

# ADSORPTIE-EVENWICHTEN IN DE BODEM

OPENBARE LES GEHOUDEN BIJ DE AANVAARDING VAN HET AMBT  
VAN LECTOR AAN DE LANDBOUWHOGESCHOOL  
OP 14 FEBRUARI 1957

DOOR

DR. IR. G. H. BOLT



H. VEENMAN & ZONEN • WAGENINGEN

*Mijne Heren Curatoren,  
Dames en Heren Hoogleraren, Lectoren en  
Docenten,  
Dames en Heren Wetenschappelijke Mede-  
werkers en Assistenten,  
Dames en Heren Studenten en voorts Gij  
allen, die door Uw aanwezigheid van Uw  
belangstelling blijk hebt willen geven.*

*Zeer gewaardeerde Toehoorderessen en Toehoorders,*

De bodem is een complex drie-fasig systeem, waarvan alle componenten in voortdurende wisselwerking met elkaar staan. Deze componenten zijn velerlei in soort, zoals de minerale en organische bestanddelen van de vaste fase, de bodemoplossing met zijn geïoniseerde en moleculaire componenten en de verschillende bodemgassen. Kenmerkend voor het bodemsysteem is de aanwezigheid van een vaste fase met een relatief groot soortelijk oppervlak, zodat een belangrijk gedeelte van de vloeibare fase aanwezig is binnen het bereik van de adsorptiekrachten van de vaste fase. De wisselwerking tussen de bodemcomponenten heeft tot gevolg dat iedere verandering aangebracht aan het bodemsysteem een gehele reeks reacties veroorzaakt. De aard van deze reacties wordt in hoofdzaak bepaald door de interactie tussen de vaste en vloeibare fase.

In de natuur is de bodem doorlopend blootgesteld aan veranderingen. Deze veranderingen worden veroorzaakt door fysische invloeden, zoals het ontstaan van temperatuur-gradiënten onder invloed van in- en uitstraling en van vocht-gradiënten als gevolg van verdamping, infiltratie en drainage, als ook door biologische invloeden, zoals het ontstaan van concentratie-gradiënten als gevolg van ionenopname door planten.

Ter verduidelijking van deze zich in de bodem afspelende processen zij hier een voorbeeld gegeven. Wanneer als gevolg van verdamping een hoeveelheid water wordt onttrokken aan een bodemsysteem, dan zal in de eerste plaats een verhoging van de concentratie der opgeloste stoffen plaats vinden. Door de wisselwerking tussen de vaste fase en de vloeibare fase zal nu in principe een verschuiving optreden, zowel in de totale als in de relatieve hoeveelheid van de geadsorbeerde en vrij bewegelijke bestanddelen van de opgeloste componenten. De activiteit van het bodemwater zal door deze verschuivingen verlaagd worden. Simultaan met deze osmotische veranderingen in de vloeibare fase zal over het algemeen een wijziging van het grensvlak tussen de gasvormige fase en de vloeibare fase plaats vinden. Ook dit heeft als gevolg dat de activiteit van het bodemwater afneemt.

De interactie tussen de componenten van de vaste fase onderling

wordt sterk beïnvloed door de samenstelling van de vloeibare fase. Aangezien deze laatste gewijzigd werd als gevolg van de veronderstelde wateronttrekking moet dus een verandering van de zwellings-toestand van de bodem verwacht worden. Afgezien van de irreversibele contracties die hierdoor kunnen optreden zullen in het algemeen wijzigingen van de structuur van de bodem plaats vinden, welke zowel de doorlatendheid voor gassen en vloeistoffen, als ook de mechanische weerstand van de bodem voor wortelgroei zullen beïnvloeden. De genoemde veranderingen van de doorlatendheid en de kwantitatieve vermindering van de vloeistoffase als gevolg van verdamping zullen de samenstelling van de gasfase, in het bijzonder de verhouding van  $\text{CO}_2$  en  $\text{O}_2$  in deze fase, ingrijpend kunnen wijzigen. De hierdoor veroorzaakte verandering van de redox potentiaal zal nu de chemische samenstelling van de bodemoplossing weer beïnvloeden, waardoor een herhaling van de hierboven vermelde reactiecyclus zal optreden.

Het is duidelijk dat de gehele reeks van veranderingen bewerkstelligd door de verdamping van een hoeveelheid water uit de bodem, uitermate ingrijpend kan zijn voor een op deze bodem groeiende plant. Deze laatste ondervindt namelijk behalve de directe invloeden van een gewijzigde chemische samenstelling van de bodemoplossing en de verkleining van de activiteit van het water, ook de indirecte invloeden van structuurwijzigingen met de daaruit voortvloeiende verandering van de redox potentiaal en de mechanische weerstand voor wortelgroei.

De taak van de bodemschei- en natuurkunde moet in de eerste plaats gezien worden als de bestudering, verklaring en voorspelling van de gehele reeks van reacties die optreden wanneer aan een gegeven bodemsysteem een uitwendige verandering wordt aangebracht. In deze zin vormt deze wetenschap een der grondslagen van de bemestingsleer, welke zich tot taak stelt een gegeven bodem zodanig te beïnvloeden door middel van meststoffen, dat een verhoging van de kwaliteit en kwantiteit van de gewassenopbrengst wordt verkregen. Het onderscheid tussen de bodemscheikunde en de bodemnatuurkunde is, zoals reeds uit bovenbehandeld voorbeeld blijkt, buitengewoon vaag. Afgezien van enkele speciale gebieden, zoals bijvoorbeeld de adsorptie en het transport van water in het capillaire systeem van zuivere zandgronden, als ook het warmte-transport en het damptransport in de bodem, welke benaderd kunnen worden met zuiver natuurkundige methoden, bevinden zich de meeste problemen van de bodemschei- en natuurkunde juist in het grensgebied van deze wetenschappen, dat aangeduid kan worden als de chemische fysica van de bodem.

Het door mij te doceren vak houdt zich dus bezig met de toepassing van de uit de scheikunde en natuurkunde bekende of af te leiden wetmatigheden op de uit experimenten verkregen gegevens

van het systeem bodem. Hiermee kan dit systeem als stelsel beschreven worden, kunnen verklaringen voor het gedrag gegeven worden en kunnen voorspellingen worden opgesteld.

