

DE JONGSTE TAK DER PHYSISCHE CHEMIE.

DOOR

Dr. J. E. ENKLAAR.

Voor eenigen tijd heeft schrijver dezes in dit Album¹⁾, voornamelijk naar aanleiding van den baanbrekenden arbeid van prof. v. BEMMELN, een opstel gewijd aan den »colloïdaaltoestand der stof«. Het begin op dit gebied was veel belovend, dat het echter in een gering aantal jaren zou aangroeien tot een nieuwen tak der physisch-chemische wetenschap, had men toen niet kunnen vermoeden. Inderdaad is dit het geval geweest. De jonge chemie der colloïden of capillairchemie²⁾ heeft thans onder de beste natuuronderzoekers van alle beschaafde landen tal van beoefenaars; een omvangrijke litteratuur bevat de reeds verkregen uitkomsten en een eigen tijdschrift³⁾ houdt belangstellende natuur- en geneeskundigen, physio-

1) Album der Natuur Jg. 1904, blz. 289. „De colloïdaaltoestand der stof”. Daar werd een volledige opgave gegeven van alle wetenschappelijke verhandelingen van prof. v. BEMMELN. Sinds dien tijd is dit getal nog weder met de volgende vermeerderd: „De kiezelzuren van Tschermak” Chem. Weekblad 1908 No. 31. „Bijdrage tot het onderzoek van de eigenschappen der hydrogels bij hare ontwatering” Chem. Weekblad 1909 No. 4. „De samenstelling van de vulkanische klei uit Java” Chem. Weekbl. 1909 No. 13 en het omvangrijke „Onderzoek van eenige grondsoorten uit Suriname. Alluvia'e klei en Lateriet”.

In dit opstel zal de schrijver zich zooveel mogelijk onthouden van verwijzen naar de bronnen. Ook maar eenigszins volledige litteratuuropgaven zouden geheele bladzijden vullen.

2) In Duitschland spreekt men van »Kolloïdchemie of »Capillarchemie.« Bij ons zou het moeten heeten; »Chemie van den colloïdaaltoestand der stof«; kortsheidshalve wordt hier de benaming »Chemie der Colloïden« gebruikt.

3) Zeitschrift für Chemie und Industrie der Kolloïde herausgegeben van Dr. WOLFGANG OSTWALD in Leipzig.

logen en industrieelen voortdurend op de hoogte van hetgeen er omgaat op dit gebied. Niet alleen in genoemden ruimen wetenschappelijken kring verwacht men veel van de chemie der colloïden met het oog op eigen vak, ook de nijverheid denkt er in niet geringe mate haar voordeel mede te doen. Onder de takken van nijverheid, die in nauwe betrekking staan tot de nieuwe wetenschap noemen wij de looierij, het verven van weefsels, de lijm- en zeepfabrikage en de caoutchouc-industrie. Van de laatste is zelfs de oprichting van het tijdschrift uitgegaan. Waar wij in aansluiting aan het genoemde opstel en tot aanvulling er van een overzicht geven van de gebeurtenissen op dit gebied van de laatste jaren, meenen wij dus op belangstellende lezers te kunnen rekenen. Het komt er dan op aan op het belangrijkste het licht te laten vallen. De litteratuur is reeds veel te uitgebreid, om hier aan een ook maar eenigszins volledig overzicht van bijzonderheden te kunnen denken.

Niet zoozeer uit de aanzienlijke uitbreiding van het feitenmateriaal blijkt het wetenschappelijk karakter van de chemie der colloïden als wel daaruit, dat de voornaamste feiten door algemeene beginselen en wetten tot een eenheid zijn verbonden en de plaats der jong geborene onder de zusterwetenschappen nauwkeurig is aangewezen. Het betreft niet meer de kennis van de eigenschappen van enkele bijzondere stoffen — colloïdale genaamd — maar die van den colloïdaaltoestand der stof in het algemeen.

I

Een betere kenschetsing en rangschikking der colloïden was allereerst de uitkomst der vermeerderde kennis van den laatsten tijd. Wanneer men indigo of ultramarijn langen tijd onder water fijn wrijft en er mede schudt, verkrijgt men vloeistoffen, waaruit niets meer bezinkt en die voor een deel onveranderd door papieren filters gaan. Dit zijn vloeistoffen die men grove *dispersies* noemt. De fijne kleurstofdeeltjes heeten dan de *disperse stof* of *phase* en het water het *dispersie-middel*. De meer of mindere fijnheid van verdeling der disperse stof, die in den vasten toestand verkeert, drukt men uit door den *dispersie-graad*. In zulk een colloïdalen toestand komen ook de vezels van linnen en katoen, als zij niet meer geschikt zijn voor de papierfabrikage, zoogenaamd doodgemalen zijn.

Dispersies van veel hooger graad verkrijgt men langs den electrischen weg, dien BREDIG heeft leeren kennen. In uiterst zuiver water laat men tusschen metaaldraden een lichtboog van DAVY ont-

staan. Er ontwikkelen zich dan metaaldampen, die plotseling verdicht en in uiterst fijn verdeelden toestand door de vloeistof, die ook een *sol* heet, verdeeld worden. Zulke sols zijn dan naar de metalen, die gebruikt zijn, verschillend gekleurd. De platina-sol is zwart. Voor het ongewapende oog en zelfs onder het mikroskoop vertoonen zij zich als gewone oplossingen; er zijn zoo geen vaste deeltjes in te herkennen en de gewone filtratie-middelen toonen ze evenmin aan.

De chemische methoden, die zulke dispersies of sols, vaak van hoogen dispersie-graad opleveren, zijn veel en velerlei. Neerslagen van sulfiden en van andere verbindingen gaan bij langdurig uitwasschen door de filters heen en vormen dan de genoemde sols. Door reductie van metaalzouten in oplossingen kan men zeer fraaie metaal-sols verkrijgen. Als reductiemiddelen kunnen aldehyden, hydrazine, suikers en tal van andere stoffen dienen. FARADAY bereidde zoo reeds een roode colloïdale oplossing van goud. Daartoe behoort ook het bekende goudpurper van CASSIUS, dat gevormd wordt, als stannochloride werkt op de oplossing van een goudzout. Den eersten stap op dezen weg deed CAREY-LEA. De fraaie roodgekleurde zilver-sols, die hij bereidde door uit zilverzouten in oplossing door organische reductie-middelen het zilver af te scheiden, baarden niet weinig opzien. Zij vestigden de aandacht van de natuurkundigen op deze nieuwe orde van verschijnselen en gaven aanleiding tot stelselmatige onderzoekingen op dit gebied. CAREY-LEA meende nog te doen te hebben met allotropische toestanden. Thans kan men zeggen, dat langs chemischen weg bijna elke stof in den colloïdalen toestand is af te scheiden. Aan von WEIMARN is het onlangs gelukt zelfs stoffen als bariumsulfaat colloïdaal te verkrijgen.

Tot een ander type van colloïdale stoffen behooren die, welke in tegenstelling met de bovengenoemde *dispersies dispersoïde emulsies* of *emulsoïden* genoemd worden. Een algemeen bekend voorbeeld van een emulsie is melk. In het zoogenaamde serum zweven uiterst kleine boterbolletjes, voor het bloote oog onzichtbaar. Verdunde afgeroomde melk ondergaat bij het filtreeren door een Pasteur-kaars verandering; zij wordt helder. Merkwaardig is het, dat men er onlangs in geslaagd is de boterbolletjes in de melk nog veel fijner te verdeelen. De melk wordt te dien einde met kracht gespoten tegen een vaste gepolijste oppervlakte van achaaat. De verandering is verrassend. Met de sterkste mikroskopische vergrooting kan men er nagenoeg geen bolletjes meer in ontdekken. Afscheiding van room heeft niet meer plaats, afroemen is niet meer mogelijk. De zaak heeft dan ook beteekenis voor de praktijk. Emulsies als melk, die men gemakkelijk kunst-

matig kan verkrijgen door water met wat (iets zure) olie en een spoor kaliumcarbonaat te schudden, zijn echter nog niet de beste vertegenwoordigers van het type. Daarvoor moeten gelden opgeloste gelatine, bloedserum, het zoogenaamde wit van het ei en alle belangrijke eiwithoudende vloeistoffen van het levend plantaardig en dierlijk lichaam. Op anorganisch gebied is hier de sol van kiezelzuur te noemen, die men o. a. verkrijgt door waterglas met/overmaat van zoutzuur te vermengen en in een dialysator van zoutzuur en kaliumzouten te bevrijden. Zijn de eerstgenoemde, de dispersies, bijna uitsluitend kunstproducten, de laatste — de emulsies — worden in groote verscheidenheid door de natuur zelf voortgebracht. Wij kunnen ze ten opzichte van elkander eerst nauwkeurig kenschetsen, nadat wij de eigenschappen hebben leeren kennen.

Het is thans een uitgemaakte zaak, dat alle colloïdale stoffen uit twee of meer fasen bestaan; waarvoor dan de verschillende combinaties van vast, vloeibaar en gasvormig kunnen optreden. Wij beschouwen echter alleen de combinaties van vaste en vloeibare fasen. De fasen-quaestie was een belangrijk punt, waarover veel is gestreden. De dispersies moet men zich voorstellen als vloeistoffen, waarin vaste deeltjes zweven, terwijl de laatste in de emulsies door droppeltjes vervangen zijn. De deeltjes bij de dispersies zijn stoffelijk geheel verschillend van het dispersie-middel — de vloeistof — terwijl bij de emulsies in het algemeen beiden uit dezelfde bestanddeelen bestaan; en dit wel zoo, dat de droppeltjes van de vloeistof — het dispersie-middel — wat van de disperse stof en de laatste wat van de eerste in zich opgenomen heeft. Men denke daarbij aan de twee oplossingen, die ontstaan bij de aanraking van aether en water. Melk is dus meer als een overgang van het ééne type tot het andere te beschouwen.

Een sol is een vloeistof met vaste of vloeibare, zelfs onder het mikroskoop onzichtbare deeltjes. Hoe bewijst men het bestaan der laatste?

