

DEEL EN GEHEEL

REDE, UITGESPROKEN BIJ DE AANVAARDING VAN HET AMBT VAN
BUITENGEWOON HOOGLEERAAR AAN DE LANDBOUWHOOGESCHOOL
TE WAGENINGEN OP MAANDAG 31 MEI 1937 DOOR

DR H. J. C. TENDELOO

*Mijne Heeren Curatoren, Hoogleeraren, Lectoren, Do-
centen, Dames en Heeren Assistenten en Studenten der
Landbouwhoogeschool, en Gij allen die deze plechtigheid
met Uwe tegenwoordigheid vereert.*

De groote vermeerdering onzer kennis der natuur in de laatste decennia danken wij aan een steeds verder gaande analyse. Die vermeerdering onzer kennis is ons allen min of meer bekend, zeker echter is, dat wij er allen dagelijks de voordeelen van genieten door de technische toepassingen, die ervan gemaakt worden. Kenmerkend voor den modernen tijd is het immers, dat de techniek zich meester maakt en bedient van de vondsten, die op elk gebied van het natuurwetenschappelijk onderzoek gedaan worden. In hoeverre de technische toepassing steeds gewenscht of noodig is, is een vraag, die mij leiden zou op ethisch en economisch terrein, dat ik hier uitdrukkelijk wil buitensluiten. De dagelijksche ervaring geeft voldoende zekerheid, dat ieder te doen heeft met de onbetwistbare groote vooruitgang, die het resultaat is van het objectieve onderzoek der natuur.

De analyse der verschijnselen met steeds fijnere methoden brengt telkens weer nieuwe feiten aan het licht en wekt de hoop, dat de geheimen der natuur in steeds kleinere détails voor ons uitgespreid zullen komen te liggen. Waren allereerst en langen tijd de atomen en de daaruit opgebouwde moleculen de bouwstenen voor physicus en chemicus, die inhoud en vorm gaven aan hun denken en doen, thans zijn daar andere bijgevoegd. De kleinste deelen der materie, de atomen, blijken te zijn opgebouwd uit nog kleinere deelen. Electronen en protonen werden ontdekt, waarbij zich later nog neutronen en positronen voegden. Uit deze allerkleinste bouwstenen is de materie opgebouwd. De onderzoekingen der laatste jaren over radioactiviteit en isotopie, vooral ook over de kunstmatig radioactief gemaakte elementen, bewijzen hoe inderdaad met deze allerkleinste deeltjes gebouwd kan worden.

Het spreekt vanzelf, dat, waar zoo verschillende deeltjes aan den opbouw der stof deelnemen, de moeilijkheden zeer groot worden om de verschijnselen te beschrijven in wetten, die de meetbare grootheden onderling in een logisch systeem verbinden. Bovendien heeft het onderzoek geleerd, dat de verfijning der meetmethoden aan grenzen gebonden is, terwijl hier en daar de grens bereikt is.

Het mikroskopisch onderzoek maakte plaats voor het onderzoek met Röntgenstralen; in ontwikkeling is thans het onderzoek met electronen, die het mogelijk maakt nog weer fijnere details der stof vast te stellen. Die analyse is nooit het uiteindelijke doel van het onderzoek, ofschoon de volmaking der methoden dit in bepaalde gevallen wel kan zijn. Analyse is middel om te komen tot een beter begrip van meer samengestelde verschijnselen of eigenschappen. Met behulp van het meer eenvoudige streven wij er naar het meer samengestelde beter te begrijpen. De eigenschappen der stof willen wij begrijpen met behulp van de eigenschappen der samenstellende deelen, met behulp dus van onze kennis omtrent de kleinste bouwstenen en hun onderlinge werking op elkaar.

De materie verschijnt ons in allerlei vormen. In de kristallen hebben wij een vorm, die wij betrekkelijk goed kennen. De eigenschappen dier kristallen trachten wij te begrijpen uit de eigenschappen van atomen en elektronen, die in hun wisselwerking ionen vormen. Kennen wij daarbij nog enkele andere grootheden, b.v. de grootte der ionen, dan zijn wij in niet al te ingewikkelde gevallen op den goeden weg vele physische eigenschappen dier kristallen te begrijpen.

Ook in zuiver chemisch opzicht heeft de hier geschetste ontwikkeling belangrijke winsten kunnen boeken. De organische chemie, die steeds gestreefd heeft de eigenschappen der duizenden door haar ontdekte en gesynthetiseerde stoffen te begrijpen uit structuurformules dier stoffen, was in dit opzicht lange jaren de anorganische chemie vooruit. Naarmate de stoffen ingewikkelder werden stegen de moeilijkheden, maar het blijft toch steeds een bijzonder feit, dat het moderne physisch onderzoek tot resultaten heeft geleid, die volkomen in overeenstemming zijn met de chemische ervaring, die de organicus reeds verworven had en op grond waarvan hij structuurformules kon opstellen.