Op een belangrijk onderdeel van deze wetenschap, met name de adsorptie-evenwichten in de bodem, wilde ik nader ingaan. De gehele reactiecyclus genoemd in het bovenbehandelde voorbeeld over de gevolgen van wateronttrekking aan de bodem wordt bepaald door het streven naar een minimumwaarde van de vrije energie van het systeem. In verband met de belangrijke rol die de vaste fase in dit evenwicht speelt, zou men het kunnen aanduiden als het algehele adsorptie-evenwicht in de bodem. Het gecompliceerde karakter van dit veelzijdig evenwicht maakt het echter onmogelijk dit als geheel kwantitatief te beschrijven. Zowel dit feit, als ook de verschillende snelheden waarmee bepaalde reacties zich voltrekken, maken het noodzakelijk dit complexe evenwicht in onderdelen te bestuderen. Pas nadat een voldoende inzicht in deze deelreacties is verkregen, kan men trachten deze te combineren teneinde een algeheel beeld te verkrijgen van de gedragingen van het bodemsysteem.

Een belangrijk onderdeel van het adsorptie-evenwicht in de bodem is het ionenevenwicht. Reeds in het midden der negentiende eeuw werd door Thompson en Way de aandacht gevestigd op de eigenschap der bodem om kationen omwisselbaar te binden. Pogingen tot een mathematische beschrijving van de omwissel-evenwichten werden pas veel later ondernomen. Aanvankelijk werden empirische formules voorgesteld van het type der Freundlich en Langmuir adsorptie isothermen, zoals bijvoorbeeld de uitwisselingsvergelijkingen van Vageler en Wiegner. Hoewel deze vergelijkingen nuttig zijn voor de beschrijving van experimentele waarnemingen, hebben zij weinig bijgedragen tot het verkrijgen van een inzicht in het mechanisme der kationenadsorptie.

Omstreeks 1930 werd het gebruik van de wet der massawerking als grondslag voor de ionenuitwisseling geïntroduceerd. De in deze wet voorkomende reactiegetallen, die voor het omwissel-evenwicht gelijk gesteld worden aan de reciproke waarden van de waardigheid van het ion, benadrukten inderdaad de experimenteel waargenomen voorkeur van de grond voor meerwaardige ionen. Niettemin is het gebruik van de wet der massawerking voor de beschrijving der omwisseling niet geheel bevredigend. De door deze wet gesuggereerde scherpe splitsing van de deelnemende ionen in twee fasen, namelijk de geadsorbeerde fase en de „vrije” fase, welke beide fasen als homogeen beschouwd worden, is in de huidige opvatting niet meer acceptabel. De betekenis van de standaardwaarde van de vrije energie van omwisseling, zoals deze berekend wordt met behulp van de empirisch bepaalde, of juist uitgedrukt, geschatte

evenwichtscontante is niet geheel duidelijk, aangezien de noodzakelijkerwijze geïntroduceerde activiteitscoëfficiënten van de ionen in de geadsorbeerde fase niet toegankelijk zijn voor berekening. Pogingen in deze richting, zoals van Vanselow, welke de activiteit der geadsorbeerde ionen evenredig aan de molenbreuk stelde, zijn in principe niet aantrekkelijk, aangezien de vergelijking van een uitwisselaar met een mengkristal wel zeer geforceerd is. Latere uitbreidingen van de beschouwingen gegrond op de wet van de massawerking zoals van Krishnamoorthy en Overstreet, welke een gecorrigeerde berekening van de activiteit der geadsorbeerde ionen voorstelden, gebaseerd op statistische overwegingen, lijden aan hetzelfde euvel, namelijk het gebruikte model is in strijd met nu bekende eigenschappen van de bodemuitwisselaar.

Een geheel andere benadering van het ionenadsorptie-evenwicht werd voorgesteld door Mattson, die op het Donnan-evenwicht als uitgangspunt gebruikte. Bij deze beschouwing wordt het elektrisch potentiaal verschil tussen de geadsorbeerde fase en de vrije fase der ionen op de voorgrond gesteld. Dit voert dan onmiddellijk tot een preferentie van de uitwisselaar voor hoogwaardige ionen. In het kader van Mattson's opvattingen over de aanwezigheid van menggelen in de bodem zou deze opvatting inderdaad aanvaardbaar zijn. De inzichten verkregen over de bouw der kleimineralen in de laatste decennia maken het echter onwaarschijnlijk dat in normale gronden deze menggelen een belangrijke rol zouden spelen. Behalve in het geval van overwegend organische gronden, waar de aanname van een ruimtelijk homogene verdeling van de lading in de uitwisselaar vermoedelijk aanvaardbaar geacht kan worden, moet het gebruik van het Donnan-evenwicht — in zijn eenvoudigste vorm — voor kwantitatieve beschrijving der ionenuitwisseling in de grond dan ook als een minder juist gekozen, en onnodige, vereenvoudiging gezien worden. Pogingen om de uit deze formulering verkregen omwisselingsvergelijking aan te passen aan experimentele resultaten leiden noodzakelijkerwijs tot de invoering van een empirische constante. Deze constante is dan het produkt van de verhouding tussen de oppervlaktelading en de volumelading van de uitwisselaar en een specifieke omwisselingscontante, welk produkt niet verder gesplitst kan worden. Het feit dat zowel de beschrijving, gebaseerd op de wet der massawerking, als die afgeleid van het Donnan-evenwicht, aanpasbaar zijn aan experimentele resultaten, mag dan ook niet beschouwd worden als een bewijs van de juistheid van de aannamen gemaakt voor de afleiding van deze betrekkingen. Deze aanpasbaarheid is slechts te danken aan de op velerlei wijzen te beredeneren nadruk op de betekenis van de waardigheid der ionen. Beide methoden voeren tot een empirisch te bepalen constante, welke zonder ongefundeerde aannamen niet interpreteerbaar is. Vanzelfsprekend gelden de bezwaren ingebracht tegen deze beide

beschouwingwijzen met betrekking tot de kwantitatieve interpretatie van het omwisselevenwicht in veel mindere mate wanneer slechts wordt verlangd de verschuiving van een gegeven evenwicht, als gevolg van een aangebrachte verandering, te voorspellen. Bij direct op de praktijk gerichte voorspellingen van die aard zijn de betrekkingen, afgeleid uit de Donnan-vergelijking of de massa-werkingswet, dan ook zeer goed bruikbaar.

