom koolstof verspreiden kon over het verband tusschen de tallooze reeksen van organische verbindingen. Hij zelf verhaalde ons, hoe en wanneer de voorstellingen dienaangaande een vasten vorm in zijn geest verkregen.

*Tijdens mijn verblijf in Londen woonde ik lang in Clapham road in de nabijheid van de Commons. De avonden bracht ik dikwijls door bij mijn vriend HUGO MÜLLER in Islington, aan het tegenovergestelde einde der wereldstad. Over velerlei onderwerpen spraken wij daar, maar het meest over de ons dierbare scheikunde. Op een schoonen zomeravond reed ik weder met den laatsten omnibus naar huis; de straten van de gewoonlijk zoo drukke wereldstad waren op

dien tijd verlaten; als altijd zittend boven op den omnibus verzonk ik in droomerijen. Daar zag ik voor mijne oogen de atomen op en neder dansen. Altijd had ik ze in beweging gezien die kleine wezens, maar nooit was ik er in geslaagd den aard van hunne bewegingen te doorgronden. Nu zag ik, hoe dikwijls twee kleinere zich twee aan twee vereenigden, hoe grooten twee kleinere als omvatten, hoe nog grootere drie of zelfs vier andere vasthielden; alles draaide rond in wentelende rijen. Ik zag, dat grootere te zamen eene lange rij vormden en alleen aan de uiteinden van de keten kleinere in hun vaart medesleepten. Ik zag, wat *Altmeister* KCPF, mijn hoogvereerde leermeester en vriend, in zijne *Molecularwelt* zoo levendig schildert; maar ik zag het lang, voordat hij het zag. De conducteur riep »Clapham road"; ik ontwaakte uit mijne droomerijen, maar hield mij er een gedeelte van den nacht mede bezig, om ten minste enkele schetsen van mijne droombeelden op papier te brengen. Zoo ontstond de structuurtheorie."

Het opstel, waarin KÉKULÉ den grondslag legt voor de tegenwoordig geldende beschouwingen, komt voor in *Annalen der Chemie und Pharmacie* CVI van 1858. Hij was destijds privaatsdocent te Heidelberg. Hoe zijne beschouwingen samenhangen met de destijds heerschende typentheorie leert men inzien door kennis te nemen van eenige opstellen over het knalkwik in hetzelfde tijdschrift, waarvan het eene gedateerd is 26 December 1856 en het tweede 23 December 1857. Men sprak destijds van stoffen, die tot den typus waterstof, tot den typus water, tot den typus ammonia behoorden; zulke stoffen, die te zamen tot één typus behoorden, hadden dan eenige belangrijke eigenschappen gemeen.

Later werd hieraan door KÉKULÉ een typus moerasgas toegevoegd. KÉKULÉ vergelijkt in het eerste opstel een groot aantal koolstofverbindingen met moerasgas; dit gas, samengesteld uit koolstof en vier deeltjes waterstof, wordt daarom door hem voorgesteld door $C_2 H H H H$; in de samenstelling van een groot aantal andere stoffen vindt hij zulk eene groote overeenkomst met die van moerasgas, dat de symbolische uitdrukking daarvoor geleidelijk van die van moerasgas kan worden afgeleid. Zoo ontstond de volgende tabel, waarin de teekens C, H, Cl, N, O, Br, Hg achtereenvolgens op de *elementen* koolstof, waterstof, chloor, stikstof, zuurstof, broom en kwik wijzen. Voor zoover de teekens der elementen te zamen eene algemeen bekende stof voorstellen, wordt de naam er bijgevoegd, waaronder niet-scheikundigen

haar kennen; is er alleen een wetenschappelijke naam, dan wordt deze hier verzwegen.