De anorganische chemie blijft thans niet achter. Uitgangspunt is hierbij geweest het periodiek systeem der elementen, opgesteld vrijwel tegelijkertijd door Mendelejew en Lothar Meyer. Reeds lang was bekend, dat bepaalde elementen overeenkomstige eigenschappen vertoonden. Door bepaalde rangschikking der elementen naar opklimmend atoomgewicht ontstond een systeem, waarbij elementen met gelijksoortige chemische eigenschappen in groepen waren ondergebracht. Eerst veel later heeft men begrepen hoe de chemische eigen-

schappen samenhangen met de eigenschappen der atomen. Door toepassing van de resultaten, die het natuurkundig onderzoek van de atomen heeft opgeleverd, op verbindingen is het inzicht in de chemische eigenschappen verdiept. Terwijl van de eene zijde de chemie de voorlichting door de physica niet kon ontberen, ondervond van de andere zijde de physicus de hulp van den chemicus, die de verbindingen of reeds gemaakt had of alsnog maakte, om aan deze, metingen te doen teneinde daaraan te tevoren een noodzakelijke band ontleeide. Zoo is er thans meer dan tevoren een noodzakelijke band ontstaan tusschen physica en chemie, die voor beide evenzeer van belang is. Naar het voorbeeld van den organicus tracht ook de anorganicus uit de structuurformules zijner verbindingen de eigenschappen dier verbindingen te voorspellen. Vooral ten aanzien van de physisch-chemische eigenschappen heeft deze ontwikkeling tot belangrijke resultaten geleid. In dit verband mogen de namen van Bohr en Kossel niet onvermeld blijven.

De analytische werkzaamheid van den onderzoeker der natuur is een zeer bijzondere. Hij beschouwt aanvankelijk één atoom of molekuul en hij tracht daarvan de eigenschappen vast te stellen en te begrijpen uit meer eenvoudige eigenschappen. Op zeker oogenblik verlaat hij deze richting, omdat men nooit met een enkel atoom of molekuul te doen heeft. De tevoren ontdekte eigenschappen worden dan toegepast op een verzameling van atomen, molekulen enz. Zoolang men in staat is zijn voorstellingen in wiskundigen vorm vast te leggen, is het voor niet al te ingewikkelde gevallen mogelijk ook de eigenschappen dier verzamelingen te beschrijven en te begrijpen. Van de gekristalliseerde toestand weten wij op deze wijze betrekkelijk veel. Wanneer wij een gekristalliseerde stof verhitten en de molekulen in dampvorm overgaan, waarbij zij zich gedeeltelijk in ionen splitsen, dan kunnen wij relaties opstellen waaruit b.v. te berekenen is hoe groot de bindingskrachten zijn, die de ionen in het kristal samenhouden.

Wanneer wij echter diezelfde stof in water oplossen, wordt het al moeilijker den toestand van de oplossing te kennen en te beschrijven. Wij hebben dan niet alleen rekening te houden met molekulen en ionen van de opgeloste stof, maar ook met die van het water. De samenstellende deelen zijn niet onafhankelijk van elkaar; zij beïnvloeden elkaar. De kennis van de eigenschappen van de samenstellende deelen maakt het nog niet mogelijk de eigenschappen van het geheel te kennen. Er zijn bovendien nog andere factoren, die de eigenschappen van het geheel op ingewikkelde wijze beïnvloeden.

Het element goud b.v. kennen wij als een fraai geel gekleurd metaal. In zijn verbindingen is het minder levendig van kleur. Het is echter niet moeilijk kolloïdale goudoplossingen te maken, die rood of blauw zijn. Ook van het element zilver kent men kolloïdale vormen van zeer

verschillende kleur. Het onderzoek heeft uitgewezen, dat deze kleuren samenhangen met de verdeeling der stof. Zoo is het goud in een blauwe kolloidale oplossing grover verdeeld dan in een roode. In vele andere gevallen gaat een steeds fijnere verdeeling van de stof niet gepaard met een kleursverandering. Doch wel treden steeds gelijktijdig veranderingen in eigenschappen op, die het geheel op eigenaardige wijze beïnvloeden, en die voor den toestand van kolloidale oplossingen van het grootste belang zijn.

In dat bepaalde gebied, waarin de verdeeling van de stof zoodanig is, dat men van den kolloidalen toestand spreekt, zijn de moeilijkheden door de ingewikkelde verschijnselen, die zich voordoen en de vele factoren, die daarbij een rol spelen, bijzonder groot. Op dit gebied ervaart men eerst recht, dat de deelen alle samenwerken aan de bepaling van den toestand van het geheel. Het gevolg is dan ook, dat een kleine wijziging in een der factoren nooit in haar gevolgen aan één enkele veranderende grootheid kan worden gemeten omdat door die wijziging tegelijkertijd andere factoren zich wijzigen, die eveneens hun gevolgen hebben.

OSTWALD gebruikte het woord, „Metastructuren” om aan te geven, dat de verdeelingstoestand van de stof in de kolloïden aansprakelijk is voor een reeks eigenschappen, die men niet tegenkomt bij de verdeeling in molekulen en ionen, en evenmin bij de grove verdeeling der materie in deeltjes, die b.v. 1 mm of grooter zijn.

Het is bekend, dat de bijzondere eigenschappen, die de kolloïden vertoonen, voor een zeer belangrijk gedeelte daaraan worden toegeschreven, dat de deeltjes een groot oppervlak ontwikkelen. Aan een oppervlak treden soms verschijnselen op, die zoo belangrijk zijn, dat zij van overwegenden invloed worden voor den toestand van het geheel. Voor de kolloïden is dit zeker het geval, want de krachten, die aan het oppervlak bestaan, leiden tot elektrische verschijnselen, die voor een groot deel den evenwichtstoestand der kolloïden bepalen. Het ligt niet in mijn bedoeling thans uitvoerig op deze zgn. adsorptieverschijnselen in te gaan. Daarentegen wil ik thans trachten de verschijnselen van een anderen kant te benaderen.

