

IONEN IN DIENST VAN DE PLANTENVOEDING

Inaugurele rede, uitgesproken bij de aanvaarding
van het ambt van gewoon lector in de bodem-
vruchtbaarheid en plantenvoeding aan de
Landbouwhogeschool te Wageningen
op 25 oktober 1979 door Dr. G.R. Findenegg.

Aan de nagedachtenis van mijn vader

Dr. G.R. Findenegg
en
Dr.Ir. F.A.M. de Haan

BODEM - PLANT - MENS

Ionen in dienst van de plantenvoeding

De toestand rond de kleine aarde

IONEN IN DIENST VAN DE PLANTENVOEDING

Dames en heren,

De leeropdrachten binnen onze vakgroep Bodemkunde en Bemestingsleer strekken zich uit van de chemie en de fysica van de bodem via de gezamenlijke aspecten van de bodemvruchtbaarheid en de grond- en gewasanalyse tot aan enerzijds de actuele problemen van de bodemverontreiniging en anderzijds mijn eigen vakgebied de plantenvoeding. De gezamenlijke onderzoeksactiviteiten liggen ergens tussen die welke betrekking hebben op de praktische landbouw en die der natuurwetenschappelijke basisvakken chemie, fysica en biologie. Het feit dat mijn collega De Haan met zijn vakgebied bodemverontreiniging en ik ons hier gezamenlijk aan u voorstellen, heeft zeker niet in de laatste plaats te maken met onze bedoeling u vanmiddag te laten zien hoe veel verbanden er bestaan tussen onze vakgebieden, en met ons voornemen deze verbanden in de toekomst in stand te houden en te verdiepen.

De leer van de plantenvoeding is gebaseerd op de inzichten omtrent de behoeften van planten aan anorganische voedingselementen, zoals deze in het midden van de vorige eeuw door Sachs, Knop, Liebig en anderen ontwikkeld zijn. Zoals bekend hebben deze inzichten geleid tot een wereldwijde produktie en toepassing van kunstmeststoffen, welke tot op deze dag de mensheid als belangrijkste hulpmiddel ten dienste staan in haar strijd tegen de ondervoeding.

Terwijl de uit Liebig's tijd stammende inzichten omtrent de behoefte van planten aan anorganische voedingselementen met kleine correcties en aanvullingen nog steeds van kracht zijn, heeft de positie van de leer der plantenvoeding ten opzichte van die der aangrenzende takken van wetenschap intussen enkele ingrijpende wijzigingen ondergaan. In de vorige eeuw stond de zogenaamde landbouwscheikunde enigszins geïsoleerd tussen de anorganische chemie en de botanie. Heden ten dage zijn wij echter op de hoogte van vele functies welke voedingselementen in planten vervullen en weten wij ook in welke chemische verbanden deze elementen in het leven van planten functioneren, zodat wij zonder meer kunnen stellen dat de leer van de plantenvoeding momenteel vloeiend overgaat in die van de plantenfysiologie. Ondanks deze enorme blikverruiming zal deze tak van wetenschap altijd gekenmerkt blijven door het feit dat zij een uitermate belangrijke grondslag vormt voor de dierlijke en humane voeding.

In mijn rede wil ik ook nog om een andere reden aandacht schenken aan de dierlijke voeding. Het is namelijk mijn bedoeling eerst aandacht te besteden aan de manier waarop planten zich voeden en aan de consequenties

van deze voedingsgewoonten voor hun weefselopbouw en hun levenswijze en daarvoor kan een vergelijking met de omstandigheden zoals die zich bij dieren voordoen, van nut zijn.

Laten wij onze beschouwingen bijvoorbeeld beginnen met gewag te maken van het feit dat planten - in tegenstelling tot dieren - hun totale behoeftigheden aan anorganische stoffen in oplosbare vorm tot zich nemen. Daarbij moeten we dan bedenken dat de transportvermogens van biologische membranen beperkt zijn, met andere woorden dat per vierkante centimeter worteloppervlak slechts een beperkte hoeveelheid ionen per tijdseenheid naar binnen geloodst kan worden. Daaruit volgt dan ook dat voor een adequate voeding van planten, worteloppervlakken een aanzienlijke afmeting moeten hebben.