In de eerste plaats door het bekende Tyndall-verschijnsel. Een zonnestraal, door een opening in een donkere kamer tredend, teekent zijn weg at door een dwarrelde menigte lichtende stoffes. De laatste zijn voor het meerendeel veel fijner dan zij schijnen. Wat men ziet is niet het lichtend stoffe zelf, althans niet de kleinste, maar een schijfje, dat door de zoogenaamde buiging van het licht ontstaat. Zulke lichtschijfsjes worden gezien, als een lichtstraal deeltjes treft, die klein zijn in vergelijking met de golflengte van het licht; het best, als men zich plaatst in eenrichting, loodrecht op den lichtstraal.

Zijn de deeltjes zeer klein, dan is het diffuse licht, dat zij op genoemde wijze uitstralen, blauwachtig; het is tevens meer of minder volledig gepolariseerd. Het blauwe verschiet van ver afgelegen bergen, het blauw van hoogospattende fonteinen, ja zelfs de blauwe hemel boven ons hebben die tint te danken aan terugkaatsing van 't licht tegen fijne stofdeeltjes in de atmosfeer, wellicht ten deele tegen de moleculen van de gasvormige bestanddeelen er van. ZSIGMONDY en SIEDENTOPF kwamen op het denkbeeld om dit verschijnsel toe te passen op het onderzoek der colloïden en daarbij het mikroskoop te gebruiken. Een bepaalde inrichting stelde hen in staat, om in het mikroskopisch veld een lichtstraal van groote intensiteit door colloïdale vloeistoffen te laten gaan. De vaste deeltjes en de droppeltjes vertoonden zich dan als lichtende punten of schijfjes. Een vernuftige methode stelde hen zelfs in staat, om het aantal dier deeltjes en droppeltjes, in een bepaald volume aanwezig, te tellen en hunne afmetingen te bepalen. Zulk een inrichting heet een *ultramikroskoop*. Vloeistoffen, die onder het ultramikroskoop geen afzonderlijke deeltjes vertoonen, noemt men *optisch ledig*. Groot en duidelijk was het aantal deeltjes der disperse stof bij dispersies, klein van stuk en gering in aantal bleken zij te zijn bij de colloïdale emulsies. Veelal zag men daarbij niet meer dan diffuse lichtkegels. ZSIGMONDY paste de methode het eerst toe op zijn merkwaardige roode goudrobijn glazen. Hier was glas het dispersie-middel. In den glasvloed werd een kleine hoeveelheid van een goudpraeparaat gebracht. Na bekoeling werd het nog kleurloze glas voorzichtig verwarmd en nu had de reductie plaats, waardoor het goud in uiterst fijne deeltjes werd afgescheiden en de prachtige goudrobijn glazen ontstonden. Het is merkwaardig, dat kleurloos glas ook door radiumstralen gekleurd wordt. De blauwe kleur, die bij klipzout soms wordt aangetroffen, schrijft men toe aan natriumdeeltjes, die als disperse stof er in aanwezig zijn.

Het ultramikroskoop stelt ons in staat, om met elektrische verlichting deeltjes van 15 $\mu\mu$. *) middellijn nog waar te nemen, terwijl met zonlicht deeltjes van 5 $\mu\mu$. nog zichtbaar worden. Met de beste mikroskopen houdt het waarnemen bij afmetingen van 100 $\mu\mu$. op. Uit den aard van het licht zelf vloeit het voort, dat van kleinere deeltjes geen scherpe beelden meer gevormd kunnen worden. Dit is een gevolg van de buiging en verstrooiing van het licht. Het ultramikroskoop gaat verder, maar geeft ook geen eigenlijke beelden.

*) Een mikromillimeter ($\mu\mu$) is een millioenste, een mikron (μ) een duizendste millimeter.

Naar den dispersie-graad onderscheidt men de dispersoïden in *groeve dispersies*, colloïdale en moleculair (ion) disperse stelsels, naar mate de grootte der disperse fase meer dan 100 $\mu\mu$, tusschen 100 en 1 $\mu\mu$, of kleiner dan 1 $\mu\mu$. is.

Mikroskopisch zichtbare deeltjes heeten *mikronen*; deeltjes nog waarneembaar met het ultramikroskoop *submikronen*, terwijl men bij moleculaire afmetingen van *amikronen* spreekt. De laatste zullen dus voor mikroskopische waarneming wel altijd ontoegankelijk blijven. Ondertusschen zijn wij met onze metingen de moleculaire dimensies dicht genaderd.

Volgens WIENER heeft de dunste zilverspiegel, die nog kenbaar is te maken, een dikte van 0,2 $\mu\mu$. en volgens FISSCHER is de dunste olielaag, die een vloeistof bedekken kan, 0,3 $\mu\mu$ dik; terwijl BRÉDIG uitmaakte, dat de dikte van de dunste kwiklaag, die nog katalytisch werkte op waterstofperoxyde, 0,3 tot 1,5 $\mu\mu$ bedroeg. De wanddikte van een zeepbel kan tot 5 $\mu\mu$. afnemen. Een berekening van THOMSON geeft als uiterste grens daarvoor 0,1 $\mu\mu$. Wij zijn hier dus niet ver verwijderd van de moleculaire dimensies. LOBRY DE BRUYN berekende op grond van zijn proeven de middel-lijn van zetmeel moleculen op 5 $\mu\mu$.

Trouwens na veel discussies is men 't vrij wel eens geworden, dat er geen scherpe grens bestaat tusschen gewone oplossingen en colloïdale vloeistoffen. De grove colloïdale suspensies gaan onafgebroken over in de colloïdale emulsies en de gewone oplossingen. In de laatste heeft de dispersiegraad zijn maximum bereikt — men noemt ze *moleculaire dispersoïden* — al men althans de splitsing in ionen — de *ionen dispersoïden* — buiten rekening laat. Op de gewone oplossingen valt hiermede een merkwaardig licht, die vele eigenschappen er van begrijpelijk maakt. Als laatste term van twee fasige stelsels kan men ze echter als éénfasig blijven definiëren, omdat de disperse (de opgeloste) stof nog op geenerlei wijze in de oplossing direkt zichtbaar gemaakt is kunnen worden.

Met het oog op de wisselwerking, die bij emulsoïden tusschen disperse stof en dispersie-middel bestaat, heeft FREUNDLICH de laatste ook *lyophile* de dispersies *lyophobe colloïden* genoemd.

Door bijna *) alle onderzoekers op dit gebied worden de colloïden

*) VON WEIMARN verdedigt de stelling, dat alle suspensioïden en emulsoïden een kristallijne natuur hebben. Volgens hem bestaat er geen amorphe niet-vectoriale colloïdale toestand der stof. Aannemelijk is het standpunt niet. Bij gassen en de meeste vloeistoffen zoekt men te vergeefs naar vectoriale eigenschappen. Wel gaan vele colloïden gemakkelijk in den kristallijnen toestand over.

tegenover de kristalloïden gesteld en de eerste de kenmerkende toestand geacht, waarin de stof verkeert in het levend dierlijk en plantaardig lichaam in het protoplasma — de drager van het leven — terwijl in het anorganische rijk het kristal den scepter voert. Het laatste is dan gekenmerkt door de zoogenaamde vectoriale eigenschappen; d.i. door de afhankelijkheid van de eigenschappen van de richting. Geleidingsvermogen voor warmte, optische dichtheid enz. hebben bij kristallen in 't algemeen een verschillende waarde in de richting der verschillende assen.

GRAHAM, de grondlegger van de chemie der colloïden, heeft dit standpunt reeds aangegeven. Glas en soortgelijke stoffen, die geen kristallijne eigenschappen vertoonen, moeten dan als vloeistoffen van groote taaiheid beschouwd worden. Enkele vectoriale eigenschappen kunnen echter aanwezig zijn, waar men toch van een vloeistof moet blijven spreken. Men denke b.v. aan de zooveel besproken vloeibare kristallen van LEHMANN. Omgekeerd kunnen bij de kristallen vectoriale eigenschappen ontbreken, zooals bij die van het regelmatige stelsel. De fasenleer berust op het bestaan van discontinuë, sprongwijze, overgangen. Ook bij de samenstelling van chemische verbindingen treft men ze aan. En toch blijft de stelling waar, dat de natuur geen sprongen maakt. Waar wij ze toch aantreffen, heeft men de redenen op te sporen, waarom hier en daar de continuïteit verbroken is, waarom bepaalde samenstellingen en toestanden onbestaanbaar zijn.

II

Is de colloïdale toestand der stof in het voorafgaande reeds gekenschetst, nog beter kan dit geschieden, als men de voornaamste eigenschappen in het oog vat. Men heeft te doen met eigenschappen, die het gevolg zijn van de aanraking van oppervlakken van stoffen van verschillende aard. In de zoogenaamde *oppervlakte spanning* en *oppervlakte energie* is de verklaring gelegen van het voornaamste, wat de colloïdaal toestand voor merkwaardigs oplevert. Men neemt tusschen de moleculen van vaste stoffen en vloeistoffen aantrekkingen aan, die zich over kleine afstanden — aantrekkingsferen — doen gevoelen. Midden in de vloeistof maken die krachten zoodanig evenwicht met elkander; dat een vloeistofdeeltje even sterk naar alle richtingen wordt getrokken. Aan de oppervlakte evenwel, waar de vloeistof grenst aan een tweede middenstof, is dit anders. Wegens het ontbreken van gelijksoortige moleculen aan ééne zijde, wordt een

dun laagje aan de oppervlakte met groote kracht naar binnen getrokken. Het is alsof de vloeistof met een gespannen vliesje bedekt is, een vergelijking, die echter niet in alle opzichten doorgaat. Het bedrag der oppervlakte spanning hangt, zooals in de physica geleerd wordt, af van den vorm van het oppervlak. Het is verschillend naar mate dit grensvlak plat, hol of bol is. Uit deze spanning, in verband met de adhaesie aan de vaste wanden kan men de stijghoogte van vloeistoffen in capillaire buizen afleiden. Er bestaat een ingewikkelde mathematische theorie der capillaire verschijnselen, waarin regels en wetten betreffende de genoemde oppervlakte spanning opgesloten zijn. De laatste wordt bij elkaar aanrakende vloeistoffen alleen nul bij het zoogenaamde kritische punt; d.i. bij de temperatuur, waarbij de vloeistoffen in alle verhoudingen mengbaar worden. Even onder (of boven, als die temperatuur door afkoeling bereikt wordt) die temperatuur beginnen de vloeistoffen zich te ontmengen, er komen uiterst fijne droppeltjes te voorschijn en dit is wel een van de merkwaardigste en leerzaamste methoden, om colloïdale toestanden te doen ontstaan.