C_2	H	H	H	H	¹	(stelt voor: moerasgas).
C_2	H	H	H	Cl		
C_2	H	Cl	Cl	Cl	(» »	chloroform).
C_2	(NO ₄)	Cl	Cl	Cl		
C_2	(NO ₄)	(NO ₄)	Cl	Cl		
C_2	(NO ₄)	Br	Br	Br		
C_2	H	H	H	(C ₂ N)		
C_2	Cl	Cl	Cl	(C ₂ N)		
C_2	(NO ₄)	Hg	Hg	(C ₂ N)	(» »	knalkwik).
C_2	(NO ₄)	H	H	(C ₂ N)		

In het tweede opstel worden hieraan nog eenige toegevoegd; om de bedoeling in het licht te stellen, nemen wij uit de bovenstaande reeks twee teekens nog eens over, waarop de nieuwe het meest gelijken:

C_2	H	H	H	(C ₂ N)
C_2	Cl	Cl	Cl	(C ₂ N)
C_2	(NO ₄)	(NO ₄)	(NO ₄)	(C ₂ N)
C_2	(NO ₄)	Br	Br	(C ₂ N)

De bedoeling is de overeenkomst in samenstelling bij al de hier voorgestelde verbindingen op den voorgrond te stellen. C_2 verbonden nu met 4 deelen H, soms met drie deelen H en het vierde deel H door Cl of (C₂N) vervangen, of drie deelen H door drie deelen Cl vervangen (zooals in chloroform het geval is bij vergelijking met moerasgas) of ook nog het vierde door (NO₄) of door (C₂N) vervangen enz.

Maar waarom werden soms de teekens van tweeërlei elementen te samen binnen twee haakjes geplaatst, zooals met (NO₄) en met (C₂N) het geval was?

Met dezelfde bedoeling geschiedde dit, als waarmede ook thans nog deze samen koppeling van twee elementen van eene samengestelde stof dikwijls gebeurt, zoo wel in het teeken, waardoor haar samenstelling wordt uitgedrukt, als in den naam, waaronder zij bekend staat. De

¹ De hoeveelheden van de elementen koolstof en zuurstof, destijds door C_2 en O_4 voorgesteld, hebben thans tot teeken C en O_2 .

naam cyaankalium vergeleken met den naam chloornatrium voor keukenzout zou allicht het vermoeden wekken, dat ook de door den eersten naam aangewezen stof uit tweeërlei elementen bestaat. Kalium is ook de naam van eene grondstof; die evenals natrium een metaal is, dat men liefst niet dan bij zeer kleine hoeveelheden met water in aanraking brengt; zoo zou ook cyaan de naam van eene grondstof kunnen zijn, die het cyaankalium dan in den vorm van element bevat zooals in keukenzout of chloornatrium chloor als element aangenomen wordt. En toch is dit het geval niet. Er is geen grondstof, die cyaan heet. Wel bestaat er een gas, van dien naam, maar dit is eene samengestelde stof, opgebouwd uit koolstof en stikstof als elementen. Bij den overgang van de eene stof, waarvan de naam met cyaan samengesteld is, in eene andere, waarbij dit ook het geval is, gaan die koolstof en stikstof als elementen uit de eene in de andere over. De verhouding tusschen de gewichten van die twee is dus in de bedoelde stoffen onveranderlijk. Men noemt ze daarom hier te samen als waren zij één element: *cyaan*; in de bovenstaande formules worden zij in dit geval aangewezen door het teeken (C_2N), waarin de teekens voor de elementen C en N te zamen tusschen twee haakjes vereenigd zijn. Evenals men in 1858 deed, spreekt men ook tegenwoordig van een zoogenaamd *radikaal* of *samengesteld radikaal* cyaan. De bedoeling van KÉKULÉ was dus om met moerasgas tot één typus te vereenigen een aantal koolstofhoudende stoffen, waarin het element waterstof geheel of gedeeltelijk door andere elementen Cl (chloor), Br (broom) en Hg (kwik) of door radikalen (C_2N) en (NO_4) vervangen was.

Het gebruik van zoodanige radikalen was destijds algemeen. Men nam ze aan, men was het over de beteekenis van sommige eens en voerde over andere radikalen soms een heftigen strijd; men zag zich verder gedwongen om te onderstellen, dat het eene radikaal eene grootere hoeveelheid van het element waterstof verplaatste dan een ander radikaal deed, en bij deze omstandigheid legde men zich dan neder, zonder voor de oorzaak van dit verschil eene verdere verklaring te zoeken.