Een veel betere benadering van het omwisselevenwicht van ionen werd geïntroduceerd en uitgewerkt door Schofield en zijn leerlingen. Uit de resultaten van recent kleimineralogisch onderzoek is komen vast te staan dat kleideeltjes gezien moeten worden als vlakke plaatjes. In overeenstemming hiermee baseerde Schofield zijn beschrijving van het klei-water-systeem op de uitwerking van de theorie van de ééndimensionale diffuse dubbellaag zoals deze in het begin van deze eeuw werd geïntroduceerd door Gouy en Chapman. Schofield nam hierbij aan dat de wandlading van het kleideeltje in eerste benadering als constant beschouwd kan worden, hetgeen voor de meeste kleimineralen zeer aanvaardbaar is. De door Schofield afgeleide „Ratio Law” toonde aan in welk opzicht de zo algemeen gebruikte Donnan-formulering te kort schiet voor het klei-water-systeem. Consequente toepassing van deze theorie van de elektrische dubbellaag voert nu tot een omwisselingsvergelijking, die een constante bevat welke gelijk is aan een berekenbare functie van de oppervlakte-lading van de omwisselaar. Aangezien deze oppervlaktelading experimenteel toegankelijk is, kan hiermee dus een theoretisch verantwoorde vergelijking voor de niet-selectieve, heterovalente omwisseling aan kleien worden afgeleid. Inderdaad kon worden aangetoond dat de omwisseling van Na en Ca aan een illiet en de omwisseling van K en Ca aan een montmorilloniet aan deze vergelijking beantwoordde. Zoals verwacht kon worden, beantwoordde de omwisseling van K en Ca aan illiet niet aan deze vergelijking, als gevolg van de specifieke adsorptie van K aan illiet. De grote verdienste van deze beschouwingen moet gezien worden in het feit dat nu een inzicht verkregen is in het mechanisme van de eenvoudigste omwisselingsreacties aan kleien. Aangezien het in principe zeer wel mogelijk is de Gouy-theorie uit te breiden, door bijvoorbeeld correcties aan te brengen voor het volume der ionen, kan de formulering gebaseerd op de theorie van de dubbellaag dienen als vergelijkingsbasis voor experimentele waarnemingen. De waargenomen afwijkingen van deze theorie kunnen dan dienen als basis voor de berekening van reële waarden van specifieke adsorptie-energieën.

Van bijzondere interesse is voorts het adsorptie-evenwicht van het waterstofion in de bodem. De titratiekrommen van de meest voorkomende kleimineralen zijn reeds lang bekend. De interpretatie van deze krommen is het onderwerp geweest van uitvoerige

discussies. Tot voor kort werd getracht een vergelijking te treffen met de titratiekrommen van zwakke zuren, waaruit de conclusie werd getrokken dat het bodemcolloïd zich gedroeg als een zwak zuur met verschillende dissociatieconstanten. Latere beschouwingen vestigden de aandacht op de onbetrouwbaarheid van de volgens standaardmethodiek bepaalde titratiekrommen. In de eerste plaats was deze kritiek gericht op de methodiek zelve. Het door Wiegner en Pallmann beschreven suspensie-effect maakte de interpretatie van de in de suspensie gemeten pH-waarde onzeker. Het latere werk op dit gebied van Loosjes, Bloksma en in het bijzonder van Overbeek toonde aan dat inderdaad de volgens standaardmethodiek bepaalde pH-waarde van de suspensie in het algemeen geen eenvoudige relatie heeft met een activiteit van waterstofionen in de suspensie. De snelle ontwikkeling van de colloïdchemie op fysisch-chemische grondslag zoals deze plaats vond in de laatste decennia vooral door toedoen van Kruyt, Verwey en Overbeek en hun leerlingen maakte het daarenboven duidelijk dat in het algemeen de bepaling van adsorptie-isothermen van ionen aan colloïden en dus ook van de titratiekrommen van de componenten der vaste fase van de bodem, dient te geschieden bij een bekende en constante waarde van de totale electroliet-concentratie, wil een ondubbelzinnige interpretatie van de metingen mogelijk zijn. De in de literatuur voorkomende titratiekrommen van kleien en gronden voldoen helaas zelden aan deze voorwaarden en zijn dan ook onbruikbaar als grondslag voor verdere beschouwingen.

Kritiek van geheel andere aard kwam naar voren door het werk van Schofield, die het reeds eerder door Marshall en Paver geuite vermoeden, dat aluminiumionen een belangrijke rol spelen bij de titratie van z.g. H-kleien, profondervindelijk bewees. Meer gedetailleerd werk van de bodemscheikundige groepen in North Carolina en van de Cornell University toonde aan dat enerzijds zuivere H-kleien, bereid met behulp van synthetische ionenuitwisselaars, boven pH 3 tot 4 vrijwel geen buffercapaciteit bezitten en zich dus gedragen als vrij sterke zuren. Anderzijds bleek dat deze kleien bij bewaring een geleidelijke toename van de buffercapaciteit vertonen. In dit verband is het van belang vast te stellen dat H-kleien bereid door elektrolyse, altijd een grote buffercapaciteit hebben. Voorts blijkt dat de, door het werk van Hüttig op het gebied van de aluminiumchemie verkregen inzichten over het gedrag van aluminiumionen tijdens titratie met basen, het mogelijk maken om de titratiekrommen van de z.g. H-kleien te verklaren. Er mag dus geconcludeerd worden dat het merendeel van de in de literatuur beschreven titratiekrommen van kleien min of meer artefacten zijn, welke niet noodzakelijkerwijze de eigenschappen van de bodemelementen in situ weergeven. Tevens geeft deze beschouwing aanleiding om de praktische waarde van laboratoriumonderzoek aan door neutrali-

satie van H-kleien verkregen homo-ione kleien, in twijfel te trekken.

Bovenstaande beschouwingen gelden slechts in beperkte mate voor de titratiekrommen van organische gronden. Het is waarschijnlijk, dat het aluminiumion hier slechts een ondergeschikte rol speelt. Vermoedelijk zal het werk van Katchalsky op het gebied van poly-elektrolieten van grote waarde zijn als basis voor de theoretische uitleg van deze krommen.