De oppervlakte spanning, die werkt als een drukking op de oppervlakte der vloeistof uitgeoefend, gaat uit van een uiterst dun laagje, waarmede de vloeistof aan de andere phase grenst. Het is nog niet gelukt met zekerheid de dikte er van vast te stellen. Zij bedraagt niet meer dan een gering aantal mikromillimeters. Het vraagstuk wordt het eenvoudigst, als men zuivere vloeistoffen beschouwt, die met haar damp in aanraking zijn. Ingewikkelder wordt het bij oplossingen, die hier echter juist in aanmerking komen. De gevoeligheid is zoo groot, dat de waarde van de oppervlakte spanning van water reeds $\frac{1}{2}$ proc. vermindert, als men er een vinger in steekt. Kleine hoeveelheden vet en andere stoffen worden dan in het water opgenomen. Bij oplossingen is de concentratie in dit grenslaagje verschillend van die in de rest van de vloeistof. GIBBS, de grondlegger der fasenleer, heeft ook voor dit deel der physische chemie, merkwaardige regels afgeleid; o.a. dat *kleine* hoeveelheden van een opgeloste stof de oppervlakte spanning wel sterk verlagen doch niet sterk verhoogen kunnen. Als belangrijkste regel gaf hij de volgende: »Neemt de oppervlakte spanning met vergrooting der concentratie van een oplossing toe, dan bevat het laagje aan de oppervlakte minder opgeloste stof dan de rest der vloeistof; in het tegengestelde geval is het genoemde laagje het rijkst aan opgeloste stof.«

Dat de genoemde moleculaire krachten juist bij de colloïden zulk een rol spelen is begrijpelijk, als men bedenkt, *dat de colloïden in de*

eerste en voornaamste plaats gekenmerkt zijn door een verbaazend groote ontwikkeling van de oppervlakte als een gevolg van de vergaande verdeeling der disperse stof. Om hiervan een aanschouwelijke voorstelling te geven stelle men zich een kube voor, waarvan elk der ribben 1 cM. lang is. Het oppervlak er van is dan 6 cM². Verdeelen wij nu die kube in kleinere, waarvan de ribben een lengte van 0,1 cM. hebben, dan wordt het totale oppervlak reeds 60 cM². Gaan wij zoo voort, de kuben telkens zoo verdeelend, dat de ribben der nieuw gevormde $\frac{1}{10}$ der lengte hebben van de voorafgaanden, dan is het oppervlak reeds 6000 cM². geworden, als de ribbe de grootte van 1 μ verkregen heeft. Wordt zij 10 μ , de afmeting der kleinste deeltjes, die zich met het ultramikroskoop nog laten ontdekken, dan zou de totale oppervlakte niet minder bedragen dan 60 M². De zetmeel moleculen van LOBBY DE BRUYN van 5 μ middellijn, in drogen toestand in één cM³. aanwezig, hadden dan een totale oppervlakte van cenige 100 M². en de middellijn der moleculen van opgeloste kristallijne stoffen op 0.01 μ stellend, zou het oppervlak der moleculen van 1 cM³. opgeloste stof meerdere vierkante kilometers bedragen. Welk een eigenaardig licht werpt zulk een beschouwing op oplossingen en op de onderstelling van den moleculairen bouw der stof in het algemeen. Zij beteekent niet anders dan een ontzaggelijke groote ontwikkeling van de oppervlakte van een gegeven stofmassa en van de oppervlakte energie. Uit een nieuw en beteekenisvol oogpunt wordt het standpunt der atomisten hiermede bezien.

De overeenkomst en het verschil tusschen echte oplossingen en de beide typen van colloïdale vloeistoffen teekenen zich duidelijk af in de oppervlakte spanningen. In 't algemeen, zooals talrijke bepalingen aanwijzen, verschilt de oppervlaktetspanning van de oplossing van die van het zuivere oplosmiddel. De meeste anorganische zouten verhoogen de oppervlakte spanning van het water.

Grove suspensies en colloïdaal opgeloste metalen veranderen de oppervlakte spanning niet of uiterst weinig. Dit gaf soms het middel aan de hand om uit te maken, of in water opgenomen kleurstoffen echte oplossingen of colloïdale vloeistoffen waren. Bij het tweede type der colloïden, de emulsies of lyophile, is de oppervlaktetspanning verschillend van die van het dispersie-middel, meestal is de eerste lager dan de laatste. Er zijn echter stoffen, die in lyophilen colloïdalen staat de oppervlaktetspanning van het water verhoogen, o.a. Arabische gom. De drie verschillende termen der reeks, de colloïdale dispersies, de emulsies en de echte oplossingen worden ook door de oppervlaktetspanning duidelijk getypeerd.

Nog meer kenmerkend voor den colloïdalen toestand dan de totale oppervlakte is wat men de *specifieke oppervlakte* noemt. Daaronder verstaat men de verhouding van de volstreckte oppervlakte tot het totale volume der disperse fase. Voor een kube van 1 cM^3 , was het volstreckte oppervlak 6 cM^2 , en zou de specifieke oppervlakte $6/1 = 6$ bedragen. Van de kuben, 10^9 in aantal, met ribben van 1μ lengte, die er door verdeling uit kunnen voortkomen, was de volstreckte oppervlakte 6000 cM^2 en de specifieke $6000/1 = 6.10^3$.

Het ultramikroskoop doet bij de colloïdale vloeistoffen, in 't bijzonder bij de suspensies, een verschijnsel kennen, dat reeds vroeger bij zeer kleine deeltjes werd opgemerkt en onder den naam van *Brown'sche beweging* bekend is. In 1827 ontdekte de Engelsche botanicus BROWN, dat zeer kleine lichaampjes in een niet al te taaie middenstof eigenaardige heen en weergaande bewegingen uitvoeren en nooit tot rust komen. BROWN nam die bewegingen waar bij pollenkorrels in water zwevend. Uitvoerige onderzoekingen leerden, dat noch schudden, noch warmtestroomingen, noch electriche verschijnselen hier een rol speelden. De snelheid der trillende beweging hangt af van de grootte van het deeltje. Bij een middellijn van $0,4-1,3 \mu$ werd bij suspensies van guttegom een snelheid gevonden van $3,8-2,7 \mu$ per seconde; bij de deeltjes van $10-50 \mu$ in de goud-sols klom die snelheid tot 100μ .

Onder het mikroskoop kan men zulke bewegingen waarnemen bij zeer kleine vetdruppeltjes in melk. In hooge mate belangwekkend werd deze beweging door de waarschijnlijke onderstelling, dat zij voortvloeit uit stooten van trillende moleculen. Zij zou als 't ware een aanschouwelijk bewijs uitmaken voor den moleculairen bouw van de stof.

Het verschijnsel is zoo merkwaardig, dat de energeticus OSTWALD er bijna door bekeerd is. ARRHENIUS zegt daarvan, doelende op de onderzoekingen van VON EINSTEIN en SVEDBURG: »Diese zeigten in solch überzeugender Weise die Analogie mit der Molekularbewegung, dasz OSTWALD, der in den letzten Jahren energisch die kinetische Gastheorie bekämpft hat, die hohe Wahrscheinlichkeit dieser Theorie zugegeben hat!« De colloïdale emulsies (de lyophile) vertoonen de Brown'sche beweging slechts zwak.

Geen wonder. Hier heeft de ontwikkeling van de oppervlakte der disperse fase een omvang bereikt, welke tot die der opgeloste stof in echte

1) Svante Arrhenius Theorien der Chemie. Zweite Auflage S. 134. ARRHENIUS verwijst naar een referaat van OSTWALD over SWEDBERG's verhandeling. Zeitschr. f. Physik Ch. 64. 1908.

oplossingen gaat naderen; met de afmeting der deeltjes en met de taatheid eener colloïdale vloeistof verandert de bewegelijkheid der disperse stof.

De colloïdale emulsies bevatten meest deeltjes, waarvan de middellijn tusschen 250 en 6 μ (submikronen) ligt. Het feit, dat zich de Brown'sche bewegingen bij colloïden vertoonen, sluit zich geheel aan bij de voorstellingen, die wij ons van hun inwendige bouw gemaakt hebben.

III

Reeds is op de taatheid der colloïdale emulsies gewezen. Men denke aan eiwit en gelatine. Dit is weder een nieuw kenmerk dat ze van de dispersies onderscheidt, waarvan de taatheid niet veel verschilt van die van het dispersie-middel. Die taatheid (viscositeit) wordt experimenteel bepaald en in cijfers uitgedrukt. Men laat te dien einde de vloeistoffen uit nauwe openingen vloeien en stelt de snelheid vast, waarmede dit plaats vindt. De taatheid vloeit voort uit de inwendige wrijving der moleculen en der grovere deeltjes tegen elkander, zij hangt ook af van het dispersie-middel. De gemiddelde snelheid der deeltjes bij het uitvloeien was b. v. bij een bepaalde sol voor aethylaether 3—4 maal zoo groot dan voor chloroform. Ook de temperatuur heeft er veel invloed op. Deeltjes van guttegom van 0,9 μ middellijn, die bij 20° een gemiddelde snelheid van 3,2 μ per seconde hebben, bewegen zich bij 71° met een snelheid van 5,1 μ .