In het opstel in de *Annalen der Chemie und Pharmacie* CVI en gedateerd 16 Maart 1858, wijst KÉKULÉ op de noodzakelijkheid, om ook naar het »waarom» bij die radikalen te vragen. Het is volgens hem niet meer voldoende de eigenschappen van de verbinding te verklaren door het voorondersteld bestaan van groepen van atomen, die wegens eenige eigenschappen als radikalen beschouwd worden. Ook

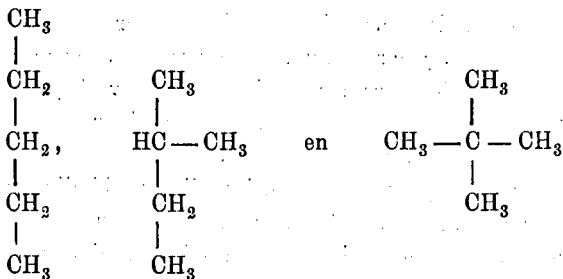
de samenstelling dier radikalen zelve, hunne onderlinge verhouding behoort uit die der samenstellende elementen te worden afgeleid.

Het was zijne bedoeling niet alleen het feit vast te stellen, dat het element H zoowel door het element Cl als door het radikaal ($C_2 N$) kan vervangen zijn, maar bovendien te vragen waarom het element C en het element N te zamen in de bepaalde verhouding juist dat radikaal vormden, juist datgene gaven, waardoor evenveel van het element H vervangen werd als door Cl.

Bij de beschouwing van alle scheikundige verbindingen moet dus de samenstelling ten slotte uit den aard der samenstellende elementen worden afgeleid. Heeft men zich vroeger bij de radikalen opgehouden, dit rustpunt is niet het doel van den tocht, het mag eene pleisterplaats zijn, maar meer ook niet. In hetzelfde opstel wordt nog eens gezegd: *»die Radicale sind nicht an sich enger geschlossene Atomgruppen, sondern nur Aneinanderlagerungen von Atomen, die in gewissen Reactionen sich nicht trennen, in anderen dagegen zerfallen»*.

Deze gedachte in helderen vorm uitgesproken te hebben is KÉKULÉ's onvergankelijke verdienste. Voor den bloei van de scheikunde is dit denkbeeld van onschatbaar belang geweest, eerst door de uitbreiding van de zuivere wetenschap en later door de velerlei toepassingen. KÉKULÉ drong tot de kennis van het koolstofatoom door, en stelde op den voorgrond, dat dit atoom tegelijk en rechtstreeks op vier andere atomen werken kon. Het onderling verband der reeds talrijke organische verbindingen verkreeg een ongekend licht. Vereeniging van een koolstofatoom met een tweede, van deze twee met een derde, met eene onafzienlijke rij van koolstofatomen, scheen de oorzaak van de buitengewone talrijkheid van de verbindingen van dit element te zijn. Tot rijen vereenigd kunnen een aantal atomen koolstof zijn; in dit geval houdt elk atoom aan het eind der reeks het vermogen over zich rechtstreeks met *drie* andere atomen te vereenigen, terwijl de overige atomen, tusschen twee atomen koolstof in de rij opgenomen, nog met *twee* andere atomen rechtstreeks in verbinding kunnen treden. Doch niet altijd behoeven een aantal atomen koolstof zulk eene rij te vormen; zij kunnen ook een vertakt geheel opleveren. Is een atoom koolstof b.v. rechtstreeks met vier andere atomen koolstof verbonden, zelf kan het dan niet meer met andere atomen vereenigd zijn; de vier atomen koolstof daarentegen, in wier kruispunt het zich dan als het ware bevindt, kunnen te zamen *twaalf* andere atomen in hun gevolg medenemen. De volgende drie *structuurformules* stellen b.v.

den samenhang van koolstof- en waterstofatomen in bestanddeelen van petroleumæther voor:



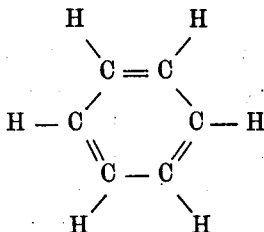
Wij zouden bij de lezers te veel kennis van bijzonderheden onderstellen, indien wij de groote beteekenis van deze structuurformules uitvoeriger wilden in het licht stellen. Ons doel is bereikt, wanneer de oorsprong van het eigenaardige symbool, hetwelk de scheikundigen eene *structuurformule* noemt, voldoende is toegelicht.