Denken wij ons een zeer verdunde oplossing van een eenvoudig zout als keukenzout in water. Een oudere theorie leert dan, dat de zoutmolekulen in de oplossing gedeeltelijk of geheel in natrium en chloorionen uiteenvallen. Er treedt dissociatie op, die des te grooter is naarmate de oplossing verdunder is. Indien de oplossing voldoende verdund is, dan zijn er eenige wetten, die enkele eigenschappen dier oplossingen beschrijven, en die het b.v. mogelijk maken de samenstelling der oplossing te kennen uit één of meer experimenteel te bepalen fysische grootheden.

In deze verdunde oplossing is de concentratie van molekulen of

ionen, en derhalve ook hun onderlinge afstand zoodanig, dat zij elkaar onderling niet beïnvloeden. Deze voorstelling is voor ons denken eenvoudig genoeg om er bepaalde conclusies aan te ontleenen, die dan ook inderdaad voldoende blijken om enkele wetmatigheden op te stellen. Inderdaad blijkt dan, dat theorie en experiment met elkaar in overeenstemming zijn.

Wanneer echter de concentratie verhoogd wordt, ziet men al heel spoedig afwijkingen optreden. De theorie, die aanvankelijk was opgesteld, blijkt niet meer met het experiment over een te komen. De voorstelling, die aan de theorie ten grondslag lag, was te eenvoudig, en een nadere analyse leert, dat men nu wel rekening moet gaan houden met den onderlingen afstand van molekulen en ionen in de oplossing en hun onderlinge beïnvloeding. In de plaats van de afzonderlijke ionen treden verzamelingen van ionen, ionen-atmosferen, op. De hypothese van een met de verdunning voortschrijdende dissociatie blijkt dan onnoodig te zijn; zij wordt dus verlaten en in haar plaats treedt het beginsel, dat onder alle omstandigheden de dissociatie volledig is.

De oudere en eenvoudiger theorie van VAN 'T HOFF wordt vervangen door de moderne theorie, aan welke de namen van DEBYE en zijn medewerker HÜCKEL verbonden zijn.

Beschouwen wij deze voorstelling wat nader. Een ion, een deeltje dus met een lading, zal ionen met een tegengestelde lading aantrekken en die met een gelijke lading afstooten. Ook voor deze ionen, die in de nabijheid van het eerste ion komen geldt ditzelfde. Er is een voortdurende en alzijdige aantrekking van tegengesteld geladen ionen en afstooting van gelijkgeladen ionen, met als eindresultaat, dat in de nabijheid van een positief ion de negatief geladen ionen iets talrijker zijn, en in de nabijheid van een negatief ion de positieve. De eigenschappen van deze ionenwolken zijn natuurlijk anders en ingewikkelder dan de eigenschappen van de opbouwende enkelvoudige ionen.

Ons beeld is hiermede nog niet af. In de nabijheid van ionen en de ionen-zwermen wordt ook de invloed van de watermolekulen van belang. De lading der ionen heeft nl. een richtenden invloed op het watermolekuul, waardoor ook dit door het ion wordt aangetrokken. De ionen hebben als het ware een watermantel om zich heen.

De natrium- en chloorionen van het keukenzoutkristal, waarvan wij zijn uitgegaan, en de watermolekulen zijn niet meer de eenvoudige bouwstenen van de oplossing. In de plaats van deze zijn andere, meer samengestelde, deelen getreden, die den toestand en de eigenschappen van het geheel bepalen.

Wanneer wij nu naast keukenzout één of meerdere andere zouten in oplossing brengen, dan is wel in te zien hoe ontzaglijk moeilijk het wordt den invloed van één enkele factor te bestudeeren, indien het thans niet geheel onmogelijk is. Tenslotte brengen wij in dit inge-

wikkelde systeem nog een stof in kolloidale toestand. In groote trekken stelt dit geheel dan voor een kolloidale oplossing, die ter bestudeering aan den chemicus wordt voorgelegd.

Dit onderzoek kan in verschillende richtingen gaan, alle b.v. met de bedoeling om een beter inzicht te krijgen in het gedrag van een kolloidale stof ten opzichte van elektrolyten, die in de kolloidale oplossing gebracht worden. Het zij mij vergund dit aan enkele voorbeelden nader toe te lichten.

Ik ontleen mijn eerste voorbeeld aan de kolloidchemie der eiwitten. Niet alleen zijn deze van groot belang voor allerlei processen, die zich in vivo afspelen, ook het onderzoek in vitro is belangwekkend genoeg om er een oogenblik bij stil te staan.