Verder valt dan nog te bedenken dat sommige voedingselementen, zoals bijvoorbeeld fosfaat, slechts in zeer lage concentraties in bodemoplossingen voorkomen en daarbij ook nog weinig beweeglijk zijn. Aangezien voor zulke elementen het diffusieproces geen grote bijdrage kan leveren tot de potentieel beschikbare hoeveelheid, wordt deze hoeveelheid voornamelijk bepaald door de grootte van het totale worteloppervlak. Hieruit volgt dan dat een zo groot mogelijk raakvlak met de bodem voor planten een belangrijke voorwaarde is voor een optimale voeding.

Het totale worteloppervlak van planten is inderdaad vaak verbazingwekkend groot. Uit tijdrovende metingen en berekeningen van Dittmer is gebleken dat het totale worteloppervlak van een doorsnee roggeplant meer dan 600 m^2 bedraagt met een gezamenlijke wortellengte van 623 km.

In feite is toch ook weer niet de grootte van het worteloppervlak bepalend voor de ionenopname, maar eerder de gezamenlijke oppervlakken van alle wortelcellen die grenzen aan de zogenaamde vrije ruimte. Aangezien de vrije, met water gevulde diffusieruimte zich tussen de schorscellen tot diep in de wortel uitstrekt, mag men aannemen dat het totale contactoppervlak nog weer veel groter is dan het totale externe worteloppervlak. Immers, verscheidene achter elkaar liggende cellagen worden als het ware door het vocht van het buitenmedium, b.v. de bodem, omspoeld.

Hiermee moge dan duidelijk geworden zijn dat het contact tussen bodem en plant buitengewoon intensief is. Het voor de hand liggende gevolg van dit intensieve contact is in de eerste plaats een verlies aan bewegingsvrijheid, zoals wij die bij het dier kennen.

Daarnaast heeft echter het grote worteloppervlak ook nog andere consequenties van meer fysiologische aard. Zoals bekend is de minerale samenstelling van een bodem over korte afstanden zeer variabel. Vanwege het innige contact met de wortel, weerspiegelen deze wisselingen in de chemische gesteldheid van een bodem zich in de chemische samenstelling van planten die op die bodem groeien. Men kan stellen dat planten alle goede

en slechte eigenschappen van de bodem, waarop zij groeien, in feite voor lief moeten nemen.

Als in zo'n bodem, hetzij van nature of langs kunstmatige weg, bijvoorbeeld zware metalen aanwezig zijn, dan worden deze door planten altijd in meer of minder sterke mate opgenomen, zelfs dan wanneer zij op die planten een uitsluitend giftige werking uitoefenen. Zoals ook mijn collega De Haan nog zal uiteenzetten, zijn zulke gevallen juist dan bijzonder gevaarlijk, wanneer de concentratie van de giftige stof niet toereikend is om de plant in haar groei te remmen. Dieren of mensen die zich met deze planten voeden, kunnen daardoor zeer wel vergiftigd worden.

De constatering dat een plant overgeleverd is aan de bodem waarop zij groeit, hoeft echter nog niet te betekenen dat de opname van zulke giftige stoffen een zuiver fysisch proces is, dat biologisch niet beïnvloed kan worden. Het is altijd weer verrassend om te merken hoe sterk plantensoorten verschillen in de hoeveelheden schadelijke stoffen die zij opnemen. Sommige plantensoorten sluiten schadelijke stoffen bijzonder effectief uit, terwijl andere planten deze stoffen juist in hun weefsels opslaan. Een bekend voorbeeld van deze laatste groep van planten wordt gevormd door verschillende vertegenwoordigers van het vlinderbloemige geslacht *Astragalus*, die bijvoorbeeld in Zuid Dakota grote hoeveelheden van het element seleen in hun weefsels opslaan en wel tot een concentratie van 1,5% op droge-stof basis. Voor het aldaar voorkomende vee vormen deze seleen-accumulerende *Astragalus*-soorten dan ook een accuut gevaar. De dieren lijden aan de zogenoemde alkali-ziekte, die zich ontpopt heeft als een vorm van seleenvergiftiging. Binnen het geslacht *Astragalus* slaan overigens niet alle soorten seleen op en het onderscheid tussen giftige en niet-giftige soorten kan dan ook alleen maar gemaakt worden via chemische analyse, maar nooit via visuele waarneming.

Laten wij nu echter terugkeren tot het onderwerp "raakvlak tussen bodem en plant". De grootte van dit raakvlak heeft namelijk ook nog een invloed op de H^+ -ionenbalans.