KÉKULÉ zelf is de eerste geweest, die erkende, dat het denkbeeld, door hem uitgesproken, ook reeds bij anderen leefde. Gedeeltelijk althans werden deze denkbelden ook gekoesterd door WILLIAMSON, ODLING, GERHARDT e. a.; boven allen noemt hij echter WÜRTZ. »Deze mag het niet noodig geacht hebben ergens zijne inzichten op eene uitvoerige wijze uiteen te zetten, in elk van de classieke onderzoeken, die de ontwikkeling van deze opvatting mogelijk maakten; laat hij tusschen de regels lezen, welke zijne meeningen zijn.» Zulke woorden klonken anders als kleingeestige prioriteitskwesties; zulke woorden stempelen KÉKULÉ, den man van talent, ook tot een man van karakter.

Uit het voorgaande heeft men nu kunnen lezen, dat eene *structuurformule* voorstelt de bepaalde wijze van aaneenschakeling van de atomen der elementen; hierbij komt men bij navraag ten slotte terecht bij de waardigheid (bladz. 70) der samenstellende atomen en stelt men zich voor de bepaalde groepeerings van de atomen zoo veel mogelijk in samenhang te brengen met de eigenschappen der stoffen.

De aanleiding van het feest te Berlijn, waarvan in den aanvang van dit opstel gesproken werd, was dan, dat KÉKULÉ eene bepaalde structuurformule had gegeven voor benzol, een der weinige bestanddeelen van vlekkenwater, een der vele bestanddeelen van steenkolen-

teer. Met redenen omkleed werd voor die stof de volgende zinnebeeldige voorstelling aangeprezen :



Hier in bijzonderheden uiteen te zetten, waarom deze structuurformule juist zoo gekozen werd, als zij is, schijnt niet dienstig. Genoeg, dat de destijds bekende feiten reeds een overvloed van argumenten leverden en dat de nieuwe theorie de schemering verdreef en in een chaos licht en orde bracht, dat zij nieuwe onderzoekingen uitlokte, die in haar vruchten de kroon zetten op het werk en het gebouw hoe langer hoe hechter maakten. Kreeg zij weldra andere verklaringen naast zich, is ook nu nog niet in aller oog de strijd beslist tusschen den zeshoek van KÉKULÉ en andere structuurformules voor benzol, verreweg de meeste scheikundigen achten door dien zeshoek het grootste aantal feiten verklaard.

Op ééne bijzonderheid van de bovenstaande structuurformule mag hier toch worden gewezen. De atomen koolstof (C) zijn hier niet tot eene rij met of zonder zijtakken vereenigd, maar vormen te zamen een gesloten geheel. Reeds in 1858 had KÉKULÉ gezegd, dat zijne beschouwingen in den gegeven vorm niet voor alle koolstofverbindingen konden gelden. Sommige van die verbindingen bevatten zooveel atomen koolstof, *dass für sie eine dichtere Aneinanderlagerung des Kohlenstoffes angenommen werden muss.*" Het duurde nog tot in 1865, voordat de denkbeelden omtrent benzol en al de daarvan afgeleide stoffen, in een bepaalden vorm gegoten, werden uitgedrukt.

Wederom wordt ons door den beroemden scheikundige zelve geschilderd, onder welke omstandigheden hem licht werd geschonken in dit duister gebied. »Tijdens mijn verblijf in Gent (waar hij hoogleeraar in de scheikunde geworden was en waar ook het eerste deel van zijn leerboek der organische scheikunde geschreven is) »bewoonde ik sierlijke ingerichte kamers in de hoofdstraat. Mijne werk-kamer lag aan den kant van eene nauwe steeg en had over dag geen

licht. Voor een scheikundige, die den dag in het laboratorium doorbrengt, was dit geen last. Daar zat ik dan en schreef ik mijn leerboek; het werk wilde niet vlotten; mijn geest was bij andere dingen. Ik draaide mijn stoel naar den schoorsteen en geraakte in een half slapenden, half wakenden toestand. Weder duiken de atomen op voor het oog van mijn geest. Kleinere groepen hielden zich thans bescheiden op den achtergrond. Mijn geestesoog, door herhaalde verschijningen van dezen aard gescherpt, onderscheidde deze keer grootere groepen van zeer onderscheiden vorm. Lange rijen, dikwijls zeer dicht opeengedrongen; alles in beweging, zich slangsgewijze wentelend en draaiend. En zie, wat gebeurt daar? Een der slangen greep zijn eigen staart vast en, als wilde het mij bespotten, zoo draaide het geheel heen en weder. Een bliksemstraal kon mij niet anders hebben wakker gemaakt, en ook thans gebruikte ik het overige gedeelte van den nacht om de gevolgtrekkingen van de hypothese uit te werken."