Wat betreft de adsorptie van anionen door de grond zijn zeer goede resultaten bereikt met de door Schofield geïntroduceerde theorie van de negatieve adsorptie van anionen in klei- en grondsuspensies. Het is een bekend feit, dat over het algemeen anionen negatief geadsorbeerd worden door de grond, hetgeen in overeenstemming is met de negatieve lading der bodemcolloïden. De berekening van deze negatieve adsorptie is van groot belang voor de praktijk. Enerzijds kunnen metingen aan grondsuspensies bereid door de verdunning van grond met water, slechts geïnterpreteerd worden als deze negatieve adsorptie bekend is. Anderzijds kan de in sommige gevallen voorkomende positieve adsorptie van anionen, welke vermoedelijk samenhangt met de aanwezigheid van positief geladen colloïden of delen van colloïden in de grond, alleen berekend worden uit experimentele gegevens, wanneer de noodzakelijke correctie voor de altijd simultaan optredende negatieve adsorptie bekend is.

In minerale gronden is de berekening van de negatieve adsorptie van anionen zeer eenvoudig. Zoals door Schofield werd aangetoond, is hier het effect van de genoemde onzekerheden betreffende de structuur van de Stern laag van geringe consequentie. De klassieke theorie kan hier dus zonder meer worden toegepast. Inderdaad kon worden bewezen dat de op deze wijze berekende negatieve adsorptie zeer wel overeenstemde met de experimentele resultaten, verkregen met enkele zeer goed gedefinieerde systemen. Op grond van deze ervaring mag men aannemen, dat deze berekening ook geldig is voor meer gecompliceerde grondsystemen. In het speciale geval van overwegend organische gronden kan verwacht worden dat de Donnan-formulering van de negatieve adsorptie, gebaseerd op een homogene verdeling van de lading in de uitwisselaar, goede resultaten zal opleveren.

Een ander belangrijk onderdeel van het algehele adsorptie-evenwicht in de bodem is het waterevenwicht. Hoewel in principe dit evenwicht niet te scheiden is van het ionenevenwicht, is het verband tussen beide evenwichten pas in de laatste jaren uitgewerkt. De oudere literatuur op het gebied van de vochtthuishouding van de bodem was vooral gericht op een classificatie van het bodemwater. Uit deze periode stamt de indeling van het water in vrij



water, d.w.z. het grondwater en eventueel oppervlaktewater, en het door de bodem vastgehouden water, het z.g. „Haftwasser”. Uitvoeri-ger indelingen, gebaseerd op verdere specificatie van dit principe, werden voorgesteld door Briggs, Lebedeff en Zunker.

De theorieën omtrent het gedrag van het vrije water, alhoewel van groot belang voor het oplossen van drainage-problemen van de bodem, kunnen hier gevoegelijk buiten beschouwing worden gelaten. De indeling van het vastgehouden water, zoals deze werd ingevoerd in het begin van de twintigste eeuw, was gebaseerd op het onderscheid tussen het effect van de adhesie tussen het water en de vaste fase, en het effect van de cohesie tussen de watermoleculen onderling. Het „adhesie-” of adsorptiewater werd gezien als water dat door adsorptiekrachten vastgehouden werd in een dunne laag op de vaste fase. Het „cohesie-” of capillair water werd beschreven met behulp van de bekende theorie van de opstijging in volledig bevochtigde capillairen. Op grond van het feit dat de grond niet geheel vergelijkbaar is met een systeem van capillaire buizen, werd deze indeling later uitgebreid met een verdeling van het cohesiewater in capillair water in engere zin, zijnde het water aanwezig in met het grondwater in verbinding staande capillairen en het water vastgehouden in gedeeltelijk gevulde, of geïsoleerde poriën van willekeurige vorm. Ook werd de aandacht gevestigd op het vermogen van zwelbare organische materialen in de bodem om water vast te houden, welk water geclassificeerd werd als imbibitie- en osmotisch water.

In 1907 werd door Buckingham het principe van de energetische beschouwing van het bodemwater ingevoerd. De door hem gedefinieerde „capillaire potentiaal”, welke gebaseerd was op de beschrijving van de bodem als een capillair systeem, vestigde de aandacht op het feit dat, afgezien van de plaats en de oorzaak van de aanwezigheid van het bodemwater, de beschrijving van dit water gebaseerd diende te worden op een kwantitatief principe. Dit principe was ontleend aan de wetten die het transport van warmte en elektriciteit in geleiders beschrijven. De capillaire potentiaal werd in overeenstemming hiermee gedefinieerd als de hoeveelheid arbeid die verricht zou moeten worden onder invloed van de capillaire krachten om een gewichtseenheid water over te brengen van een standaardstelsel of -plaats naar het systeem of de plaats onder beschouwing. Deze capillaire potentiaal werd gezien als een vloeiende functie van het vochtgehalte van de bodem. In overeenstemming met deze opvatting werden in deze tijd een aantal bepalingen ingevoerd welke gericht waren op de verdeling van het bodemwater op grond van energetische beschouwingen, zoals de indeling van Bouyoucos, welke gebaseerd was op de bepaling van de vriespuntsverlaging van het bodemwater en de bepaling van het „Moisture Equivalent” volgens Briggs, welke bestond uit de meting

van de hoeveelheid water vastgehouden in een grondkolom van 1 cm hoogte tijdens centrifugering bij duizendmaal de versnelling van de zwaartekracht.

De uitbreiding van het principe van Buckingham leidde tot het invoeren van de begrippen vochtspanning (Soil Moisture Tension) en de door Schofield gedefinieerde pF-waarde. Deze beide begrippen vestigden de aandacht op het feit dat de energieverlaging van het water onder invloed van de bodem niet noodzakelijkerwijs door capillaire krachten veroorzaakt wordt.