Reeds kort na de introductie van het begrip pH in het begin van deze eeuw beseftte men dat de waterstofionenconcentratie in de waterige fase van een bodem van enorm grote betekenis is voor de plantengroei. De concentraties van H^+ -ionen in bodemoplossingen kunnen uiteenlopen met een factor 10^6 , dus meer dan die voor de meeste voedingselementen. Met toename in de grootte van het raakvlak bodem-plant wordt het echter steeds moeilijker om beïnvloeding van de pH binnen de plant door de buiten-pH te vermijden.

De mate van beschikbaarheid van voedingselementen in de bodem voor de plant hangt eveneens af van de bodem-pH. Om bij pH 8 of 9 over voldoende ijzer te kunnen beschikken, moet een plant, die onder deze om-

standigheden groeit, uitgerust zijn met een speciaal aanpassingsmechanisme. Dit kan bestaan uit een vermogen om plaatselijk de bodem te verzuren of om driewaardig ijzer te reduceren waardoor het in een opneembare vorm gebracht wordt.

Dit alles brengt wel met zich mee dat in de natuur vrijwel iedere plantensoort in haar verbreiding beperkt is tot een bepaald pH-traject. De standplaatsen van een plantensoort blijken dus - voor zover ze betrekking hebben op bodemtype - te bestaan uit de som van de in de plant aanwezige ionenopname- en stofwisselingsmechanismen. Speciaal bij de aanwezigheid van extreme bodemomstandigheden - zoals bijvoorbeeld bij zoutgronden en veengronden - moeten planten door middel van bijzondere mechanismen aan hun standplaats zijn aangepast. En juist op dit terrein bestaan nauwe betrekkingen tussen plantenvoeding en andere botanische vakgebieden, zoals bijvoorbeeld de plantenoecologie en plantensociologie. In feite zijn tot nu toe veel te weinig van deze aanpassingsmechanismen onderzocht, hoewel het duidelijk is dat er vele aanwezig zijn bij uiteenlopende plantensoorten.

De eigenlijke H^+ -ionenbalans tussen plant en bodem wordt door een eenvoudig verschijnsel bepaald: de H^+ -ionen staan de planten in hun anionenkationen-balans als het ware als gatenvullers ter beschikking. Met andere woorden, het verschil in opname van voedingskationen en voedingsanionen wordt door de opname of afgifte van H^+ -ionen genivelleerd. Het is dus niet de bedoeling er naar te streven dat worteloppervlakken zo ondoordringbaar mogelijk zijn voor H^+ -ionen, maar juist te bevorderen, dat grote hoeveelheden H^+ -ionen in beide richtingen door de celmembranen geloodst kunnen worden. Daarbij valt op te merken dat uiteraard H^+ -ionenopname veel gemakkelijker verloopt, wanneer de pH-waarde van de bodem laag is, terwijl afgifte van H^+ -ionen vlotter verloopt in een alkalische bodem.

Aangezien bodems kunnen verschillen in hun aanbod van an- en kationen hebben planten voor het verkrijgen van een zekere standplaatsamplitude, een mechanisme nodig waarmee ze overtollige H^+ -ionen kunnen opvangen en benodigde H^+ -ionen kunnen produceren. Daartoe hebben planten een voor hen karakteristiek stofwisselingspatroon ontwikkeld, dat bij dieren niet aangetroffen wordt, namelijk het organische zuren metabolisme. Hierbij worden grote hoeveelheden koolhydraten omgezet in organische zuren en vice versa, waardoor grote hoeveelheden H^+ -ionen geproduceerd of verbruikt worden. De consequenties van dit specifiek plantaardige stofwisselingspatroon zijn dan ook in elke plantencel te constateren en wel in de vorm van de reusachtige centrale vacuole, de opslagplaats voor deze organische zuren.