Chemisch behooren de eiwitten tot de aminozuren, amphotaire stoffen, die met zuren en basen verbindingen kunnen aangaan. De eenvoudige aminozuren, die wij in het laboratorium kunnen maken, zijn geen kolloiden. De eiwitten, die kolloidale oplossingen vormen, zijn natuurproducten; uit deze kunnen wij langs chemischen weg de eenvoudiger opgebouwde aminozuren verkrijgen. De terugvorming, de synthese dus, van de natuurlijke producten uit de samenstellende componenten is tot dusver niet gelukt. Langen tijd heeft men de eiwitten beschouwt als amorphe stoffen, die niet in gekristalliseerden toestand te brengen zouden zijn. Sedert het echter gelukt is enkele eiwitten in gekristalliseerden vorm te krijgen is dit standpunt niet meer te handhaven. Het gekristalliseerde ei-albumine van SÖRENSEN was het eerste voorbeeld; het eiwit bereid uit mozaik zieke tabaksplanten, dat door STANLEY gekristalliseerd verkregen werd, is een tweede voorbeeld. Vele moeilijkheden moeten overwonnen worden voor men het eiwit zoover gezuiverd heeft, dat het kristalliseert. Geringe hoeveelheden van andere stoffen hebben een zeer groote invloed op de eigenschappen dier oplossingen, en de verwijdering van deze sporen van vreemde stoffen gaat met de grootste moeilijkheden gepaard. Anderzijds volgt hieruit, dat die vreemde stoffen wellicht juist aan het geheele systeem die eigenschappen verleen, die den kolloidalen toestand zoo belangrijk maken voor het levend organisme. Tot dusver weten wij niet wat hier gebeurt en hoe dit gebeurt. Daarentegen weten wij wel het een en ander over den invloed van een vreemde stof op een eiwit, dat reeds in kolloidalen toestand in oplossing aanwezig is.

Indien bij een eiwit-oplossing kleine hoeveelheden zuur worden gebracht in stijgende concentratie, dan wordt telkens een gedeelte van dat zuur door het eiwit gebonden, een ander deel blijft in de vloeistof waarin de eiwitdeeltjes zich bevinden. Het chemisch spraakgebruik zegt, dat er zich een evenwicht instelt tusschen de eiwitdeeltjes en de omringende vloeistof. Op een eenvoudige wijze kunnen wij den zuurgraad van de oplossing bepalen en wij kunnen b.v. onderzoe-

ken hoe die zuurgraad zich wijzigt met de hoeveelheid zuur, die toegevoegd is, om daaruit conclusies te trekken omtrent het vermogen van het eiwit om bepaalde zuren te binden. Hetzelfde kan gezegd worden van basen.

Gaan wij nu een stap verder en vragen wij naar het gedrag van het eiwit ten opzichte van een neutraal zout als natriumchloride of calciumchloride, dan is datgene, dat wij hiervan weten dadelijk veel minder. De toevoeging van het zout heeft de instelling van een nieuw evenwicht ten gevolge, en wij kunnen uit metingen conclusies trekken over veranderingen, die kunnen optreden en die in overeenstemming zijn met de richting, soms ook met de grootte, van de veranderingen, die de meting te zien geeft. Wij kunnen echter niet nagaan wat er met het natriumion gebeurt; wij weten dus ook niet of het door het eiwit gebonden wordt, nog minder hoe het evenwicht er kwantitatief uitziet. Dit zijn juist de vragen, die vooral biologisch van het grootste gewicht zijn.

Naarmate het systeem ingewikkelder wordt en het aantal componenten groter, stijgen de moeilijkheden voor het onderzoek. Ter illustratie noem ik de melk, een zeer ingewikkeld kolloidaal systeem, waarin als belangrijkste stoffen voorkomen eiwitten, vetten, melksuiker en zouten, alle verdeeld in water. De eiwitten, in hoofdzaak caseïne, en de vetten zijn in kolloidalen toestand; de zouten ten deele aan de eiwitten gebonden, tendeele opgelost in het water. Het zou mij te ver voeren, wanneer ik op veel bijzonderheden thans zou ingaan. Ik moet mij beperken en wil alleen iets zeggen omtrent de zouten.

De kolloidale deeltjes in de melk zijn negatief geladen en dit maakt, dat de positieve ionen van meer belang zijn voor allerlei verschijnselen dan de negatieve. Van de aanwezige positieve ionen zijn vervolgens het waterstofion en het calciumion de belangrijkste. In normale melk zijn deze ionen binnen zekere grenzen vrij constant verdeeld; van beide is een deel aan de caseïne gebonden en een ander in de vloeistof opgelost. Deze, men zou zeggen harmonische verdeling is van het grootste gewicht. Het doet zich nl. wel eens voor, dat bij dezelfde hoeveelheid calcium, er te weinig aan de caseïne gebonden is, waardoor b.v. de zgn. alcoholproef positief uitvalt en de melk zou moeten worden afgekeurd.

Waarom is die verdeling zóó als zij is en niet anders, en hoe is dan die verdeling? Om een antwoord op deze vragen te krijgen kan men b.v. eerst bepalen hoeveel calcium er in het geheel in de melk aanwezig is. Vervolgens verwijderd men de kolloidale bestanddeelen door centrifugatie of ultrafiltratie en bepaalt dan in de heldere vloeistof wederom de hoeveelheid calcium. Een eenvoudige berekening levert dan de gezochte verdeling. Een beschouwing van deze schijnbaar eenvoudige bewerking leert echter, dat de afscheiding der kolloidale

bestanddeelen juist die ionen-verdeeling beïnvloedt, zonder dat men weet hoe. Een analoog geval, dat beter bekend is, doet zich voor bij grond. Wanneer men een suspensie maakt van grond in water en men bepaalt daarvan den zuurgraad, dan vindt men een andere waarde wanneer men hetzelfde doet in de heldere vloeistof nadat door bezinking of centrifugatie de grond is verwijderd geworden.