Een fundamentele interpretatie en samenvatting van de vele verspreide bijdragen op het gebied van de energetische beschouwing van het bodemwater uit deze periode werd gegeven door het monumentale werk van Edlefsen en Anderson: „Thermodynamics of Soil Moisture”. Gebruik makend van een aan de thermodynamica ontleende nomenclatuur definieerden deze auteurs zowel het begrip soortelijke vrije energie van het bodemwater, later ook wel totale vochtpotentialaal genoemd, als de componenten van deze grootte, welke bepaald worden door de hydrostatische druk, de opgeloste stoffen en de in de bodem aanwezige krachtvelden, zoals het zwaartekrachtveld en het adsorptieveld. Uitgaande van deze grootheden werd een overzicht gegeven van de toepassingsmogelijkheden van deze gespecialiseerde thermodynamica op de theorie van het bodemwater. Bijzondere aandacht werd besteed aan de interpretatie van de meting van de vriespuntsverlaging van het bodemwater. In hun betoog over het effect van het adsorptieveld op de vrije energie van het bodemwater namen Edlefsen en Anderson aan, dat dit adsorptieveld zich gedroeg op min of meer dezelfde wijze als het zwaartekrachtveld, namelijk als een veld dat monotoon afneemt met de afstand tot het adsorberend oppervlak en dat zijn nulwaarde bereikt op oneindige afstand van dit oppervlak. Zij vermeldden dat de verandering van dit veld als een functie van de afstand tot het adsorberend oppervlak was beschreven door verschillende onderzoekers als een evenredigheid met een macht van deze afstand, variërend van  $-2$  tot  $-5$ . Als gevolg van het ontbreken van verdere informatie over de aard van het adsorptieveld konden Edlefsen en Anderson het effect van dit veld slechts op formele wijze beschrijven. Tevens werd de osmotische component van de vermelde vrije energie van het bodemwater door deze auteurs slechts uitgewerkt als functie van de concentratie van de aanwezige zouten in de bodemoplossing. Hierbij werd niet getracht het effect van de verhoogde ionenconcentratie in de nabijheid van het adsorberend oppervlak in rekening te brengen. De mogelijkheden voor de praktische toepassing van de theorie bleken dan ook uiterst begrensd.

Een geheel nieuwe benadering van de theorie van het adsorptieevenwicht tussen water en de vaste fase van de grond werd in 1946 ingevoerd door Schofield. Deze berekende met behulp van de eer-

der vermelde theorie van de vlakke dubbellaag het verband tussen de dikte van een geadsorbeerde waterfilm en de osmotische druk aan het grensvlak tussen de water- en de gasfase. Wanneer men nu aanneemt dat aan dit grensvlak de adsorptiepotentiaal te verwaarlozen is, kan men dus de druk ter plaatse berekenen als een functie van de dikte van de geadsorbeerde waterlaag.

Schofield kon aantonen dat deze berekende functie goed overeenstemde met experimentele gegevens van het systeem water-mica, welke beschikbaar waren in de literatuur. Recente onderzoekingen met suspensies van kleimineralen door de bodemkundige groep van de Cornell University bevestigden het vermoeden dat de waarde van de adsorptiepotentiaal aan het grensvlak van water- en gasfase aan nul gelijk gesteld kan worden.

Ook langs theoretische weg komt men tot deze overtuiging. De krachten tussen water en het oppervlak van de vaste fase kunnen in principe verdeeld worden in twee categorieën. De eerste groep bestaat uit de z.g. „short-range forces”. Dit zijn enerzijds de chemische bindingskrachten, welke gezien kunnen worden als een zeer plaatselijke interactie van de elektronenzwermen van naburige atomen. Anderzijds kan men hiertoe rekenen de London-van der Waals krachten die het gevolg zijn van de wederzijdse beïnvloeding van de elektrische wisselvelden van zich in elkaars nabijheid bevindende atomen, ontstaan door de relatieve beweging van de atoomkernen en de elektronenzwermen. Deze krachten, hoewel zich in principe uitstrekkend over grotere afstand dan de chemische bindingskrachten, hebben in het geval van de interactie tussen watermoleculen en de oppervlakte-atomen van de vaste fase toch slechts een beperkte actieradius, als gevolg van de vernietigende interferentie met de „London” velden van naburige watermoleculen. Het moet dan ook waarschijnlijk geacht worden dat deze krachten verwaarloosbaar worden wanneer de afstand tot het oppervlak van de vaste fase groter is dan enkele lagen watermoleculen.

Geheel anders gedragen zich de krachten die het gevolg zijn van de interactie tussen het statische elektrische veld van de dubbellaag en het water aanwezig in deze laag. Een divergerend elektrisch veld, zoals dit bestaat in de nabijheid van een geladen oppervlak in aanraking met een elektrolietoplossing, oefent een aantrekkende kracht uit op een polariseerbaar of dipolair materiaal. De uit deze kracht berekende adsorptiepotentiaal van het water in de dubbellaag is evenredig met het kwadraat van de elektrische veldsterkte, waaruit men kan afleiden dat deze adsorptiekracht werkzaam is over aanzienlijke afstanden. Aangezien echter de veldsterkte principieel gelijk wordt aan nul in het symmetrievlak van elkaar wederzijds beïnvloedende dubbellaagen en in het grensvlak van de dubbellaag met de gasfase, volgt hieruit dat de adsorptiepotentiaal in deze vlakken tot nul gereduceerd wordt.

Door deze beschouwingen kwam het werk van Edlefsen en Anderson in een geheel nieuw licht te staan. Enerzijds bleek het mogelijk het door hen ingevoerde begrip van de osmotische potentiaal uit te breiden met de in principe berekenbare bijdrage van de dubbellaagionen, anderzijds kon de onvruchtbare beschouwing over de rol van de adsorptiepotentiaal bij het adsorptie-evenwicht achterwege gelaten worden voor de berekening van de totale potentiaal van het bodemwater als functie van de dikte van de geadsorbeerde waterlaag. Hiermede is dus de theoretische basis van het adsorptie-evenwicht tussen water en de kleifase van de bodem gelegd.

Een aantal uitbreidingen van deze theorie zijn echter nodig om te komen tot een verklaring van de wateradsorptiekrommen zoals deze kunnen worden bepaald voor natuurlijke gronden. Deze uitbreidingen kunnen worden verdeeld in een aantal groepen. In de eerste plaats zijn er een aantal tekortkomingen van de dubbellaagtheorie, welke al vermeld werden bij de behandeling van het ionen-evenwicht en welke nadere toelichting behoeven wat betreft hun invloed op het waterevenwicht. Deze tekortkomingen betreffen voornamelijk de structuur van de eerste lagen van de dubbellaag. Hierbij komen in dit geval nog de specifieke bindingskrachten voor water in deze lagen, waardoor een berekening van de adsorptie-energie in deze laag voorlopig uitgesloten is. Een ruwe schatting toont echter aan dat voor een grond die b.v. 20 % illiet bevat de hoeveelheid water opgeslagen in de eerste 10 Å van de geadsorbeerde waterlaag ongeveer 2 % van het droge gewicht van de grond bedraagt. Voorzover het betreft de analyse van het waterevenwicht in het voor de plant belangrijke traject kunnen deze lagen dan ook volledig buiten beschouwing gelaten worden. Tot deze groep behoort ook een noodzakelijke correctie op de wet van Van 't Hoff, welke wet als eerste benadering gebruikt wordt voor de berekening van de osmotische potentiaal uit de concentratie van de ionen in het genoemde grensvlak van de dubbellaag. Pogingen in deze richting gebaseerd op empirische vergelijkingen ontwikkeld voor de berekeningen van de osmotische druk van geconcentreerde elektrolytoplossingen zullen zeer kritisch bezien dienen te worden, aangezien men in de dubbellaag te doen heeft met een oplossing welke voornamelijk ionen van één soort bevat. Dit betekent vermoedelijk dat de osmotische coëfficiënten hoger zullen zijn dan voor vergelijkbare equi-ione oplossingen, aangezien de interactie tussen ionen welke zich op korte afstand van elkaar bevinden voor een belangrijk deel bepaald wordt door de wederzijdse beïnvloeding van de gepolariseerde waterlagen die deze ionen omringen. In het geval van ionen met gelijksoortige lading zal dit aanleiding geven tot relatief sterke afstoting aangezien de waterlagen op de plaats van aanraking tussen deze ionen anti-parallel gepolariseerd zijn.