Naast haar functie als opvangbekken voor H^+ -ionen opent het organische zuren metabolisme voor planten ook nog andere perspectieven, nl. de vervanging van anorganische door organische anionen. Een goed voorbeeld daarvan vinden we bij het mechanisme dat de opening en sluiting van huidmondjes regelt. Sinds enige jaren weten we dat dit mechanisme fungeert onder invloed van grote hoeveelheden kalium die in de sluitcellen gepompt worden en daarbij water osmotisch meetrekken. De strakgespannen cellwanden trekken dan de randen van de huidmondjesspleet uit elkaar. Als een plant goed van chloride is voorzien, worden meestal relatief grote hoeveelheden daarvan aangetroffen in de bladeren. In zo'n geval begeleiden de chloride-ionen de kaliumionen op hun weg naar de sluitcellen en waarborgen daarmee de elektroneutraliteit van het systeem. Indien echter de plant over weinig chloride kan beschikken, kan toch de spleet nog geopend worden. In zo'n geval wordt in de sluitcellen in plaats van kaliumchloride het kaliumzout van appelzuur opgeslagen, dat snel uit de in de sluitcellen aanwezige voorraad zetmeel wordt geproduceerd.

Als we deze gegevens vergelijken met die welke betrekking hebben op hogere dieren dan valt het volgende op. Aangezien bij dieren het contact met de chemische samenstelling van hun omgeving beperkt blijft tot het consumeren van relatief kleine en goed geselecteerde voedseldeeltjes, is hun gehele stofwisseling praktisch onafhankelijk van hun omgeving en dus normaliter constant. Ook intern blijft het milieu van dieren merkwaardig constant en een fysiologisch aanpassingsvermogen, zoals blijkt uit de vervanging van chloride door organische anionen bij planten, zal men bij dieren niet aantreffen.

Als we ons nu vervolgens richten op het cellulaire niveau, dan blijkt dat de verschillen tussen plant en dier daar kleiner worden. Vele verschijnselen, zoals bijvoorbeeld het lage Na gehalte en het hoge K gehalte van cytoplasma, zijn zowel in plantaardige als in dierlijke cellen aan te treffen, en ten slotte is ook de gehele intermediaire stofwisseling bij planten en dieren in wezen gelijk. Deze celfysiologische overeenkomstigheden geven aanleiding tot de verwachting dat tenminste enkele van de grote vorderingen die bij het onderzoek omtrent ionentransport aan dierlijke of microbiologische objecten in de laatste jaren zijn gemaakt, ook aan plantaardige cellen geverifieerd zullen kunnen worden en daardoor dus ook voor de plantenvoeding hun betekenis kunnen krijgen.

Welke zijn nu die nieuwe vindingen? Eén van de belangrijkste is wel die, welke ik in de eerste plaats als de "omkering van het principe van actief transport" zou willen aanduiden en die af te leiden valt uit de naar de Engelse onderzoeker Peter Mitchell genoemde "Mitchell hypothese". Mitchell is overigens voor de ontwikkeling van deze chemi-osmotische theorie in 1978 met de Nobelprijs voor scheikunde begiftigd.

Al geruime tijd is in de transportfysiologie het fenomeen van "actief transport" bekend. Het gaat hier om het verschijnsel waarbij geladen of ongeladen deeltjes van levende cellen zodanig door een membraan gepompt worden, dat zij zich tenslotte, wat hun concentratie en elektrische lading betreft, aan één kant van het membraan verzamelen. Als nu, bijvoorbeeld door vergiftiging, de pomp uitvalt, dan beginnen de actief getransporteerde deeltjes spontaan weer naar een evenwichtige verdeling te streven. Zoals bekend is, worden veel anorganische ionen actief door cellen opgenomen en dus naar binnen getransporteerd, of buitengesloten en dus actief naar buiten getransporteerd en daartoe wordt energie uit de stofwisseling verbruikt. De Mitchell-hypothese zegt nu in haar meest algemene vorm niets anders dan dat het actief transport reversibel is, hetgeen wil zeggen dat bij nivellering van een bestaande ionengradient energie, bijvoorbeeld als ATP, gewonnen kan worden. Het mechanisme van de ATPsynthese bij de fotosynthese en ademhaling berust blijkbaar ook op zo'n nivellering van een H^+ gradient die oorspronkelijk ontstaan was door elektrontransport. Uit de chloroplasten van hogere planten heeft men ATP-asen kunnen isoleren, wier vorming men intussen goed heeft leren begrijpen en die *in vivo* blijkbaar fungeren bij de ATPsynthese.

Deze eiwitmoleculen zijn aanwezig in het thylakoide-membraan en vormen daar een smal kanaal. De H^+ -ionen die door het elektrontransport aan de ene kant van het membraan actief zijn geaccumuleerd, dragen bij een vrijwillig terugstromen door dit kanaal energie over aan ATP-ase, die tenslotte benut wordt voor de ATP produktie.