Het in het systeem heerschende evenwicht wordt derhalve door de analysemethode zelf verstoord. Indien men opzettelijk iets aan de melk toevoegt, om vervolgens uit de optredende veranderingen conclusies te trekken over den aanvankelijken evenwichtstoestand, dan zijn deze a priori tenminste onvolledig.

Wanneer het aantal componenten grooter is, zooals inderdaad dus ook bij melk het geval is, dan worden de verstoringen in de evenwichten ingewikkelder en ingrijpender dan tot dusver is te overzien. Dan rijst vervolgens de vraag of er ook andere methoden zijn, waarbij een verstoring van het evenwicht niet plaats heeft. Zooals bekend zijn er elektrische methoden, die aan deze voorwaarde voldoen. De elektrische bepaling der waterstofionenconcentratie is er één van. Voor andere lichte ionen, ik denk b.v. aan natrium, kalium, calcium, is een dergelijke eenvoudige methode nog niet voorhanden, ofschoon er met name voor het calcium wel een begin mede gemaakt is.

Voorshands lijkt het echter niet zeer waarschijnlijk, dat men op deze wijze methoden zal kunnen uitwerken, die ons een inzicht geven in het evenwicht, dat zich voor elk dier ionen in kolloïdale oplossingen instelt. Zoolang men echter niet te maken heeft met de vorming van onoplosbare verbindingen aan de kolloïdale deeltjes lijkt het mogelijk langs een anderen weg tot dat inzicht te komen.

Ik noemde reeds de theorie van DEBYE en HÜCKEL in verband met de structuur van zoutoplossingen. In deze theorie treedt op het begrip „activiteitscoëfficiënt”. De beteekenis kan ongeveer op de volgende wijze worden ingezien.

Wanneer in een oplossing in water meerdere zouten, en dus verschillende positieve en negatieve ionen voorkomen, dan staan alle ionen van één soort onder invloed van alle ionen der andere soorten. In een oplossing van kaliumchloride en calciumnitraat staan dus de kaliumionen onder invloed van chloor-, calcium- en nitraationen, en dit geldt wederkeerig voor elk der ionen. Niet dus de hoeveelheid der ionen, maar hun werkzaamheid is van belang. Deze wordt uitgedrukt met behulp van de activiteitscoëfficiënt. Alle ionen hebben gelijke rechten, alleen hun lading en concentratie zijn van belang voor de activiteitscoëfficiënt. Bij hogere concentratie komen ook nog ionenstralen in de formules, hetgeen tot een extra complicatie leidt.

De conclusie, die wij trekken kunnen is deze, dat een oplossing van meerdere elektrolyten vervangen gedacht kan worden door een op-

lossing van een enkele elektrolyt, mits de activiteiten van beide gelijk zijn.

In verband met het reeds besprokene over ionen evenwichten in kolloidale oplossingen is de kennis van activiteiten en activiteitscoëfficiënten van belang. Het is nu mogelijk om langs elektrischen weg in oplossingen de activiteit voor enkele ionen te bepalen. Voor andere, b.v. natrium, kalium, calcium, die juist biologisch van zoo groot belang zijn, is dit verre van eenvoudig.

Het is derhalve de moeite waard te overleggen of er niet een methode te denken is, die mogelijkwijze in staat stelt de activiteit van samengestelde oplossingen te meten. Wij zouden dan aan het begin staan van de beantwoording der vraag, hoe en waarom de ionen evenwichten in kolloidale systemen zijn zooals zij zijn, een vraag, die van het aller-grootste gewicht is voor problemen in vivo en in vitro.

Om deze mogelijkheid te onderzoeken wil ik aansluiten aan een zeer algemeen bekend verschijnsel in de landbouwkunde, nl. dat der basenuitwisseling.

Het uitgangspunt voor dergelijke beschouwingen is steeds weer de vondst van THOMAS WAY. Hij stelde immers vast, dat grond in staat is om ionen uit een oplossing, waarmede hij in aanraking is, op te nemen en andere daarvoor in de plaats te stellen, die tevoren aan den grond gebonden waren. Met zekerheid is deze ionenomwisseling tot heden alleen aangetoond voor postieve ionen, waartoe ik mij ook zal beperken.

In den loop der jaren is over dit onderwerp een omvangrijke literatuur ontstaan, waaraan ook de namen van Nederlanders, VAN BEMMELLEN en HISSINK, verbonden blijven. De basenuitwisseling van den grond is een eigenschap zoowel van het anorganisch deel, de silicaten, als van het organische deel, de humus. Voor het vervolg heb ik alleen noodig te spreken over de silicaten, en van deze in het bijzonder over de kleifractie, die de sterkste basenomwisseling vertoont. Terloops zij vermeld, dat men deze ionen-omwisseling natuurlijk ook bij andere kolloïden ontmoet; in de laatste jaren is zij het onderwerp geweest voor onderzoekingen, die onze inzichten omtrent de eigenschappen van de elektrische dubbellaag van kolloïdale deeltjes zeer verdiept hebben.