Met de snelheid en de grootte der deeltjes hangt een belangrijk verschijnsel samen, dat GRAHAM reeds op den voorgrond stelde als kenmerkend verschil tusschen colloïden en kristalloïden, dat van *diffusie* en *osmose*.

Als men lagen van een moleculair dispersstelsel (een gewone oplossing) en het dispersie(oplos)middel zoo op elkander brengt, dat geen vermenging plaats vindt, ontstaat er een langzame stroom van het dispersie-middel naar het disperse stelsel en omgekeerd van de disperse stof in tegengestelde richting. Dit verschijnsel, *diffusie* genaamd, eindigt met de vereffening van alle concentratie-verschillen en het ontstaan van een enkele homogene vloeistof.

De Brown'sche beweging kan wel de diffusie in de hand werken, doch is niet voldoende, om het mechanisme er van te verklaren.

De diffusie-snelheid van colloïdale vloeistoffen is veel geringer dan die van moleculair dispersies. Stelt men de snelheid, waarmede onder bepaalde omstandigheden bij 20° salpeterzuur van bepaalde

concentratie in water diffundeert = 2,10, dan wordt die van natriumchloride, cuprisulfaat en rietsuiker onder dezelfde omstandigheden (de rietsuiker bij 9°) het cuprisulfaat bij 17° resp. voorgesteld door de getallen 1,04, 0,47 en 0,31, terwijl dan voor pepsine, lebbe, eieralbumine, het toxine en het anti-toxine van de besmettelijke keelziekte resp. voor de diffusie-snelheid de getallen 0,070, 0,066, 0,059, 0,014 en 0,0015 gevonden werden, (voor pepsine, eieralbumine en lebbe was de temperatuur 18°, voor de beide toxinen 12°).

Bij de osmose, waar de vloeistoffen door een membraan gescheiden zijn, vertoonen zich dezelfde verschillen. Bijzonder merkwaardig zijn de halfdoorlatende membranen, die wel het dispersie-middel maar niet de disperse stof doorlaten. Heeft men aan den eenen kant zulk een membraan en het zuivere dispersie-middel, aan den anderen het moleculair-disperse stelsel, dan ontstaat de osmotische drukking, die, door de beschouwingen van VAN 'T HOFF zulk een bijzondere beteekenis heeft verkregen en die gemeten wordt door een vloeistofkolom, welke evenwicht met die drukking maakt en den verderen doorgang van het dispersie-middel door het membraan belet. De osmotische drukking karakteriseert weder duidelijk moleculair-disperse en colloïdale oplossingen ten opzichte van elkander. Terwijl de oplossingen van kristalloïden een osmotische drukking vertoonen, die een groot aantal atmosferen kan bedragen, maakten kwikkolommen van 6,9 en 70 en waterkolommen van 0,8 en 1,7 c.M. hoogte resp. evenwicht met de osmotische drukkingen van 1 en 14 proc. oplossingen van Arabische gom en colloïdale-oplossingen van 1,08 proc. ijzeroxyde en 4 proc. arseentrisulfide. De oudere bepalingen geven waarschijnlijk nog te hooge cijfers, omdat men toen de colloïden nog niet voldoende van electrolyten kon bevrijden. Voor het laatste doel maakt men gebruik van het verschil tusschen kristalloïden en colloïden in betrekking tot de osmose. Dit proces heet *dialyse*. Om b.v. een zoo zuiver mogelijke sol van kiezelzuur te maken, vermengt men waterglas met een overmaat van zoutzuur en giet de vloeistof in een dialysator, waarin zij door een gewoon membraan, b.v. perkamentpapier, van zuiver water gescheiden is, dat men voortdurend ververscht.

Van groote beteekenis is het bovengenoemde verschil tusschen kristalloïden en colloïden voor de levende cel, vooral die der planten. Grootendeels langs osmotischen weg worden vloeistoffen en opgeloste kristalloïden in de plant vervoerd. Het grondwater met de opgeloste zouten vindt zoo zijn weg naar de cellen; maar het protoplasma van de laatste, voor zoover het uit colloïden bestaat,

kan door osmose niet in eenigszins aanmerkelijke hoeveelheid de cel verlaten en voor de plant verloren gaan. Volgens het onderzoek van REID oefenen eiwitoplossingen, die zorgvuldig van electrolyten gezuiverd zijn, in het geheel geen osmotische werkingen uit.

Kristalloïden verlagen het vries- en verhoogden het kookpunt van de vloeistoffen, waarin zij zijn opgelost. De wetten, die RAOULT en VAN 'T HOFF gaven voor de betrekking tusschen het bedrag dier verlaging en verhooging en de concentratie der oplossingen, stellen ons, zooals bekend is, vaak in staat om het moleculair-gewicht der opgeloste stof te bepalen. Zooals te verwachten was, zijn de veranderingen van vries- en kookpunten in colloïdale oplossingen slechts zeer gering. Het bedrag dier veranderingen is in het algemeen afhankelijk van den dispersiegraad van het stelsel. Ook bij moleculaire-dispersies is dit het geval — men denke aan de ionisatie.

Vele onregelmatigheden, die geconcentreerde oplossingen vertoonen, vinden ook daarin wellicht haar verklaring. Er hebben polymerisaties en vorming van molecuul-complexen in plaats, die den dispersie-grad veranderen. Verdunning van oplossingen doet, zooals bekend is, vele afwijkingen verdwijnen. SMITS vond, dat verdunde oplossingen van zeepen zeer duidelijke verhooging van 't kookpunt en verlaging van 't vriespunt deden zien. De moleculair gewichten langs dezen weg bij colloïdale vloeistoffen voor de disperse fase gevonden, hebben echter geen groote waarde. Uit den aard der zaak geven zij zeer groote getallen voor de moleculair-gewichten.

IV

Colloïdale vloeistoffen zijn niet zeer bestendig. Zij veranderen voortdurend van zelf. Zij worden oud en haar eigenschappen zijn afhankelijk van de invloeden, waaraan zij tijdens haar bestaan zijn blootgesteld.

Die toestandsveranderingen verlopen vaak zeer langzaam. Dit geeft aanleiding tot het verschijnsel, dat men *nawerking* of *hysteresis* noemt. Soms gaat de verandering snel. Ieder, die met colloïden werkte, heeft dit tot zijne teleurstelling vaak bemerkt. Als hij zijn onderzoek wilde voortzetten na eenige dagen, vond hij de disperse fase als een gewoon neerslag op den bodem van het vat. Toestandsveranderingen door een derde fase — damp van het disper-ie-middel of toegevoegde electrolyten — veroorzaakt, zijn vaak omkeerbaar. Een klassiek voorbeeld hiervoor is het quantitative onderzoek van v. BEMMELEN in zake de watering en ontwatering van gels, waarvan

de uitkomsten in cijfers en diagrammen zijn uitgedrukt, vooral dat van den gel van kiezelzuur zal een model blijven voor onderzoekingen van die soort. De belangrijke uitkomsten van dien omvangrijken arbeid en de interpretatie er van hebben de volle waarde behouden en vormen een der grondslagen der chemie van de colloïden.

De langzaam verloopende toestandsverandering — het oud worden — gaat gepaard met verandering der oppervlaktetspanningen. Men onderscheidt de laatste dan ook in *dynamische* en *statische*, naarmate het jonge, versch bereide, of oude colloïden betreft. De oppervlaktetspanning, in het voorafgaande beschouwd, heeft het streven, om de oppervlakte te verkleinen, den dispersie-graad te verminderen, waarbij dan andere vormen van energie, vooral warmte optreden. Men moet nog een andere oppervlakte-energie aannemen, waarvan de intensiteits-factor de oppervlakte tracht te vergroten, waarbij dan nieuwe oppervlakken ontstaan, d.w.z. uit andere vormen van arbeidsvermogen oppervlakte-energie gevormd wordt; dit geschiedt o.a. bij het oplossen van vaste stoffen, waarbij in 't algemeen dan ook de temperatuur daalt.

Het verkleinen der oppervlakte van de disperse fase beteekent een vereeniging der kleinere deeltjes tot grootere, een vermindering van den dispersie-graad. Bij de dispersies eindigt dit met afscheiding der dispersie stof als een neerslag uit de vloeistof. Men spreekt daar van *samenballen* of *uitvlokken*. Bij een colloïdale emulsie heet het verschijnsel *gelatineeren* en het product een *gel*. Uitvlokken vindt o.a. veelal plaats bij 't bevrozen en koken der sols. Veelal is de werking niet of slechts onvolledig omkeerbaar.

Zeer merkwaardig is het uitvlokken en gelatineeren van sols door toevoeging van electrolyten. Bij suspensies brengen uiterst kleine hoeveelheden der laatste toestandsveranderingen en ten slotte uitvlokking te weeg.

Neemt men b.v. een gele doorschijnende sol van arsenicumtrisulfide en voegt daarbij onder omroeren eenige druppels van een oplossing van bariumchloride, dan wordt de vloeistof ondoorschijnend, troebel en zet weldra gele vlokken af, waarboven de vloeistof kleurloos wordt. Het is zeer belangwekkend die uitvlokken onder mikroskoop en ultramikroskoop na te gaan. Men ziet uit de submikronen, mikronen en makroskopische vlokken ontstaan en de Brown'sche beweging allengs ophouden. Veelal heeft dat uitvlokken reeds plaats, als men door dialyse de electrolyten uit de vloeistof verwijdert. Dat wij hier niet te doen hebben met neerslagen door chemische werkingen blijkt uit de uiterst kleine hoeveelheden der electrolyten, die

voor volledige uitvlokkings voldoende zijn. Een platinasol met 0,7 milli-atoom platina per L. wordt volledig uitgevlokt door zooveel bariumchloride, dat zich daarvan 0,058 millimol in de vloeistof bevindt en van andere electrolyten volstaan hoeveelheden van dezelfde orde. De voor het uitvlokken juist voldoende concentraties der electrolyten (de zoogenaamde Schwellenwerte) zijn nauwkeurig bepaald. Voegt men minder toe, dan is toch de invloed merkbaar. Een door een Pasteur-kaars filtreerbare ijzeroxyde-sol verloor deze eigenschap na toevoeging van $\frac{1}{6}$ der hoeveelheid natriumchloride, noodig voor volkomen uitvlokkings; zij was echter niet troebel geworden en verdroeg nog koken. Tal van eigenaardigheden doen zich hier voor. Voegt men b.v. de voor het volledig uitvlokken juist voldoende hoeveelheid electrolyt niet in eens, maar bij droppels gedurende eenige dagen toe, dan wordt de sol wel troebel, maar zet slechts betrekkelijk weinig vlokken af.