Welke consequenties hebben nu deze onderzoeken die in eerste instantie alleen voor bio-energetici interessant lijken voor de wetenschap van de plantenvoeding? De aanvankelijke gedachtengang kan ongeveer als volgt worden samengevat: Als de ATPsynthese aan een transport van H^+ -ionen door een membraan gekoppeld is en als het daaraan ten grondslag liggende proces reversibel is, waarom zou dan niet het H^+ -ion het bewuste ion zijn dat in eerste instantie onder invloed van ATP hydrolyse actief getransporteerd wordt?

Inderdaad is uit enkele elektrofysiologische onderzoeken aan algen en schimmels overtuigend gebleken dat H^+ -ionen in het leven van deze planten die belangrijke rol toegeschreven kan worden. Bijna alle transportfysiologen zijn het er momenteel over eens, dat in het plasmalemma van een plantencel H^+ -transporterende ATP-asen voorkomen en dat deze een belangrijke rol vervullen bij de opname van voedingsstoffen. Men stelt het zich zo voor, dat deze ATP-asen daar, terwijl ATP verbruikt wordt, H^+ -ionen uit de plantencellen pompen. Voorzover het transport van de positief geladen H^+ -ionen door de ATP-ase niet obligaaf gekoppeld is aan de beweging van een ander elektrisch geladen deeltje, moet men er van uitgaan dat het binnenste van

de cel door de werking van deze ATP-ase ten opzichte van het buitenmedium elektrisch negatief opgeladen wordt. Zo'n oplading van plantaardige cellen vindt men inderdaad in bijna alle gevallen en vaak in zodanige mate dat positief geladen ionen als b.v. kalium ten opzichte van de omgeving in het binnenste van de cel vrijwillig 100 of zelfs 1000 maal in concentratie kunnen toenemen, eenvoudigweg omdat zij door de aldaar heersende negatieve lading worden aangetrokken.

In werkelijkheid is het echter nog niet bekend of de opname van kalium en de door ATP geïnduceerde afgifte van H^+ -ionen toch niet direct aan elkaar gekoppeld zijn. Vele onderzoeksresultaten wijzen in die richting. Zo versterkt b.v. Fusicoccine, een stof die men uit een phytopathogene schimmel wint, gelijktijdig zowel de H^+ -afgifte, de K^+ -opname, alsook het negatief geladen worden van plantencellen. Waarschijnlijk stimuleert deze phytotoxine langs een alsnog onbekende weg de werking van in het plasmalemma aanwezige ATP-asen.

Veel onderzoekers gaan ervan uit dat de plantaardige ATP-asen de te transporteren ionen minder specifiek uitzoeken dan de dierlijke ATP-asen. Misschien kunnen de plantaardige ATP-asen, behalve H^+ -ionen, ook Na^+ -ionen uit de cellen loodsden, en het is ook nog mogelijk dat de affiniteit van ATP-ase verandert met veranderingen in de concentraties van de aanwezige ionen.

Van het mechanisme waarmee anionen door wortels worden opgenomen, is nog minder bekend. Daarbij doet zich als bijzondere complicatie het feit voor dat de negatieve lading van cellen de opname van anionen nog extra bemoeilijkt. Hoe zou men zich eigenlijk een actief transport van anionen naar de binnenste regionen van een plantencel moeten voorstellen?

Een verklaring die de laatste tijd veel aandacht krijgt, gaat uit van het beeld van een gekoppeld transport. Bij bacteriën heeft men al vaker ionentransportsystemen kunnen identificeren, waarbij transport van een deeltje obli-gaat gekoppeld is aan het transport van een ander deeltje, zoals het transport van H^+ -ionen door de ATP-ase kanalen gekoppeld is aan de ATP productie. Als nu de opname van nitraat door de wortelcellen bijvoorbeeld eens obli-gaat gebonden zou zijn aan de opname van een positief geladen H^+ -ion, dan zou het gehele transportsysteem elektrisch neutraal en daardoor onafhankelijk van een elektrisch potentiaalgradient aan het plasmalemma zijn. Gaan we nog een stap verder: als de opname van een nitraation niet aan de opname van één proton, maar aan de gelijktijdige opname van twee protonen gekoppeld zou zijn, dan zou als geheel weer een positieve lading naar binnen getransporteerd worden en dat zou betekenen dat dit co-transportproces weer door de elektrische potentiaalgradient aan het plasmalemma aangedreven zou kunnen worden.