Wanneer men uit den grond de kleifractie heeft afgezonderd en deze zoo zuiver mogelijk verkregen heeft, kan men er voor zorgen, dat de klei uitsluitend waterstof als omwisselbare ionen bezit. Men moet daartoe de klei behandelen met zoutzuur van zoodanige concentratie, dat de klei zelf er niet door wordt aangetast. Behandelt men vervolgens deze zgn. waterstofklei met een oplossing van keukenzout, dan blijkt door analyse, dat een klein gedeelte der omwisselbare waterstofionen door natriumionen zijn vervangen. Doet men hetzelfde met een alka-

lische oplossing van keuzenzout, dan blijkt, dat er veel meer natrium-ionen aan de klei gebonden worden en men kan de reactie zoo leiden, dat praktisch alle waterstofionen door natrium vervangen worden. De, op deze wijze verkregen, natriumklei vertoont analoge eigenschappen. De natriumionen zijn vervangbaar door andere kationen. Deze verschijnselen zijn algemeen bekend; zij zijn niet alleen theoretisch van belang, maar hebben ook groote waarde voor de praktijk der landbouw in verband met grondverbetering, grondstructuur, kortom voor het geheele wel en wee van het gewas. Er kunnen zooals vanzelf spreekt meerdere ionen aan de reactie deelnemen, en wij kunnen nagaan hoe de verdeling der verschillende ionen aan de klei is. Uit de onderzoekingen blijkt, dat behalve de concentratie der ionen in de oplossing, ook de ionen soort daarop invloed heeft. Zoo weet men, dat het waterstofion sterk door de klei gebonden wordt, moeilijk omwisselt en derhalve ook uit een oplossing gemakkelijk wordt ingewisseld tegen ionen, die de klei gebonden houdt. Voor een natrium-ion geldt het omgekeerde en zoo kan men de ionen in een reeks brengen, waarin de volgorde bepaald wordt door het omwisselingsvermogen. Over de kwantitatieve zijde van dit vraagstuk spreek ik op het oogenblik niet; dat zou een onderwerp op zich zelf worden.

Beschouwen wij deze ionen omwisseling in het licht van de moderne theorie, dan mogen wij vast stellen, dat wij er nog weinig van op de hoogte zijn.

Thans wil ik een oogenblik stilstaan bij de krachten, die bij deze ionen-omwisseling in het geding komen. Wij hebben ons dan voor te stellen, dat het oppervlak der kleideeltjes de zetel is van elektrische krachten, die de ionen aantrekken. In water gebracht, stelt zich een evenwicht in tusschen de ionen in de oplossing en die aan het kleideeltje. Indien dit evenwicht zich heeft ingesteld, dan is de arbeid om een ion uit de oplossing naar een deeltje te brengen evengroot, doch tegengesteld aan den arbeid, die noodig is om datzelfde ion van het kleideeltje naar de oplossing te brengen. Dit geldt voor alle ionen. Het is evenwel zeer waarschijnlijk, dat niet alle ionen op het kleideeltje op gelijkwaardige plaatsen geadsorbeerd zijn. M.a.w. er zullen ionen zijn, die sterk geadsorbeerd zijn en andere, die minder vast gebonden zijn. Uit onderzoekingen van WIEGNER en RENOLD aan permutieten, waaraan ammonium en zilverionen geadsorbeerd zijn, is dit o.a. gebleken. De evenwichten kunnen door analyse vastgesteld worden, en door toevoeging van een derde kation kan de invloed hiervan op elk der andere worden onderzocht. Allerlei factoren kan men hierbij nagaan, doch als men den geheelen toestand wil beschrijven komt men in moeilijkheden, omdat de factoren elkaar onderling weer beïnvloeden.

Niet alleen klei, ook andere silicaten, als permutieten, vertoonen

analoge eigenschappen. Een silicaat met bijzondere eigenschappen is het glas. In tegenstelling met vele silicaten van mineralen oorsprong, die kristallijn zijn, is het glas amorph, waaraan het zijn bijzondere eigenschappen dankt.

In de laatste jaren komt het gebruik van glas als elektrode voor de bepaling der waterstofionen concentratie meer en meer in gebruik. Men blaast een speciaal daarvoor geschikt glas tot een dunwandig bolletje uit en bepaalt de potentiaal, die dit bolletje in een oplossing aanneemt. Die potentiaal is een maat voor den zuurgraad der oplossing. Indien men zich voorstelt, dat de potentiaal van het glasbolletje tot stand komt door adsorptie van waterstofionen, dan voert deze hypothese tot de conclusie, dat ditzelfde dan ook het geval zal moeten zijn voor andere ionen. Het onderzoek leert echter, dat alleen in geconcentreerde zoutoplossingen iets dergelijks wordt waargenomen, tenzij men de elektrode op speciale wijze prepareert. Doet men dit echter niet, dan overweegt al spoedig de invloed der waterstofionen en zijn de resultaten niet voor interpretatie vatbaar. Dit is een ervaring van meerdere onderzoekers. Nu blijkt echter iets anders.

Het is eenvoudig om in te zien, dat men de ionenadsorptie door het glas kan tegenwerken door een tegenspanning. Indien deze nul is kan de adsorptie ongehinderd plaats hebben; bij een hogere waarde bereiken de ionen den glaswand niet en bij een waarde, die tusschen deze twee inligt maakt de tegenspanning juist evenwicht met de adsorptie. Met een daarvoor geschikte proefopstelling zijn deze verschijnselen gemakkelijk te volgen en is het zoo even genoemde evenwicht vast te stellen in een zgn. stroom-spanningscurve.