De theoriën betreffende het mechanisme der uitvlokkings kunnen hier slechts even gememoreerd worden. *) Dat juist electrolyten uitvlokken, doet reeds vermoeden, dat de electriciteit in het spel is. Dit blijkt verder daaruit, dat de vlokken van den sol ionen van den electrolyt absorbeeren. Vooral wijst er op het feit, dat de valentie der ionen van den electrolyt, d.i. het aantal coulombs, dat zij bevatten, grooten invloed heeft. Hoe grooter de valentie der ionen is, des te kleiner hoeveelheden van den electrolyt zijn in 't algemeen voor de uitvlokkings voldoende. Inderdaad hebben de disperse fasen in de suspensies electriche ladingen, wat niet kan verwonderen daar electriciteit ook een verschijnsel is van de oppervlakten. Het geleidingsvermogen voor den electriche stroom van een sol is meestal grooter dan dat van het er voor gebruikte water. Voor het specifieke geleidingsvermogen van een goud-sol werd o.a. gevonden $12,7 \times 10^{-6}$, voor dat van het water $1,5 \times 10^{-6}$. Uiterst moeilijk, zoo niet onmogelijk, is het sols te verkrijgen geheel vrij van electrolyten.

Leidt men een electriche stroom door een colloïdale suspensie, dan zet de disperse stof zich in beweging, neemt aan de stroomgeleiding deel en zet zich aan de kathode of aan de anode af, naarmate zij positief of negatief geladen is. Tot de *negatieve suspensies* behooren de sols van de edele metalen en die van sulfiden, tot de *positieve* die van ijzeroxyde en andere oxyden. Merkwaardiger wijze vlokken ook positieve en negatieve sols elkander uit, terwijl dit

*) Een wetenschappelijke uiteenzetting van de electriche theorie der uitvlokkings vindt men in de Kapillarchemie van Dr. H. FREUNDLICH, Leipzig 1909, S 337 en verv.

met gelijknamig geladene niet het geval is. Het verschijnsel der genoemde stroomleiding door de suspensies heet *kataphorese*. De snelheid der disperse stof in den stroombaan (Wanderungsgeschwindigkeit) is op verschillende wijzen bepaald. In den laatsten tijd wordt het niet onwaarschijnlijk geacht, dat de electrolyten, die de disperse fase vasthoudt, de voorwaarden voor het tot stand komen der kataphorese zijn. Het verifiëren is hier bezwaarlijk, omdat men met volkomen electrolytvrije sols, zoo zij al bestaan kunnen, niet geëxperimenteerd heeft.

Tegenover de electriciteit gedragen de colloïdale emulsies zich in 't algemeen anders dan de dispersies, al wordt de continuïteit ook hier niet geheel verbroken. De electriche ladingen zijn hier ontbrekend of zwak. Dit is begrijpelijk. De beide fasen zijn feitelijk wederkeerige oplossingen van disperse stof en dispersie-middel in elkander; groote potentiaalverschillen zijn daartusschen niet te verwachten. PAULI vond bij door dialyse goed gereinigd serum-eiwit in het geheel geen electriche ladingen meer en ook geen kataphorese. Bij een kiezelzuur- en gelatine-sol vonden WHITNEY en BLAKE een aanvankelijke zwakke verplaatsingsnelheid der deeltjes in den stroom, die echter spoedig gestoord werd. Bij een kiezelzuur-sol veranderde de richting der verplaatsing tijdelijk zelfs. Kleine toevoegselen kunnen het teeken der lading geheel veranderen. Een spoor alkali maakt eiwit negatief, een spoor zuur positief geladen. Men kan hier niet meer van positieve en negatieve sols spreken.

Ook tegenover electrolyten is het gedrag der colloïdale emulsies anders en veel minder eenvoudig en nog geenszins geheel opgehelderd. De temperatuur komt hier veel meer in aanmerking. Bij afkoeling neemt de inwendige wrijving en daarmede de taaiheid snel toe. Bij water trouwens is de taaiheid bij 0° reeds ongeveer dubbel zoo groot als 25°. Toevoeging van electrolyten heeft invloed op de temperatuur, waarbij colloïdale emulsies gelatineeren. Het komt daarbij voornamelijk op de anionen aan. Sulfaten, citraten, tartraten en acetaten bevorderen het gelatineeren, chloriden, chloraten, nitraten, bromiden en jodiden belemmeren het en deze zouten werken des te sterker, naar mate zij meer naar voren in deze reeksen staan. Ook niet-electrolyten zijn werkzaam. Glycerine en vele suikersoorten versnellen, ureum en alcoholen vertragen het verschijnsel. Een kiezelzuur sol gaat gelijkmatig over in een gel, doch de werking is niet omkeerbaar. Door verwarmen en toevoegen van water kan men van den gel geen sol meer maken. Het gelatineeren

treedt hier van zelf op. Schrijver dezes is het niet gelukt een kiezelzuur-sol langen tijd onveranderd te bewaren.

Van een gelatine-sol is het bekend, dat hij — bij omstreeks 70° door verhitten met water gemaakt — bij afkoeling vast wordt tot een gelei, die bij verhitting weder dun vloeibaar wordt. Hier is de overgang van sol tot gel dus omkeerbaar. Deze sol vertoont in sterke mate het verschijnsel der hysteresis. Zijn eigenschappen zijn zeer afhankelijk van zijn ouderdom, de wijze van bereiding enz., d.i. van zijn zoogenaamde »Vorgeschiede.«

Nog meer ingewikkeld wordt het verschijnsel bij de eiwit-sols, mengsels van meerdere vaak nog slecht gekende stoffen, die daarenboven gemakkelijk met andere stoffen in chemische wisselwerking treden. Het gelatineeren treedt hier op den achtergrond tegenover een verschijnsel, dat men *uitzouten* noemt. Dit uitzouten vertoonen alle colloïdale emulsies in meer of mindere mate, wat hen weder kenmerkt tegenover de suspensies.

Door alkali-zouten, ammonium- en magnesiumsulfaat wordt dit uitzouten te weeg gebracht en zij moeten daarbij in groote hoeveelheden toegevoegd worden. Voegt men b.v. bij een door dialyse gezuiverde en verdunde sol van kippeneiwit een geconcentreerde oplossing van ammoniumsulfaat, dan scheidt het eiwit zich in vlokken af. Deze vlokken geven met water weder den eiwit-sol onveranderd terug. De werking is volkomen omkeerbaar. De zouten der aardalkalimetalen doen in sterke concentraties hetzelfde, doch het afgescheiden eiwit wordt spoedig onoplosbaar.

Zouten van zware metalen geven reeds in kleine concentratie eiwitvlokken, die echter met water niet meer colloïdaal op te lossen zijn. Het uitzouten is een belangrijk hulpmiddel, om eiwitstoffen van bijmengselen te bevrijden en in zuiveren toestand te verkrijgen. Het vermogen van zouten om eiwit uit te zouten — gemeten naar de kleinste concentraties der zouten, die troebeling veroorzaakten — is verschillend. Met het oog op de mate, waarin zij het bezitten volgen zij elkander aldus op: citraten, tartraten, sulfaten, acetaten, chloriden, nitraten en chloraten. Dit geldt voor natuurlijke neutrale eiwit-sols. In zwak zure oplossing is de volgorde der zouten omgekeerd. Bij groote concentraties van het zuur is zij daarenboven niet omkeerbaar. Het uitzouten vindt ook technische toepassing, o.a. bij de bereiding van kernzeep, die door natriumchloride uit de zeeplijm wordt afgescheiden.

Het verschijnsel van het uitzouten moet men niet op één lijn stellen met het uitvlokken van colloïdale suspensies door electrolyten

en ook niet geheel met den invloed van zouten bij den overgang van sol tot gel bij de colloïdale emulsies. Dit blijkt reeds daaruit, dat zouten, die het gelatineeren tegengaan, evenzeer het uitzouten bewerkstelligen, als die, welke het gelatineeren bevorderen.

Het uitzouten vindt zijn analogon in den invloed, die toevoegsels hebben op de oplosbaarheid van moleculaire dispersies (gewone oplossingen). Ook daar spreekt men bij de toevoeging van zouten bij in water opgeloste niet-electrolyten van »uitzouten«. Als regel geldt daar, dat de eersten de oplosbaarheid der laatsten verminderen. Zouten, die het sterkst deze werking vertoonen, hebben ook in de hoogste mate de eigenschap om eiwit af te scheiden. *) In beide gevallen gedragen de ionen der zouten zich additief; d.i. werken zij onafhankelijk van elkander, zoodat de totale uitkomst een som is. Voor bijzonderheden hieromtrent is het hier de plaats niet. Het zij voldoende, dat de lijnen, die de colloïdale emulsies met de moleculair dispersies verbinden, zijn aangewezen. De colloïden kunnen slechts begrepen worden, als men in alle richtingen aanknopingspunten zoekt en de analogie opspoort met velerlei verwant gebied.

Het neerslaan van eiwit door zouten van zware metalen, waar kleine concentraties der laatste volstaan en de werking niet omkeerbaar is, wijst weder op verband met het uitvlokken der suspensies door electrolyten. Het maakt ook de giftigheid van nagenoeg alle zouten van dien aard begrijpelijk. De eiwitlichamen zijn echter zeer geschikt voor chemische reacties, zij zijn in 't algemeen amphoteer, zij treden zoowel met zuren als met basen in wisselwerking — bij caseïne treedt het zuurkarakter sterk op den voorgrond — zoodat het hier vaak moeilijk uit te maken is, of men met een physische of met een chemische werking te doen heeft.