Het opstel bleef bijna een jaar in de schrijftafel. Onderzoekingen van FITTIG en TOLLENS omtrent de kunstmatige bereiding van andere koolwaterstoffen uit benzol gaven den stoot tot de openbaarmaking.

»God geeft het zijnen beminden vaak in den slaap'', deze woorden dringen zich hier onwillekeurig bij ons op. Maar evenmin als deze woorden den indruk geven van een ontvangen zonder voorafgaande inspanning, van de vervulling van dierbare wenschen, zonder dat de ernstige pogingen tot de verwezenlijking daarvan aanhoudend, ook onder de teleurstelling van vruchteloos werken, zijn gedaan, evenmin verkreeg KÉKULÉ inzichten in de bewegingen en den aard van de samenvoeging van de atomen zonder ijverigen arbeid. Vele jaren achtereen gunde hij zich niet meer dan 4 of zelfs 3 uren slaap in den nacht. Een nacht aan de schrijftafel doorgebracht telde niet mede; wanneer dit twee of zelfs driemaal achtereen gebeurde, begon het een verdienstelijk werk te worden. »Dacht hij zodoende aan het woord van zijn leermeester LIEBIG: »wie door studeeren zijne gezondheid niet verwoest, kan tegenwoordig in de scheikunde niets worden'', zijn gestel heeft hem gespaard. Een rustig verblijf van anderhalf jaar op een eenzaam kasteel in Zwitserland, dat aan het verblijf in Londen voorafging, is voor zijn leven, misschien ook voor zijn fysiek leven, van groot belang geweest. In die rustige dagen verzamelde hij krachten en ontwikkelde zich zijn talent. »*Es bildet ein Talent sich in der Stille, sich ein Charakter in dem Strom der Welt*'', dit woord is ook aan KÉKULÉ bewaarheid.

Is er in het voorafgaande eene poging gedaan om van den oorsprong en de beteekenis der structuurformules eene schets te geven, het is misschien niet overbodig te vermelden, dat zij niets zeggen omtrent de bepaalde ligging der atomen in de ruimte, maar alleen over de opeenvolging der atomen. In de eerste der drie structuurformules op bladz. 75 b. v. wordt niet gezegd, dat de vijf atomen koolstof in de ruimte eene lange rij vormen, maar alleen dat elk atoom koolstof rechtstreeks slechts op hoogstens twee andere atomen van haar soort werkt. Of van deze twee atomen zich het eene misschien boven het eerste en het andere zich daarvan links of rechts, er voor of er achter of er beneden bevindt, daaromtrent ligt in die structuurformule niets opgesloten. Zij stellen alleen in een plat vlak de onderlinge verbinding der atomen voor.

De structuurformules in drie afmetingen, waarin eene gissing gewaagd werd omtrent de werkelijke ligging der atomen in de ruimte, verschenen ruim tien jaren, nadat de zeshoek van KÉKULÉ zich eene plaats in de wereld veroverd had. Het in 1887 verschenen werk van J. H. VAN 'T HOFF *Dix années dans l'histoire d'une théorie* gaf ons destijds de gelegenheid in het *Album* een enkel woord over die beschouwingen te spreken, waaraan thans moet worden toegevoegd, dat deze stereochemische beschouwingen in de laatste jaren eene groote uitbreiding hebben ondergaan en meer en meer over veel duistere punten licht verspreiden.