In de tweede plaats is het nodig de berekening van de dikte der

geadsorbeerde waterlaag uit het vochtgehalte aan een nader onderzoek te onderwerpen. In zuivere kleien wordt deze dikte berekend uit het quotiënt van het vochtgehalte en het soortelijk oppervlak van de klei. Voor geheel gepeptizeerde suspensies van montmorilloniet bleek deze berekening inderdaad tot goede resultaten te leiden. In illietsystemen werden echter afwijkingen geconstateerd die verklaard konden worden als zijnde het gevolg van het geterrasseerde oppervlak van dit mineraal, waardoor tijdens samenpersing waterenclaves konden worden vastgehouden. Vergelijkbare effecten kunnen verwacht worden voor kleien waarvan de structuur niet vernietigd is.

In de derde plaats zal het noodzakelijk zijn de genoemde osmotische theorie aan te passen aan de capillaire theorie. Het is duidelijk dat deze theorieën elkaar geenszins uitsluiten. In gronden met zeer grove structuur zal de capillaire theorie als basis aanvaardbaar zijn, terwijl in zware gronden de osmotische theorie vermoedelijk het beste uitgangspunt is. De overgang tussen beide uitersten dient echter nader onderzocht te worden, met in acht name van structureffecten. De stelselmatige bepaling van de veranderingen in de adsorptiekromme van kleien als gevolg van aangebrachte structuren en de bijmenging van grovere fracties zal uitsluitel kunnen geven omtrent de relatieve betekenis van beide theorieën. Aangezien hierover geen gegevens beschikbaar zijn, kan slechts worden opgemerkt dat het vasthouden van belangrijke hoeveelheden water in capillairen bij een pF-waarde van 3 of meer onwaarschijnlijk geacht moet worden, aangezien de altijd in het bodemvocht opgeloste gassen bij deze druk zouden vrijkomen, hetgeen lediging van de capillairen tot gevolg zou hebben.

Ten slotte geldt voor het waterevenwicht hetzelfde als voor het ionenevenwicht, nl. in het geval van overwegend organische gronden verdient het vermoedelijk aanbeveling de osmotische potentiaal te berekenen met behulp van de Donnan-formulering, welke een betere benadering geeft van de in deze systemen aanwezige ladingsverdeling dan de theorie van de vlakke dubbellaag.

Een belangrijke consequentie van de gegeven beschouwing is het feit dat hierdoor wordt aangetoond dat in principe de ionenadsorptie en de wateradsorptie onverbreekbaar verbonden zijn. Hieruit vloeit voort dat de beïnvloeding van de wateropname van planten door middel van de toediening van ionen, zoals in de praktijk reeds geschiedt bij de z.g. druppelbevloeiing, inderdaad vergelijkbaar gesteld kan worden met het effect van uitdroging in zware gronden. In beide gevallen wordt de opname beïnvloed door een verlaging van de osmotische potentiaal. Wel dient er rekening mee gehouden te worden dat in het geval van de verlaging van deze potentiaal door middel van zouten de plant zich kan aanpassen zowel door kationenuitwisseling als door zoutopname, terwijl in het geval van

uitdroging de beschikbaarheid van anionen voor opname relatief slechts weinig toeneemt.

Van belang is ook de herinterpretatie van het begrip vochtspanning zoals deze uit de behandelde beschouwing volgt. Deze grootte, welke in atmosferen wordt uitgedrukt, moet gezien worden als een zuiver hypothetische zuigspanning, nl. die zuigspanning waaraan een hoeveelheid zuiver water zou moeten worden blootgesteld, wilde de totale potentiaal gelijk zijn aan die in de grond. De actuele druk van het bodemwater varieert namelijk zeer sterk met de plaats in het systeem en zal, zoals reeds werd vermeld, vermoedelijk zelden een negatieve waarde bereiken. Deze gedachte is van groot belang voor de uitleg van de vriespuntsverlaging van gronden, welke tot twijfelachtige consequenties voert indien men aanneemt dat het bodemwater zich inderdaad onder een verlaagde druk bevindt. Tevens is hierdoor een betere verklaring van de vorming van ijslenzen in de grond mogelijk dan tot nu toe mogelijk was.

Hoewel het probleem van de bodemstructuur als zodanig buiten het kader van het hier behandelde onderwerp valt, zou ik niettemin enkele opmerkingen willen maken over het verband tussen de beschreven evenwichten en de structuur. De structuur wordt beïnvloed door het ionenevenwicht, aangezien de interactie tussen de bodemdeeltjes onder andere bepaald wordt door de opbouw van de dubbellaag van deze deeltjes. De structuurvernietiging door middel van het inbrengen van natriumionen in de dubbellaag is hiervan een voorbeeld. Het onderzoek der laatste jaren heeft echter wel bewezen dat Bradfield's opmerking: „Aggregation is flocculation plus” haast nog een overschatting van de rol van de uitvlokking in structuurbepalende processen in de bodem is. Afgezien van enkele bijzondere gevallen zijn vrijwel alle gronden in de natuur in een uitgevlokte toestand. De kwaliteit van een bodemstructuur wordt dan ook voornamelijk bepaald door de aggregatie van de bodemdelen welke vermoedelijk berust op het tot stand komen van irreversibele bindingen tussen de bodemdelen.