Hoewel dit co-transportmodel momenteel slechts als één van de vele mogelijkheden beschouwd wordt, verdient het, naar het mij toeschijnt, toch onze bijzondere aandacht. Immers, in de eerste plaats veronderstelt het de aanwezigheid van een heel eenvoudig moleculair mechanisme, waardoor de stofwisselingsenergie ter beschikking van het ionenopnameproces gesteld kan worden, namelijk het spontaan naar binnen stromen van met behulp van ATP actief buitengesloten H^+ -ionen. Bovendien verschaft het model een bevredigende verklaring voor het reeds eerder genoemde feit dat verschuivingen in de an- en kationen-balans door H^+ -ionen aangevuld worden. Logischerwijs mag men dit verwachten als bij het opnameproces alle voedingskationen worden uitgewisseld tegen H^+ -ionen en de voedingsanionen samen met de H^+ -ionen opgenomen worden. Dergelijke transportsystemen zijn inderdaad al gevonden, tenminste bij micro-organismen.

Directe aanwijzingen voor het bestaan van een anionen/ H^+ -ionen co-transportstelsel zijn op dit moment ontleend aan enkele elektrofysiologische experimenten, maar duidelijke bewijzen moeten nog geleverd worden. Naast de co-transporttheorie moet men natuurlijk ook nog rekening houden met de mogelijkheid dat in de wortels ATP-asen aanwezig zijn die onder invloed van ATP hydrolyse de anionen actief opnemen. In de zoutklieren van de halofytische plant *Limonium* heeft men inderdaad een anionenspecifiek ATP-ase gevonden. Het is echter nog de vraag of dit transportsysteem dat in een sterk gespecialiseerd weefsel is aangetroffen, ook in normale plantencellen voorkomt.

Toch ziet het er momenteel wel naar uit dat het in de komende jaren zal gelukken om ook de ionentransportmechanismen van wortelcellen op moleculair niveau te karakteriseren. Dit zou een nieuwe verbreding van ons vakgebied betekenen, vergelijkbaar met die waarbij in het verleden de plantenvoeding in de plantenfysiologie werd opgenomen.

Op dit ogenblik is echter het tijdstip voor een algehele euphorie nog niet aangebroken. De belangrijkste hinderpalen die nog opgeruimd moeten worden, liggen diep in het plantaardige bouwplan verscholen. Het is in de eerste plaats de weefselopbouw van de plant die het praktisch onmogelijk maakt om uit hogere planten homogeen celmateriaal voor onderzoeksdoeleinden te verkrijgen. Dieren en micro-organismen hebben de voor onderzoekers gunstige eigenschap, dat ze zich lenen voor het verkrijgen van uniforme celpreparaten. Bij micro-organismen is dat direct mogelijk en bij dieren gelukt het wanneer afzonderlijke organen gebruikt worden. Wie zou echter uit een plantenwortel of uit een stengel de afzonderlijke, gespecialiseerde celtypen kunnen isoleren en misschien nog in grotere hoeveelheden kunnen prepareren? Deze hinderpaal doet zich vooral gevoelen bij onderzoek op het gebied van transport over lange afstand. Vandaar dat zelfs de elementaire vraag of ionen door actief transport of door eenvoudige diffusie in de

xyleemvaten terecht komen, ook vandaag nog ter discussie staat. Nog slechter staat het met onze kennis omtrent phloëemtransport: hier weet men zelfs nog niet eens of de vloeibare inhoud van zeefvaten met de daarin opgeloste stoffen stroomt of niet.

Recentelijk lijken echter juist bij het doorgronden van phloëemtransport enige vorderingen gemaakt te zijn; er bestaat een sterk vermoeden dat het vullen van de zeefvaten met saccharose bewerkstelligd wordt door een suiker- H^+ -ionen co-transport. Zo zijn er dus toch wel aanwijzingen dat de tot nu toe alleen in bacteriën of algen aangetroffen transportmechanismen, zoals co-transport, ook in hogere planten voorkomen.