IV

De eigenschappen der gels behooren tot het belangrijkste gedeelte van de wetenschap der colloïden. Een van de eerste en voornaamste onderzoekers op dit gebied was v. BEMMELÉN. Hij was het, die ze terstond als tweefasige stelsels kenmerkte. In een sol als die van gelatine bevinden zich waterarme gelatinedroppels in water, dat gelatine bevat, het dispersie-middel. Bij het afkoelen vermeerde-

*) Men vergelijkte „Löslichkeit und Löslichkeitsbeeinflussung von Dr. v. ROTHMUND, Bd. VII van het Handbuch der angew. phys. chemie von Prof. Dr. BREDIG, Leipzig 1907, S. 152.

ren die druppels, worden taaier en sluiten zich ten slotte aan een tot een soort van vast skelet met vloeistof er tusschen. Dit is dan de gel. Het gelatineeren is door BÜTSCHLI, QUINCKE en HARDY onder het mikroskoop nauwkeurig bestudeerd. De concentratie van de vloeistof bleek grooten invloed op het proces te hebben. In zeer verdunde emulsoïden vormde de bovengenoemde geconcentreerde fase van het colloïde, de druppeltjes, bij de aaneensluiting een *open netwerk*, waarin wegens het ontbreken van gesloten oppervlakken, het dispersie-middel vrij kon binnentreden. Bij het gelatineeren van een geconcentreerde oplossing vormden zich druppeltjes van het dispersie-middel als een verdunde colloïdale vloeistof, die geheel ingesloten worden door de geconcentreerde fase van het colloïde evenals honig in de wascellen. Daardoor ontstond een gelweefsel, gelijkende op een honigraat. BÜTSCHLI, wiens klassiek mikroskopisch onderzoek in deze materie baanbrekend was, heeft deze structuren onderscheiden als »*Netzstruktur*« en »*Wabenstruktur*«. Hij heeft ze niet alleen beschreven, maar ook in een fraaïen atlas de mikrophoto-graphiën er van gegeven. Dit werk verscheen in 1898 onder den titel »*Untersuchungen über Structuren*«. De »*Wabenstruktur*« is kenmerkend voor het protoplasma, de drager van het leven. Welk een beteekenis BÜTSCHLI aan de gelstructuren hechtte, blijkt wel uit den titel van zijn in 1892 verschenen werk, dat luidde: »*Untersuchungen über mikroskopische Schäume und das Protoplasma. Versuche und Beobachtungen zur Lösung der Frage nach den physikalischen Bedingungen der Lebenserscheinungen*«. De structuren der gels, waarvan v. BEMMELN het bestaan reeds ondersteld had, werden door HARDY, BÜTSCHLI en QUINCKE mikroskopisch aangetoond.

Komen de gels in aanraking met een derde fase — waterdamp en zoutoplossingen — dan vertoonen zich eigenaardige concentratieverschuivingen, die v. BEMMELN wel het eerst bestudeerd heeft. De algemeen aangenomen naam van *ab- of adsorptieverbindingen* is van hem afkomstig. Wat wij van de fysisch-chemische eigenschappen der gels weten, danken wij grootendeels aan v. BEMMELN. Door hem weten wij, dat het afgeven en opnemen van water een onafgebroken, voor een goed deel omkeerbaar proces is, en dat daarbij als regel aan geen chemische binding van het water, aan geen hydraatvorming gedacht mag worden. Wij kunnen hier verwijzen naar hetgeen vroeger daarover is gezegd.*) Ook wat betreft de

*) In het reeds aangehaalde opstel over »den colloïdaal-toestand der stof.«

adsorptie verschijnsels, die de gels vertoonen is de arbeid van v. BEMMELEN reeds besproken. Hij onderzocht het evenwicht, dat tusschen den adsorbeerenden gel en de oplossing van het kristalloïde bestaat en ging quantitatief bij vele anorganische gels de adsorptie na. Op het merkwaardige verschijnsel, dat een adsorbeerende gel — waterhoudend mangaandioxyde — hydrolytische splitsing van een electrolyt, kaliumsulfaat, tot een voortgaand proces maken en de base adsorberen kan, werd het eerst door v. BEMMELEN de aandacht gevestigd.

Op dien grondslag is voortgebouwd, vooral door FREUNDLICH, die thermodynamische stellingen van GIBBS op de adsorptie-verschijnselen toepaste. Dat de laatste voortdurend de aandacht trokken is begrijpelijk. De kennis er van kan er toe bijdragen om de zoo belangrijke resorptie-verschijnselen in het levend lichaam te verklaren. Van beteekenis was hier vooral het theorema van GIBBS, dat in 't algemeen in het laagje, waarmede het dispersoïde aan een andere fase grenst (zie bladz. 356) een andere concentratie heerscht als in de rest van het dispersoïd. Disperse stoffen, die de oppervlaktespanning van een dispersoïd tegenover een andere fase verlagen, hebben het streven om zich in die oppervlakte te concentreeren en zoo met den tijd er de oppervlaktespanning van te verminderen. Zoo leidde GIBBS een betrekking af tusschen zulke concentratie-veranderingen en oppervlaktespanningen. Er volgt uit, *dat stoffen, die de (positieve) oppervlaktespanning sterk verlagen, sterk geadsorbeerd moeten worden en omgekeerd zwak, die, welke ze verhoogen.* Zoo oefenen neutraalzouten en lichamen met veel hydroxylgroepen (suiker, glycerine enz.) weinig of een verhoogenden invloed uit op de oppervlaktespanning der grenslaag water-waterdamp en worden dan ook weinig geadsorbeerd. Zuren en basen worden steeds meer geadsorbeerd dan de zouten en verlagen dan ook de oppervlaktespanning van het water meer dan de eerste. Zonder uitzondering is de regel echter niet. FREUNDLICH heeft op dien grondslag een theorie der adsorptie-verschijnselen gegeven en in zijn Kapillarchemie uitvoerig uiteengezet. Adsorpties zijn in hoofdzaak plaatselijke verschuivingen van de concentraties aan de oppervlakkige lagen. FREUNDLICH onderzocht de adsorptie van verschillende grensvlakken, zoowel aan het vast-vloeibare, als aan het vast-gasvormige en vloeibaar-vloeibare. Den invloed van de concentratie der disperse fase op oppervlaktespanning en adsorptie wist hij zeer algemeen door een exponentiaal vergelijking uit te drukken, waardoor berekende waarden aan de controle der proef konden worden onderworpen en een wiskundige behandeling van

het verschijnsel mogelijk werd, wat steeds een meer gevorderde fase van het onderzoek beteekent. De genoemde adsorpties noemt men *mechanische*. In den laatsten tijd ontdekte men een klasse van adsorpties, die met electriche ladingen en potentiaalverschillen in verband staan en die men *electriche adsorpties* noemde. Wij laten ze hier buiten beschouwing.

De theorema's van GIBBS en de vergelijking van FREUNDLICH zijn afgeleid voor de eenvoudigste gevallen, de stelsels met twee fasen. Komt een derde fase er bij, dan wordt het geval meer samengesteld. De adsorptie-vergelijking kan echter ook dan nog dienst doen, mits andere grootheden worden ingevoerd.

V

Uiterst belangwekkend is de katalytische werking, die colloïdale stoffen op chemische reacties kunnen uitoefenen. In den laatsten tijd hebben physico-chemici en physiologen met het oog op de levensverschijnselen veel tijd besteed aan de studie dier werkingen. BREIDIG was de eerste, die den versnellenden invloed van een platina-sol op de ontleding van waterstofperoxyde nauwkeurig naging. Het zijn hier weder de oppervlakten, zoo verbaasd sterk ontwikkeld bij de colloïden, waarvan deze invloed uitgaat. Bij de eenvoudigste gevallen — de adsorptie van gassen aan vaste stoffen — is reeds veel opgehelderd. Deze invloed kan zelfs het chemisch evenwicht onmiddellijk verschuiven en wel in dien zin, dat *de vorming van stoffen begunstigd wordt, die bij toenemende drukking de oppervlaktespanning verlagen*. Deze directe invloed van den adsorbeerenden wand op chemische processen is echter nog zoo goed als niet bestudeerd. Beter bekend is de indirecte invloed der adsorptie op de reactiesnelheid, die meestal haar verklaring vinden kan in de door de adsorptie bij den wand verhoogde concentratie der reageerende stoffen. Van dien aard is de door BODENSTEIN en STOCK bestudeerde ontleding van antimoonwaterstof. Het fijn verdeelde antimonium, dat zich afzet op den wand der vaten, werkt katalytisch en wel versnellend op de ontleding, door het adsorbeeren van het gas. Zoo ondervindt ook bij de bekende ontleding van arseenwaterstof het proces een versnelling door de adsorbeerende werking van den arsenikspiegel. Mogelijk verkrijgt de ontleding eerst bij den met arseen bedekten wand een meetbare snelheid. Meer ingewikkeld is de door fijn verdeeld platina versnelde oxydatie van zwaveldioxyde, de zoogenaamde contact-methode voor de bereiding van geconcentreerd zwavelzuur. Het onderzoek van FINK maakte het zeer waarschijnlijk, dat de

reactie aan de platina-oppervlakte zeer snel is en dat de versnelling ook hier het gevolg is van de verhooging der concentratie door de adsorptie der gassen aan het platina.

Men begrijpt wat colloïden met hun enorm groot oppervlak in deze richting kunnen doen. Het anders onbegrijpelijke feit, aan 't licht gebracht door BREDIG's uitvoerig onderzoek, dat minimale hoeveelheden platina in den vorm van een sol een groote versnelling geven aan de ontleding van waterstofperoxyde, vindt nu een aannemelijke verklaring.