En nu de vruchten van dergelijke opvattingen? Velerlei zijn zij en daarom op zeer onderscheiden gebied te aanschouwen. Vraagt er naar aan hen, die de scheikunde als wetenschap beoefenen; zij zullen wijzen op de ontzaglijke uitbreiding der tijdschriften, waarin de uitkomsten van het wetenschappelijk onderzoek worden bekend gemaakt en waarin de organische scheikunde steeds het leeuwendeel inneemt; zij zullen spreken over lijvige monographiën, over onderdeelen, vroeger nauwelijks der vermelding waard geacht. Vraagt het aan de beoefenaars van handel en nijverheid; zij zullen gewagen van de geboorte van eenen nieuwen en bloeienden tak van nijverheid: de bewerking van het koolteer en van de bereiding van kunstmatige verfstoffen zonder tal; in de kringen der suikerfabrikanten zult gij hooren van eene mededinging op hun gebied, eene onrechtmatige mededinging zullen zij zeggen, van de saccharine, waarmede men aan weinig zoete en daarom weinig beteekenende suikers een zoeten smaak kan mededeelen. De-

zelfde saccharine heeft de hygienisten aan het werk gesteld en bij de regeeringen van verscheidene landen overwegingen uitgelokt, of het misschien noodig was verbodsbepalingen tegen het gebruik van saccharine vast te stellen. Verneemt iets van den strijd, dien de toevoeging van salicylzuur als bederfwerende stof aan bier in Frankrijk vooral tegen duitsche bieren heeft doen ontbranden en ook hier weder merkt gij iets van den invloed der structuurformules, daar toch de overeenkomst in structuur tusschen het onaangenaam riekende carbolzuur en het reukelooze salicylzuur de aandacht op de bederfwerende eigenschappen van deze laatste stof gevestigd heeft.

Hoe menige nieuwe stof is niet reeds onder de voedings- of genotmiddelen of ook onder de geneesmiddelen opgenomen, waaromtrent men kennis verkregen heeft ten gevolge van de toepassing van KEKULÉ's denkbelden. Bij de studie der pyridinebasen heeft men althans eenige alkaloiden kunstmatig leeren bereiden, en al heeft deze studie nog geen kunstmatige chinine of morphine opgeleverd, op ander gebied worden stoffen vervaardigd, die als geneesmiddelen ingang vonden, b. v. de antipyrine, die tijdens de herhaalde aanvallen der influenza aan menigen zieke verzachting bracht en die in menig gezin de harten won, omdat zij de hoofdpijnen verzachtte of wegnam. Op het gebied der parfumerieën noemen wij nitrobenzol of essence de Mirbane of kunstmatige bittere amandelolie, kunstmuskus, ook eene zoogenaamde nitroverbinding, en vanilline, het geurig beginsel van de vanille. Zelfs vonden wij onlangs in een opstel van NIETZKI gewag gemaakt van eene nieuwe stof, die de pauweveeren van LUCULLUS en zijne feestgenooten zou kunnen vervangen. Deze nieuwe stof, *orexine* genaamd, zou namelijk het vermogen hebben, zelfs wanneer zij in zeer kleine hoeveelheden werd gebruikt, om bij den mensch, in ziekte of gezondheid, een kolossale eetlust op te wekken. Aan een onafgebroken feestmaaltijd, waaraan men door orexine geholpen zonder ophouden zou kunnen doorsmullen, is echter deze belangrijke schaduwzijde verbonden, dat het middel een afschuwelijken smaak heeft. Misschien is dit te verhelpen door het in capsules te gebruiken.

De aanleiding, die tot de ontdekking van zulke nieuwe verbindingen voert, kan van zeer onderscheiden aard zijn. Soms is de ontdekking het gevolg van een opzettelijk ingesteld onderzoek, waarvan het doel reeds van te voren was vastgesteld en waarvan het onderzoek dus alleen den weg betrof, waarlangs het beoogde doel moest worden bereikt. In dit geval is het verband het grootst met