Doet men dit voor neutrale zoutoplossingen, dan neemt men het merkwaardige en verrassende resultaat waar, dat nu wel tot in kleine concentratie de ionen onderlinge verschillen vertoonen. Lithium, natrium en kaliumchloride hebben verschillende evenwichtspunten. De tegenspanning is hooger naarmate de activiteitscoëfficiënt der oplossing grooter is, bij gelijke concentratie.

Het spreekt vanzelf, dat voor deze metingen de waterstofionenconcentratie constant gehouden moet worden, omdat anders wederom het effect der verschillen gemaskeerd zou worden door de sterkeren invloed dier waterstofionen. Indien echter het onderzoek leert, dat de glaselektrode, op deze wijze toegepast, reageert op de activiteit van alle ionen, dan zou ook dit geen bezwaar meer behoeven te zijn.

Op deze wijze zou men dan, aanvankelijk althans, voor niet al te ingewikkelde systemen, een inzicht kunnen krijgen in de evenwichten, die optreden in kolloidale systemen waarin steeds elektrolyten aanwezig zijn. Dit onderzoek staat nog heel in het begin, maar het lijkt dat wij in de glaselektrode een instrument hebben, dat van veel waarde kan worden.

Het groote biologische belang van de problemen, die ik besprak, moge nog aan een voorbeeld geïllustreerd worden. Een onderwerp, dat in de laatste jaren nogal belangstelling heeft, is de winterhardheid van gewassen ¹⁾. De vraag naar de bestendigheid van gewassen tegen koude voert dadelijk tot vraagstukken, die samenhangen met de verschijnselen, die men waarneemt bij afkoeling en bevriezing van kolloïdale systemen. De fysisch-chemische en kolloïdchemische veranderingen, die zich hierbij voordoen, zijn al zeer ingewikkeld; temeer geldt dit dus voor biologische objecten.

Ten aanzien van gewassen heeft men b.v. kunnen vaststellen, dat de bemesting een rol speelt. SCHAFFNIT en WILHELM vonden, dat een overvloedige kalibemesting bij aardappelen en tomaten de koude bestendigheid verhoogt. Eveneens doet dit zich voor wanneer geteeld wordt op stikstof en fosfaat arme gronden.

Gezocht is ook naar een correlatie tusschen de samenstelling van het celsap en de bestendigheid tegen koude. Bij grootere bestendigheid lijkt het alsof ook het suikergehalte van het sap hooger is, ofschoon ook het tegengestelde kon worden vastgesteld. Het verdere onderzoek van het celsap leverde evenmin definitieve betrekkingen op. Noch het drogestof gehalte, noch de osmotische druk, noch de reactie van het celsap kon aanwijzing geven omtrent meerdere of mindere bestendigheid.

Men heeft ook een onderzoek ingesteld naar de eiwitten in het celsap. Ofschoon er aanwijzingen waren van TADOKORO en JOSHIMURA, dat bij bevriezing histidine en arginine zouden toenemen, tyrosine daarentegen zou afnemen, bleek later aan WILHELM, dat er geen verband bestaat tusschen de eiwitafbraak en koude bestendigheid.

Men heeft verder kunnen aantoonen, dat door bevriezing van het celsap de eiwitten coaguleeren, maar dat deze coagulatie geringer wordt door toevoeging van suiker, waardoor tevens de zgn. uitzouting der eiwitten minder gemakkelijk plaats heeft. Door dialyse daarentegen wordt de coagulatie der eiwitten bevorderd.

Naast deze chemische en kolloïdchemische verschijnselen zijn er tegelijkertijd de biologische factoren, die het geheel compliceeren en waarover ik nu niet spreek. Zonder dat nog bewezen is hoe krijgt men uit het voorgaande toch wel den indruk, dat een bijzonder fijn mechanisme het geheele verschijnsel beheerscht. Het onderzoek van afzonderlijke factoren echter wijst niet altijd in dezelfde richting; het kan dat ook niet doen, omdat door de wijze van onderzoek zelf wijzigingen optreden, die wij vaak niet kennen.

Indien wij echter voor een oogenblik van de biologische factoren afzien en constateeren dat wij b.v. in het celsap te doen hebben met

¹⁾ cf. Annual Reports on the progress of Chemistry 32. 431.

een kolloidaal systeem van eiwitten, koolhydraten, enzymen enz., naast zouten in water en wij vragen ons af, hoe in dit samengestelde systeem gemeten kan worden, zonder dat het daardoor zelf verstoord wordt, dan is het antwoord daarop, dat alleen een elektrische bepaling daarvoor in aanmerking komt. De meting van den zuurgraad is, zooals ik reeds zeide, blijkbaar onvoldoende, het geleidingsvermogen is moeilijk te interpreteren. Het gebruik van de glaselectrode op de aangegeven wijze kan het inzicht verdiepen. Daarnaast zal de chemische analyse steeds noodig blijven.

Een belangrijk factor is ook de verdeeling van het water. Zooals bekend is binden eiwitten en andere lyophile kolloïden een hoeveelheid water als hydratatie water; men spreekt hier van gebonden water in tegenstelling tot vrij water. Het onderzoek heeft geleerd, dat dit verschil inderdaad bestaat en dat de eigenschappen van vrij en gebonden water verschillend zijn. Dit evenwicht verandert bij bevrozing en is niet volkomen reversibel. In de tegen koude meer bestendige planten is minder vrij water dan in de minder bestendige. Het komt echter niet alleen op deze verdeeling aan; ook de overige toestand van het gebonden water is hierop van invloed. Zoo heeft men gevonden, dat bij toenemende resistentie de extraheerbare elektrolyten verminderen, alsook het elektrolytgehalte van het gebonden water.