Hoewel het een bekend feit is dat de uitdroging van de grond een structuurvormend effect heeft, valt het momenteel nog niet te overzien of dit een zuiver mechanisch effect is, of wel dat de uitdroging voortvloeiende chemische veranderingen in het systeem de eigenlijke oorzaak zijn. Wat betreft deze veranderingen zullen vermoedelijk in het bijzonder de wijzigingen in de structuur en samenstelling van de organische bestanddelen van de bodem van grote betekenis blijken te zijn.

Als derde en laatste onderdeel van het adsorptie-evenwicht in de bodem wilde ik de adsorptie van organische verbindingen aan de minerale fase behandelen. In tegenstelling tot de beide vorige be-

sproken evenwichten, waarvan de theoretische beschouwingen zich al in een gevorderd stadium bevinden, berust de kennis van deze adsorptiereacties nog voornamelijk op een aantal experimentele feiten.

De adsorptie van verschillende fracties van de humusverbindingen uit de bodem door kleimineralen werd bestudeerd door Demolon, Myers, Jung, e.a., terwijl Tyulin aantoonde dat klei-humusverbindingen aanwezig zijn in natuurlijke gronden. Gieseking en Hendricks onderzochten de adsorptie van een aantal organische verbindingen aan zuivere kleimineralen, waarbij in het bijzonder de organische kationen sterk geadsorbeerd bleken te worden. De praktische betekenis van deze adsorptie komt tot uiting in het door Allison en zijn medewerkers aangetoonde feit, dat de aanwezigheid van kleimineralen het verlies van koolstof tijdens de vertering van plantenmaterialen doet verminderen.

Een nadere beschouwing van het adsorptie-evenwicht tussen organische verbindingen en kleimineralen voert tot de overtuiging dat bij deze adsorptie vermoedelijk meer dan één bindingswijze mogelijk is. Het is zonder meer duidelijk dat organische kationen evenzeer gebonden zullen worden aan de negatief geladen minerale delen van de bodem als de anorganische kationen. Indien bovendien de configuratie van het ongeladen deel van het organische kation de mogelijkheid schept tot de vorming van Van der Waals- en waterstofbindingen is het duidelijk dat een preferente adsorptie van deze kationen verwacht kan worden. In principe geldt hetzelfde voor organische anionen, met dien verstande dat preferente adsorptie van deze verbinding beperkt zal blijven tot de positief geladen delen van de kleimineralen. Zoals eerder werd vermeld is het waarschijnlijk dat kleimineralen inderdaad positief geladen plekken bezitten, welke hun ontstaan te danken hebben aan de restvalenties van de aluminiumoxyde-laag aan de rand van het kleideeltje. Ook ongeladen organische verbindingen kunnen geadsorbeerd worden door de geladen minerale delen. De glycerol-adsorptie beschreven door MacEwan is hiervan een voorbeeld. Hoewel deze adsorptie in principe geheel verklaard kan worden door de polarisatie van het organische molecuul onder invloed van het elektrische veld van het minerale oppervlak, is hiermede niet bewezen dat deze wijze van adsorptie plaats zal vinden in de aanwezigheid van water, zoals deze in de bodem verwacht moet worden. In dat geval is het namelijk noodzakelijk dat de polarisatie-energie van het organische molecuul die van de watermoleculen overtreft, hetgeen niet altijd waarschijnlijk geacht moet worden. Ten slotte is het mogelijk dat meerwaardige ionen bij de binding van organische verbindingen aan anorganische bodembestanddelen een rol spelen. Deze opvatting dient echter ook met voorzichtigheid gehanteerd te worden. Hoewel deze meerwaardige ionen mogelijk bij kunnen

dragen tot de genoemde binding als gevolg van complexvorming met de organische verbinding, is het zeer zeker niet zo dat een tweewaardig kation eenvoudig als een brug tussen twee negatief geladen colloïdale deeltjes kan dienen.

De belangstelling voor de aard en oorzaak van de adsorptie van organische verbindingen aan de minerale delen van de bodem is in de laatste jaren sterk toegenomen, speciaal door het verschijnen van de synthetische structuurregelaars, zoals het polyacrylaat Kri-lium. Wat betreft de werking van deze verbindingen als aggregatiemiddel zijn vele theorieën naar voren gebracht, welke gebaseerd waren op een of meer der zojuist genoemde adsorptie-mechanismen. Behalve de bijdragen van Ruehrwein, Mukherjee, Michaels en Flaig verdient in het bijzonder het systematische werk van Warkentin verdere vermelding. Deze onderzoeker bepaalde het aggregerend vermogen van verschillende fracties van polyacrylzuur van bekende polymerisatiegraad als functie van de klei-concentratie en de elektroliet-concentratie. Op grond van dit werk concludeerde Warkentin dat de binding tussen klei en polyacrylzuur waarschijnlijk het gevolg is van de adsorptie van het polyanion aan de positief geladen randen van de kleimineralen. Maximale aggregatie treedt op wanneer de hoeveelheid polyacrylzuur voldoende is om de totale hoeveelheid positieve lading van de kleideeltjes ruimschoots te neutraliseren. Voorts kon worden aangetoond dat de aggregatie toenam, naarmate een groter aantal kleideeltjes geneutraliseerd werden door een enkel polyacrylzuur molecuul. Ten slotte bleek dat verdere toediening van polyacrylzuur aan een kleisysteem ten slotte weer tot peptisatie leidt, hetgeen verklaard kan worden door aan te nemen dat in dat geval de kleideeltjes zoveel polyacrylzuur tot hun beschikking hebben, dat min of meer individuele kleipolymeercomplexen worden gevormd, welke door onderlinge afstoting gepeptiseerd blijven. Aggregatie van kleien door polyanionen zal dan ook slechts optreden wanneer voldaan wordt aan de voorwaarde dat enerzijds de totale lading van de polymeer ongeveer gelijk is aan de positieve lading van de kleideeltjes, terwijl anderzijds de polymeerlading geconcentreerd is op voldoende grote deeltjes zodat individuele polymeer-kleicomplexen niet gevormd kunnen worden. Een aanwijzing voor de juistheid van deze opvatting is het feit dat poly-metafosfaat, een polyanion met relatief laag moleculair gewicht, een uitstekend peptisator is, terwijl tevens blijkt dat voorafgaande toevoeging van metafosfaat de aggregerende werking van polyacrylzuur sterk doet afnemen.