de denkbeelden, die in de structuurformules zijn uitgedrukt. Zoo was het b.v. met de beroemde ontdekking van de kunstmatige bereiding van alizarine en alizarinekleurstoffen door GRAEBE en LIEBERMANN. Het onderzoek van de uit meekrap bereide alizarine had gevoerd tot het opstellen van eene structuurformule voor die stof; in deze structuurformule en in die van anthraceen, een tot dien tijd bijna waardeeloos bestanddeel van steenkolenteer, vond men eenzelfde plan terug en slechts geringe wijzigingen waren noodig om de eene formule uit de andere af te leiden. Was het met de stoffen zelve misschien ook zoo? Het onderzoek gaf een bevestigend antwoord op deze vraag; het wisselend rad der fortuin deed de waarde van anthraceen rijzen; terwijl de aanbouw van meekrap in Zeeland en de bewerking van den wortel elders er den nadeeligen terugslag van ondervond.¹ Meekrapstoven zijn in Zeeland sterk verminderd, garancinefabrieken zijn uit Rotterdam en uit Amsterdam verdwenen; wederom een gevolg van KÉKULÉ's structuurformule van benzol.

De kunstmatige bereiding van indigo is op geene andere wijze ontdekt; al is de strijd voor de indigo-kultuur in de koloniën nog niet zwaar geworden, de weg is gebaad en de moeilijkheden zullen uit den weg worden geruimd.

Elders werd eene toevallige waarneming de aanleiding tot de kunstmatige bereiding van dezelfde stof, die vroeger slechts als een voortbrengsel der levende natuur verkregen werd. De welriekende geur der vanillestokjes werd waargenomen bij een onderzoek, waar bij men allermint daaraan van te voren gedacht had, maar waarbij men stellig uitging en zich leiden liet door de bezielende denkbeelden, die door KÉKULÉ waren uitgesproken. Eene bereiding van vaniline uit het cambiumsap der dennen werd daarvan de vrucht.

Is de reuk van de vanille-stokjes en die van de fabriekmatig uit dennenhout bereide stof inderdaad aan *dezelfde* verbinding toe te schrijven, niet zelden gebeurt het, dat eene kunstmatig verkregen zelfstandigheid wel wegens het voorkomen derzelfde eigenschap in omloop wordt gebracht, maar dat natuur- en kunstprodukt overigens zeer weinig met elkander gemeen hebben. Zoo is saccharine geen suiker, al heet

¹ In zijne handleiding der Chemische Technologie vermeldt dr. F. W. KRECKE, dat in ons land van 1851 tot 1860 gemiddeld 4315 hectaren met meekrap werden bebouwd, van 1861 tot 1870 gemiddeld 3947 hectaren, van 1870 tot 1876 3422 hectaren en in 1877 niet meer dan 708 hectaren.

zij kunstsuiker; zoo heeft de kunstmuskus eene geheel andere samenstelling dan de door het muskusdier voortgebrachte riekende stof en heeft kunstzijde, wat haar samenstelling betreft, weinig of niets gemeen met de zijde, die uit de door de zijderupsen gesponnen cocons gewonnen wordt.

Moeten wij, zooals wij in den aanvang van dit opstel zeiden, ons beperken bij de keuze van de vruchten der structuurformules, een kort woord verdienen de pogingen van SCHÜTZENBERGER, die eerst de eiwitachtige stoffen nauwkeurig ontleedde, haar samenstelling in structuurformules trachtte uit te drukken en nu tracht om haar uit lichamen van eenvoudiger structuur synthetisch te bereiden. Evenmin mogen hier verzwegen worden de pogingen van EMIL FISCHER, die ook op grond van beschouwingen, als waarover dit opstel sprak, tal van suikerachtige stoffen kunstmatig bereidde en het verband tusschen de bekende soorten van suiker in het licht stelde.

Vraagt dan eindelijk, wat misschien de vruchten van dergelijke onderzoekingen zullen zijn, aan een redenaar op het Duitsch congres van natuur- en geneeskundigen, dat in September 1889 te Heidelberg gehouden werd, vraagt het aan VICTOR MEYER, die meent, dat wij mogen hopen op de oplossing van het raadsel, hoe »de houtvezel eene bron van voedsel voor den mensch worden zal". De cellulose van het hout te gebruiken voor de bereiding van ontplofbare stoffen als schietkatoen, er eene grondstof voor kleeding uit te vervaardigen zooals de kunstzijde misschien eens worden zal, het is reeds veel; haar om te zetten in een voedzaam koolhydraat, in zetmeel of eene daarmee verwante voedingstof, het is niet ongerijmd dit te hopen, sinds de scheikunde ons in cellulose en in zetmeel zeer nauw verwante stoffen deed zien.