De voor het plantaardig en vooral voor het dierlijk organisme zoo belangrijke enzyme-werkingen, die de chemische reacties er in nagenoeg geheel beheerschen, zijn analoog bevonden aan die van den platina-sol. De laatste noemde men een anorganisch ferment. Geen wonder, want die enzymen zijn colloïden. De enzymen ontstaan in het levend lichaam en zijn vaak niet van de weefsels te scheiden; uit een chemisch oogpunt zijn zij verwant aan de eiwitstoffen. De overeenkomst in de werking van den platina-sol en vele enzymen gaat zoo ver, dat het verloop der werking, die zij katalytisch versnellen, door dezelfde formule uitgedrukt kan worden. Vele enzymen werken ook katalytisch versnellend op de ontleding van waterstofperoxyde.

Evenwel heeft de wiskundige behandeling van de werking der enzymen volgens de beginselen der physische chemie bezwaren opgeleverd, die niet alleen voortvloeien uit de onbestendigheid en veranderlijkheid er van. De analogie ging echter zoover, dat vergiften, zooals cyaanwaterstof, die de enzyme-werking opheffen, ook bij den anorganischen platina-sol de ontleding van waterstofperoxyde doen ophouden. Het begrip van vergiftiging ongedwongen toepasselijk op anorganische processen in reageerbuisen, kan het treffender uitkomen, dat men met de studie der colloïden nadert tot de sfeer van het leven.

Onder de best geslaagde studies van dien aard behoort die van SENTER aangaande de katalytische ontleding van waterstofperoxyde door haemase, een enzyme van het bloed, dat nagenoeg volkomen plaats vond volgens de eenvoudige vergelijking, die geldt voor den platina-sol. Zuren en basen werkten hier storend, wat met het amphotere karakter van het enzyme — een eiwitstof — correspondeert. Wie een onderzoek van dien aard nauwkeurig na wil gaan, zij dat van SENTER aanbevelen.*)

*) Zeitschr. f. Phys. Chem. 44, 257 (1903) en 51, 673 (1905).

De keuze is echter ruim, want er is in den laatsten tijd veel gewerkt op dit aantrekkelijk gebied. De namen van JACOBSON, HENRI en BODENSTEIN moeten hier genoemd worden. HENRI onderzocht de werking van emulsine, het ferment van de bittere amandelen, op het glucoside salicine en die van het ferment amylase op zetmeel. Merkwaardig is het ferment lipase uit de zaden van de ricinusplant — door BODENSTEIN en DIETZ onderzocht — dat esters van vetzuren verzeept.

VI

In den aanvang van dit opstel werd op de steeds toenemende belangrijkheid van de chemie der colloïden voor de technische processen en voor de physiologische, biologische en medische wetenschappen gewezen. Ten slotte willen wij deze zijde van ons onderwerp nog meer in 't licht stellen.

Wij zouden dan, als de plaatsruimte het toeliet, moeten wijzen op de adsorptie van minerale zouten in den bouwgrond, die voor een goed deel uit colloïden bestaat en op alle verschijnselen daarin van colloïdalen aard. Den belangstellenden lezer verwijzen wij hier naar de geschriften van v. BEMMELÉN, die over dit onderwerp meer dan iemand anders licht verspreidde. Hij zal bemerken hoeveel de landbouw nog van de chemie der colloïden kan verwachten.

Het *verven* van weefsels en de *looierij* staan in het nauwste verband met ons onderwerp. Er is den laatsten tijd heel wat strijd gevoerd over de vraag, of men hier met adsorpties dan wel met chemische processen had te doen

Wat de ververij betreft is het wel uitgemaakt, dat de adsorptie van de kleurstof aan den vezel een groote rol speelt, dat 't begin wellicht altijd zulk een adsorptie is, die door chemische wisselwerking gevolgd kan worden. Wij hebben hier een vezel, die water op kan nemen en zwellen. Dit proces maakt een van de hoofdstukken van de leer der gels uit; de vezel is als zulk een gel te beschouwen. FREUNDLICH en LOSER toonden aan, dat het opnemen van kleurstoffen door vezels uitgedrukt kan worden door de vergelijking, die voor de adsorptie geldt. Maar de organische kleurstoffen, zoowel de basische als de zure, zijn met het oog op het oplossen zeer verschillend. Het is vooral KRAFFT, die zich op dit gebied verdienstelijk maakte. Ook FREUNDLICH heeft hierover licht verspreid. Hij onderzocht de oplossingen van vele verfstoffen onder het ultramicroskoop en met het oog op de diffusie en de kookpuntsverhooging. Dit zijn

de beste criteria betreffende den aard van de oplossing. Hij vond vele dier oplossingen in water optisch ledig en tevens het verschijnsel van osmose en kookpuntsverhooging vertoonend als gewone moleculaire dispersoiden. Daartoe behoorde o.a. die van eosine en methyleenblauw. Colloïdale dispersies waren daarentegen oplossingen van congorood en benzopurpurine. Andere verfstoffen, zooals picrinzuur en vooral fuchsine, die MICHAËLIS onderzocht, stonden tusschen beiden in volgens het getuigenis van het ultramikroskoop. Wellicht is hier bij enkele toevallige verontreiniging in het spel. Met het dispersie-middel kan het karakter der oplossing geheel veranderen. Fuchsine en methylviolet b.v. geven met alcohol gewone moleculair disperse oplossingen, die een bepaling van het moleculair gewicht op de gewone wijze toelaten

Het feit, dat in een colloïdale vloeistof deeltjes van verschillende grootte voorkomen, is gewoon; dat er naast colloïdale moleculair disperse deeltjes in aanwezig zijn, is ook niet vreemd. Bij caseïne moet men het eiwit ten deele als colloïdaal, ten deele als gewoon opgelost aannemen. Evenwel veel bijzonderheden zijn op dit gebied nog onverklaard. Van vele basische verfstoffen wordt het kation door het weefsel opgenomen — waarschijnlijk substitueert het waterstof van het laatste — terwijl het anion in de oplossing blijft. Hier zou dus aan chemische werking gedacht kunnen worden, waarbij de vezel als zuur fungeert. Ook de zoogenaamde »echtheid« van verfstoffen is grootendeels nog een open vraagstuk.

In de looierij heeft men met looistoffen — glucosiden — te doen, vooral met het bekende *tannine*, dat met water een colloïdale optisch troebele, niet dialyseerende vloeistof geeft, doch in ijsazijn normaal opgelost wordt. De huid, een voor zwelling vatbare gel, neemt de looistof door adsorptie op. Dit is uitgemaakt door proeven met huidpoeder en sols van tannine. De adsorptie van de laatste gaat snel. De eigenschappen van het leder komen echter eerst langzaam en geleidelijk te voorschijn. Hier moet nog een verdere, wellicht chemische werking tusschen huid en looistof volgen. *)

Ook bij de zeepfabricage heeft men met colloïden te doen. Wij noemden reeds het uitzouten van kernzeepen. Het groote adsorptievermogen voor water en alcohol heeft zeep met de gels gemeen. Men meent thans, dat het reinigend vermogen van zeep niet berust op het verzeepen van het vet der huid door het alkali, dat

*) Vergelijk het opstel in dit Album van Dr. STORTENBEKER 1906, bladz. 261.

vrij wordt door de hydrolytische splitsing der zeep in water; maar op de colloïdale eigenschappen van het bij die hydrolyse gevormde zure vetzuurzout, dat de onreinheden adsorbeert. Ook bij het reinigen van afvalwater door minerale toevoegsels zal men meer hulp moeten zoeken bij de chemie der colloïden.*)

Op de physiologische beteekenis van den colloïdaaltoestand der stof werd reeds herhaaldelijk gewezen. De voortdurende spontane verandering, het ouder worden van sols en gels, de afhankelijkheid der eigenschappen van de voorgeschiedenis, het zich aanpassen aan vreemde inwerking — het feit dat met verloop van tijd bij gedeelten toegevoegde electrolyten minder snel en volledig den sol uitvlokken of doen gelatineeren — de enzymen, in katalytische werking overeenkomend met de anorganische sols, dat alles wijst er wel op, dat wij met dit gebied het leven naderen.

De eigenaardige mikroskopische gelstructuren van BÜRSCHLI doen denken aan den bouw van het protoplasma der levende wezens. Colloïden zijn de voornaamste bouwstoffen van het levend lichaam. Ook daar heeft men de buitengewoon groote ontwikkeling van oppervlakken. De vraag rijst onwillekeurig of niet een deel der levensverschijnselen voortvloeit uit de verschijnselen der adsorptie en wat er mede samenhangt. Alleen de gedachte aan den uiterst ingewikkelden aard der levensprocessen weerhoudt ons de analogie te ver te drijven. De colloïden kunnen echter in het levend lichaam hun eigenschappen niet geheel verliezen; zij moeten ook daarin vele werkingen uitoefenen, die zij ons in de reageerbuizen te aanschouwen geven. Maar dat is nog niet het leven. In het ingewikkeld samenstel van verschijnselen, dat dien naam draagt, nemen ook zij een plaats in, naast chemische en physische processen van allerlei aard. Of er, als men alles in rekening bracht wat de krachten der anorganische natuur bewerken, nog een rest zou blijven, onverklaarbaar langs dien weg; iets, waaraan men vroeger den ongelukkigen naam van levenskracht gegeven heeft, wie kan het zeggen. Alleen de oppervlakkige miskenning van de diepte van het probleem van het leven kan nu reeds tot de verklaring leiden, dat het niets anders is dan de uiting van physische en chemische krachten, voortvloeiend uit de structuur der colloïdale stof van het protoplasma.

Een en ander zij hier nog meegegeeld ter illustratie van het boven gezegde. Colloïdale emulsies zijn in 't algemeen bestendiger dan suspensies, vooral tegenover electrolyten. Het is een eigenaardig

*) Zie mijn opstel: »De colloïden in dienst der hygiëne.« in dit Album 1907, bladz. 283.

feit, dat men de bestendigheid der laatste verhoogen kan door er een weinig van de eerste mede te vermengen, die dan den naam van *beschermende colloïden* dragen. Dit komt inderdaad neer op een min of meer volledige verandering van een suspensie in een emulsie. Volgens de omhullingstheorie van QUINCKE en anderen neemt men aan, dat de kleine hoeveelheden der emulsoïde fase de suspensioïde met een dunne laag omgeven. Voor beschuttende werkingen van dezen aard komen dextrine, zetmeel en eiwitlichamen in aanmerking. Als zulk een beschermend colloïde moet de gelatine beschouwd worden op de photographische platen van broomzilver gelatine, die het onbestendige broomzilver stabiliteit geeft, die hier echter in groote hoeveelheid vereischt wordt en eenigszins anders werkt.