Wat betreft de toepassing van deze ervaringen op het probleem van de in de grond voorkomende organische verbindingen aan klei kan de verwachting uitgesproken worden dat ook in dat geval een belangrijke rol gespeeld wordt door de positieve lading van kleimineralen. De interpretatie van onderzoeken op dit gebied zul-



len helaas echter altijd aan enige twijfel onderhevig zijn, aangezien de bereiding van organische verbindingen door extractie van gronden onmiddellijk de vraag opwerpt of deze extracten vergelijkbaar zijn met de in de natuur voorkomende humusstoffen.

Ook dient hier nog de aandacht gevestigd te worden op het probleem van de adsorptie van synthetische onkruid- en pest-bestrijdingsmiddelen aan de grond. Hoewel hierover nog zeer weinig bekend is, maakt het toenemend gebruik van deze middelen in de landbouw een onderzoek dienaangaande wenselijk.

Tot besluit van dit overzicht van de verschillende onderdelen van het adsorptie-evenwicht in de bodem moge ik opmerken, dat het doel van elke tak van wetenschap is om na de analyse van de onderdelen te komen tot een synthese van het geheel. Hoewel dus de kennis van de onderdelen noodzakelijk is voor het begrijpen van het geheel, zal deze kennis zeker nog niet voldoende zijn om tot een inzicht van het algeheel adsorptie-evenwicht te komen, aangezien hiervoor nog andere factoren, zoals b.v. de kinetica van de deelreacties, overwogen zullen moeten worden.

Hetzelfde geldt voor de plaats die het adsorptie-evenwicht inneemt in de bodemkunde en bemestingsleer als geheel. Hier is het verkrijgen van een inzicht in de bodemprocessen die bijdragen tot de produktie van een gewas het doel, welk doel echter pas bereikt zal kunnen worden, wanneer alle onderdelen, zoals onder meer het adsorptie-evenwicht, volledig begrepen zijn.

*Mijne Heren Curatoren der Landbouwhogeschool,*

Voor uw bereidheid mij te willen voordragen aan Hare Majesteit de Koningin voor een benoeming tot lector in de bodemkunde en bemestingsleer ben ik u zeer erkentelijk. Hierdoor is het mij mogelijk geworden mij geheel te wijden aan het onderzoek en het onderwijs van mijn vak. Deze combinatie van onderwijs en onderzoek heb ik altijd als een ideaal gezien, aangezien men zich dikwijls pas bewust wordt van de beperktheid van de eigen visie, wanneer men tracht deze duidelijk te maken aan anderen.

Dat deze benoeming heeft kunnen plaats vinden vrijwel gelijktijdig met de in gebruikneming van een nieuw laboratorium voor landbouwscheikunde, stemt mij tot grote vreugde. Ik ben mij bewust dat mijn verantwoordelijkheid hierdoor is toegenomen en zal trachten het door u in mij gestelde vertrouwen niet te beschamen.

*Dames en Heren Professoren, Lectoren en Docenten,*

Een belangrijk deel van mijn wetenschappelijke opleiding kwam tot stand onder de zeer gewaardeerde leiding van een aantal uwer. Het geeft mij dan ook bijzondere voldoening terug te kunnen keren

naar de Landbouwhogeschool en deel uit te mogen maken van uw gemeenschap. Tevens hoop ik dat u bereid zult willen zijn mij ook nu nog van uw kennis te laten profiteren.

*Hooggeleerde Schuffelen,*

Het is deze maand precies tien jaar geleden dat ik voor het eerst bij u aanklopte op aanbeveling van prof. Edelman, met het verzoek college-assistent bij u te mogen worden. Gedurende mijn jaren als assistent bracht u mij op dusdanige wijze in aanraking met uw vak, dat ik dit ook als het mijne koos. Voor uw inspirerende leiding in die jaren zal ik u altijd dankbaar blijven.

Het feit dat u mij afgelopen jaar uitnodigde lector bij u te worden meen ik te mogen beschouwen als een votum van vertrouwen over mijn jaren als assistent. Gesteund door dit vertrouwen zal ik trachten de komende jaren tot een vruchtbare periode te maken voor ons beiden en voor ons laboratorium. Het is mij daarbij een bijzonder genoegen in staat te zullen zijn uw zo omvangrijke taak te helpen verlichten. Het feit dat wij elkaar zo goed kennen zal deze taakverdeling zeer efficiënt kunnen maken.

*Doctor Schofield,*

When I was told some years ago that you would come to Cornell University as a guest professor, I did not realize the importance of this happening for my future scientific life. Your fundamental approach to the problems of soil physical-chemistry gave me an entirely new insight in this field, without which I would not have dared to accept the responsibilities of my new occupation. I shall always remain grateful for your willingness to communicate to me your vast experience in this field. Since I am now geographically so much closer to you than was the case in the last few years I hope that I may profit again from your advice in the coming years.

*Doctor Peech,*

I will always remember the many discussions we had during my stay at Cornell, especially around five o'clock. These discussions have contributed very much to my scientific training, and were actually never terminated. I trust that we will go on, even if it has to be by mail.

*Doctor Miller,*

Not only as a guide in scientific matters, but also as a friend have you contributed to my life in the United States. I refuse to see my return to Holland as a termination of this friendship, and I trust that some day I will be able to return to you in person some of the hospitality that is so typical for your country and yourself.

*Dames en Heren Assistenten, Ambtenaren en Beambten van het  
Laboratorium voor Landbouwscheikunde,*

Wanneer iemand benoemd wordt in een nieuwe functie volgt doorgaans een periode van wederzijdse kennismaking en verkenning tussen de bestaande staf en de nieuwe functionaris. In dit speciale geval is dit niet nodig, want we kennen elkaar reeds van vroeger. Op grond hiervan begin ik mijn nieuwe taak vol vertrouwen, want ik weet dat we allen met vreugde onze werkzaamheden in ons nieuwe gebouw zullen aanvangen.

*Dames en Heren Studenten,*

Het is mij een voorrecht in de komende jaren u bij een deel van uw wetenschappelijke vorming behulpzaam te kunnen zijn. Aangezien de ervaring verkregen gedurende mijn verblijf in de Verenigde Staten van Amerika mij geleerd heeft dat deze vorming door persoonlijk contact ten zeerste bevorderd wordt, lijkt het mij goed ons voor te nemen onze aanraking niet tot de college- en practicumzalen te beperken. Persoonlijk kan ik niet meer doen dan u te zeggen, dat ik het op prijs zal stellen wanneer u zich buiten deze uren tot mij wendt. Ik hoop dat u van deze uitnodiging gebruik zult willen maken.

Ik dank u voor uw aandacht