In de kolloïdchemie kent men gevallen van sensibilisatie en antagonisme, waarbij het onderzoek van de activiteit der oplossingen het inzicht belangrijk verdiept heeft. De concentraties der elektrolyten geven een onvoldoende basis voor de kennis van de stabiliteit van kolloïdale oplossingen. Het spreekt vanzelf, dat daarnaast specifieke werkingen niet uitgesloten zijn, waarbij dan de activiteit een onvoldoende basis wordt. Naarmate de systemen ingewikkelder worden wordt het moeilijker de activiteiten volgens de theorie van DEBYE en HÜCKEL te berekenen. In het voorgaande heb ik getracht aan te geven welke problemen zich in het algemeen voordoen bij de bestudeering van evenwichten in kolloïdale systemen.

Ten slotte nog een enkele opmerking. Ik wees op de bezwaren van het onderzoek van de afzonderlijke factoren, die de verschijnselen beheerschen. Ik wees op de moeilijkheden om uit de deelen het geheel te begrijpen. Ik wees tenslotte op de mogelijkheid voor een nieuwen weg, die leiden kan tot diepere inzichten op het terrein van physische en kolloïdchemie.

De enorme vlucht van het natuurwetenschappelijk onderzoek der laatste decennia heeft geleid tot een tot het uiterste doorgevoerd détailonderzoek. Die analyse is onze wetenschap zeer tot voordeel geweest en zij was noodig om ons zoover te brengen. Is het dan niet merkwaardig, dat een man als ALEXIS CARREL, die als natuuronderzoeker in den meest uitgebreiden zin des woords een wereldnaam

heeft, een boek schrijft met den titel „De onbekende mensch”? Hierin komt tot uiting, dat ondanks het zeer vele, dat wij tot in onderdeelen weten, het geheel eigenlijk nog onbekend is gebleven. Als medicus is hij het best op de hoogte van de physiologie, die steunen moet op chemie en physica, van welke wij tot op zekere hoogte eveneens zouden moeten zeggen, dat zij onbekend zijn.

Het onderzoek van de deelen kan niet gemist worden; het moet ten allen tijde voortgezet worden, opdat het inzicht in het geheel mogelijk worde.

Mijne Heeren Curatoren,

Het verheugt mij U thans voor den tweeden keer in het openbaar te mogen toespreken. Dankbaar ben ik U, dat gij mij hebt willen voordragen, voor de positie, die ik heden aanvaard heb. Uw warme belangstelling voor alles dat met de Landbouwhoogeschool verband houdt, maakt de samenwerking met Uw College zoo aangenaam. Menigmaal had ik reeds het voorrecht dit te ondervinden. Ik hoop, dat in de toekomst ons werken voor het gemeenschappelijke doel aan den bloei der Landbouwhoogeschool ten goede mag komen.

Mijnheer de Secretaris van Curatoren,

Menige inleidende bespreking heb ik met U gehad. Het heeft mij steeds verheugd, dat daarbij de belangen van het onderwijs en onderzoek leiding gaven. U weet het, vaak kwam daarna het gesprek op onderwerpen, die ons interesseerden. Moge ook onze aangename samenwerking in de toekomst bestendig blijven.

Mijne Heeren Hoogleraren dezer Hoogeschool,

De onderdeelen der chemie, die mij ter behartiging zijn toevertrouwd hebben mij met velen Uwer in aanraking gebracht. Steeds meer raak ik ervan overtuigd, en in dit uur heb ik daarvan gesproken, dat voor het begrip van het geheel de kennis der deelen onmisbaar is. De structuur onzer Hoogeschool en der landbouwwetenschap dwingt mij temeer tot deze overtuiging. Uw jongste collega wil niets liever dan daaraan zijn krachten wijden. De vriendschappelijke banden, die in den loop der jaren ontstaan zijn, waardeer ik zeer.

Mijne Heeren Lectoren en Docenten dezer Hoogeschool,

Het eenige, dat verandert, is, dat mijn naam op een andere plaats in programma en jaarboek der Landbouwhoogeschool zal komen te staan. Weest U daarvan evenzeer overtuigd als ik dat ben.

Hooggeleerde van Romburgh, Cohen en Kruyt,

Het verheugt mij, dat gij, die mijn leermeesters waart, hier aan-

wezig zijt. Wilt van deze plaats mijn dank aanvaarden voor de leiding, die gij mij geeft. Mogen de banden, die na het verlaten der Universiteit bleven, ook in de toekomst gecontinueerd worden. Gaarne geef ik U de verzekering, dat ik daaraan veel waarde hecht.

Dames en Heeren Studenten dezer Hoogeschool,

De taak van den docent is niet af, wanneer hij zich tevreden stelt de wetenschap mede te deelen. Voor U is hoofdzaak: de voorbereiding tot zelfstandige werkers. Daarvoor is noodig de vraagstukken op te zoeken en te onderzoeken. Daarvoor is evenzeer noodig de ontplooiing Uwer gaven tot wetenschappelijke activiteit. Gaarne steun ik U bij Uw streven en moeilijkheden, die vooral in dezen tijd vaak niet gering zijn.

Ik heb gezegd.