In melk, in hoofdzaak een colloïdale emulsie, zijn de vetdruppeltjes waarschijnlijk door een eiwit-hulsel omgeven. Het enzyme *lebbe* vernielt wellicht dit beschermende laagje, waarna de calciumzouten van het serum het eiwit uitvlokken, d.i. de melk stremmen.

Zeer merkwaardig is het zoogenaamde agglutineeren van bacteriën. Op deze bacteriën — gesuspenseerd in formaldehyde houdend water, dat ze doodt, en door dialyse gezuiverd — laat men het serum werken van een dier, dat met deze bacteriën behandeld of vergiftigd is (agglutinine serum). De emulsie van bacteriën verkrijgt nu de eigenschappen van een colloïdale suspensie, zij wordt o. a. door kleine hoeveelheden electrolyten uitgevlokt. De werking is specifiek.

Typhusbacteriën worden alleen geagglutineerd door het serum van dieren in wier bloed typhusbacteriën verkeerd hebben en zoo voort, waarschijnlijk verandert (verhardt) het agglutinine het beschermende omhulsel der bacteriën.

Hiermede zijn wij aangeland op het hoogst belangrijke gebied der serumtherapie. Het dierlijk lichaam, aangevallen door bepaalde pathogene bacteriën of organische vergiften, verdedigt zich o. a. door in zijn bloed stoffen voort te brengen, die naar hunne werking op de vergiften (*toxinen*) tegengiften (*antitoxinen*) genoemd worden. Door een dier, dat er voor geschikt is, geleidelijk en met tusschenpoozen zulke toxinen in te spuiten, kan men het brengen tot een voortdurende productie van antitoxinen. Het dier kan zoo zelf allengs voor het gift immun (ongevoelig) worden; terwijl zijn bloeds serum door de antitoxinen er in, de eigenschap verkrijgt, om in het bloed van andere dieren of van den mensch de werking tegen te gaan der giften, die in het bloed van het eerstgenoemde dier gebracht zijn. Het is bekend welk een beteekenis voor de therapie het in paarden voortgebrachte serum tegen de besmettelijke keelziekte heeft verkregen. En tal van

andere serums — tegen tetanus, slangengift enz. — worden thans bereid en met goed gevolg toegepast.

Van welken aard is nu die werking tusschen toxinen en antitoxinen?

Daarover is een langdurige nog niet geëindigde strijd ontstaan, waaraan beoefenaars der medische wetenschap als BEHRING en EHRLICH en die der physische chemie als ARRHENIUS, deelnamen. Uit die namen blijkt reeds, dat hier beide wetenschappen elkaar ontmoeten.

Het is niet gemakkelijk te midden der talrijke experimenten en theoriën de leidende gedachten op te sporen. Inderdaad geldt het hier dezelfde beginselen die bij de theorie van het verven van weefsels en van het looien op den voorgrond kwamen en wordt thans in dezelfde richting de oplossing gezocht. Hebben wij te doen met de werking van twee colloïden op elkander of is er een chemische verbinding van toxinen en antitoxinen tot stand gekomen of geschiedt eerst het eene en daarna het andere? Daar de werking van toxinen op antitoxinen evengoed in reageerbuizen als in 't levend lichaam plaats vindt, kan zij aan een nauwkeurig onderzoek worden onderworpen. Zij werken onmiddellijk op elkander zonder tusschenkomst van levende cellen. Een bepaalde hoeveelheid toxine wordt door een bepaalde hoeveelheid antitoxine geneutraliseerd onder verlies der giftige eigenschappen. BEHRING hield beiden voor colloïden, die op de gewone wijze op elkander werkten onder vorming van een neutraal product. Daarmede komt men echter niet uit wegens het specifieke van de werking; elk bepaald toxine heeft zijn bepaald antitoxine. Er moet dus wat bijkomen en daarbij kan alleen aan een chemische werking gedacht worden. De eerstvolgende onderzoekers hebben nu uitsluitend de chemische zijde van het proces in het oog gevat, alsof zij de eenige ware.

EHRLICH was de eerste, die de chemische opvatting scherp formuleerde. Zijn voorstelling ontleende hij klaarblijkelijk aan de organische structuurchemie, waar de eigenschappen der verbindingen tot zekere hoogte additief door bepaalde atoomgroepen in het molecule bepaald worden. In de moleculen van kleurstoffen onderscheidt men daar de chromogene en de chromofore atoomgroepen. Zoo nam EHRLICH in de moleculen der toxinen een toxofore en een haptophore atoomgroep aan, resp. de dragers van de giftige eigenschappen en van die, welke het molecule in staat stelde zich aan weefselseelen, b v. aan bloedlichaampjes, vast te hechten. Aan de cellen bevinden zich moleculen met receptore groepen. Deze moleculen worden ten deele afgestooten en zweven vrij in het plasma. Een molecule van een toxine kan zich nu met zijn haptogene groep aan een receptore van een

cel, b.v. aan een bloedlichaampje hechten en daarna met zijn tophore groep de giftwerking uitoefenen, b.v. uit het bloedlichaampje de kleurstof naar buiten doen komen (haemolyse) of het agglutineeren. Vinden de moleculen der toxinen echter op hun weg die der vrije antitoxinen, dan hechten beiden zich met de genoemde groepen aan elkander en dan kunnen de eerste zich niet meer aan de cellen hechten en ze vergiftigen. Dit is in beginsel hetzelfde als het zich binden van een basische kleurstof aan de carboxylgroep van den als zuur functioneerenden vezel. Het proces wordt dan ook door EHRLICH vergeleken met de neutralisatie van zuren door basen.

Nu is een serum, dat als tegengift moet dienen, rijk aan zulke vrije moleculen van antitoxinen, die dus die der toxinen als 't ware opvangen en vastleggen en ze beletten hun giftige functie op de weefselcellen uit te oefenen.

Dit was de hoofdgedachte van EHRLICH's leer. Om bijzonderheden, die zich voordeden, te verklaren, moest hij ze zeer compliceeren, toxonen invoeren, en drie soorten van toxinen — proto-, deuter- en tritoxinen — aannemen, waarvoor weder de organische chemie de motieven leverde. Elk der laatste drie trad dan weder in een α en β modificatie op, die tot elkander in een betrekking stonden als twee stereo-isomeren der structuurchemie.

De bekende strijd van EHRLICH met de physico-chemici met ARRHENIUS aan het hoofd liep niet over het hoofdbeginsel, maar over de wijze, waarop de chemische werking voorgesteld moest worden.

ARRHENIUS wilde al die samengestelde voorstellingen vermijden en de quaestie eenvoudig beschouwen als een neutralisatie van zwakke zuren door zwakke basen. Door de hydrolytische splitsing van het zout ontstaat daarbij ook de omgekeerde werking en daarmede een chemisch evenwicht, beheerscht door de bekende massawet.

Hij vergeleek de haemolyse van bloedlichaampjes door ammonia met die door toxinen en toonde de groote overeenkomst aan. In het onvoltooid blijven der neutralisatie zocht hij de verklaring van de bovenbedoelde bijzonderheden, die bij de werking van toxinen en anti-toxinen op elkander opgemerkt waren. Ook ARRHENIUS is er echter niet in geslaagd, om de werking van toxinen en anti-toxinen uitsluitend op te vatten als een chemisch proces en ze zoo in al haar bijzonderheden te verklaren.

De onderzoekers van den laatsten tijd — NERNST, BILZ, BECHHOLD en anderen, zijn teruggekomen op de gedachte, dat men naast chemische processen ook colloïdale in het oog moest vatten en dat de antitoxine-werking bestaan moet uit een werking van colloïdalen

aard, gevolgd door een chemische. In die richting zijn reeds onderzoeken gedaan. EISENBERG en VOLK gingen experimenteel het opnemen van typhus-agglutinine door typhusbacillen na en BILTZ bewees, dat de gevonden waarden geheel strookten met die, welke met behulp der adsorptie-isotherm berekend worden. Zulk een berekening gaf BILTZ ook voor de getallen door MADSEN en hem zelve gevonden voor de wisselwerking van toxinen en antitoxinen en ook hier bleek de adsorptie, het zoo kenmerkende verschijnsel der colloïden, een groote rol te spelen. Ook het zoogenaamde Danysz-effect — het feit, dat bij het langzaam en bij tusschenpozen toevoegen van een toxine aan een antitoxine een giftiger mengsel verkregen wordt dan bij toevoeging in eens van dezelfde hoeveelheid toxine aan evenveel antitoxine — wijst op een overeenkomstige afhankelijkheid van den tijd als bij het uftlokken der sols. Op de adsorptie moet dan, zooals bij zooveel colloïdale processen van dien aard, de chemische werking volgen, die er een specifiek karakter aan geeft.

In den tijd van LIEBIG was physiologie in haar meest wetenschappelijk gedeelte niet veel meer dan toegepaste chemie en physica met volkomen miskenning van den specifiek aard der levensverschijnselen. Daarna trad zij op met eigen experimenten op 't levend lichaam zelf en met een eigen methode van onderzoek en kwamen physica en chemie op den achtergrond, al konden zij als hulpwetenschappen niet gemist worden.

Thans komen de wetenschappen der anorganische natuur weer naar voren en vragen in de gedaante van physische chemie, niet 't minst in die van chemie der colloïden, een belangrijk aandeel bij het verklaren van de verschijnselen van het levend organisme. Physiologen en geneeskundigen hebben thans meer dan ooit behoefte aan een stevige physisch-chemische propædeuse, willen zij niet blijven staan op het onbevredigend standpunt van grove empirie.

Utrecht, Augustus 1909.