Het is helaas onmogelijk om een zo omvangrijk gebied als de plantenvoeding in dit kader toereikend te karakteriseren. Ik hoop echter U te hebben kunnen aangeven waar naar mijn mening de zwaartepunten voor toekomstig onderzoek zullen liggen. De H^+ -ionen bijvoorbeeld schijnen een zeer centrale plaats in te nemen bij zowel de opname als het transport van voedingsionen en bij het verband tussen voeding en stofwisseling. Het verbazingwekkende en grotendeels nog onverklaarde element blijft toch echter de coördinatie tussen al deze processen. Daarbij lijkt de stabilisering van het interne milieu, in het bijzonder die van de interne H^+ -ionenconcentratie van grote betekenis te zijn. Het is ondertussen ook bekend geworden dat enkele plantaardige hormonen blijkbaar direct op de activiteit van de transportprocessen inwerken en daardoor regulerend optreden.

Het zal U tijdens mijn voordracht ongetwijfeld opgevallen zijn hoe breed het kader is waarbinnen de wetenschap van dit vakgebied zich momenteel beweegt. Misschien bent U de mening toegedaan dat er eigenlijk maar weinige betrekkingen bestaan tussen de moleculair-mechanistische modellen en de uitermate complexe problemen die ik U aanvankelijk geschilderd heb.

Ik ben het daar dan echter niet mee eens. Het lijkt mij juist dat het kernpunt van deze tak van wetenschap juist daaruit bestaat, dat de consequenties van zulke moleculaire mechanismen voor de plant als geheel getrokken dienen te worden. Zoals ik reeds opgemerkt heb, zijn de eisen die een plant stelt ten aanzien van haar voeding, niets anders dan die voortvloeiende uit de som van de in deze plant aanwezige ionenopname-, ionentransport- en stofwisselingsmechanismen. Er bestaan derhalve geen praktische problemen op het gebied van de plantenvoeding, die niet op één van deze mechanismen terug te voeren zijn.

Deze constatering komt mij als zo belangrijk voor, dat ik haar graag nog met een paar voorbeelden wil toelichten. Zo is kennis omtrent wederzijdse beïnvloedingen van voedingsstoffen in de plant - dus kennis omtrent synergiën en antagonismen - vereist, wanneer men de effecten van eenzijdige overbemesting wil onderzoeken of wil vermijden, of wanneer men de chemische samenstelling van een voedergewas door bemesting in een bepaalde

richting wil sturen. Grondige kennis omtrent enkelvoudige ionenopname-mechanismen en hun verband met de stofwisseling is vereist, wanneer men bijvoorbeeld de reikwijdte van het effect van een bepaalde bemesting met betrekking tot gewassoort, klimaat of bodemtype wil bepalen of wanneer men door veredeling gewenste voedingseigenschappen van twee plantenrassen in één nieuw ras wil combineren.

Er zou nog een reeks van argumenten aan te voeren zijn om duidelijk te maken dat de klassieke pot- en veldproeven altijd aangevuld dienen te worden met meer fundamentele experimenten. Bij al deze methoden staat ons tóch hetzelfde doel voor ogen, nl. het benutten van biologische, bodemkundige en technische gegevens voor een optimale produktie van voedingsmiddelen.

Dames en Heren,

Tijdens ons leven zijn het in de eerste plaats mensen, zoals ouders, pedagogen, vrienden en kennissen, die onze ontwikkeling bepalen. In mijn eigen geval zijn echter van de vele, vaak goedbedoelde pogingen om mijn persoonlijkheidsstructuur te beïnvloeden, lang niet alle met succes bekroond. Toch zijn er enkele mensen die mijn ontwikkeling duidelijk bevorderd hebben en hun wil ik op deze plaats dank brengen.

Liebe Mutter,

Es freut mich, dass Du trotz der langen Reise heute hier sein kannst und ich hoffe, dass die Entfernung zwischen uns jetzt nur physisch aber nicht psychisch grösser geworden ist.

Zij die een bijdrage geleverd hebben aan mijn wetenschappelijke ontwikkeling zijn hier vanmiddag helaas niet aanwezig. Professor Broda uit Wenen heeft mij de beginselen bijgebracht van het natuurwetenschappelijk denken; Professor Lüttge uit Darmstadt heeft mij in aanraking gebracht met vele leidinggevende onderzoekers op het gebied van de plantenvoeding.

De leden van de vakgroep Bodemkunde en Bemestingsleer dank ik voor de openheid waarmee zij mij tegemoetgetreden zijn. Ik hoop dat toekomstige problemen met evenveel gemak opgelost kunnen worden als het geval was vóór mijn komst.

Tegenover de leden van de sectie Plantenvoeding spreek ik de hoop uit dat wij zullen uitgroeien tot een hechte en slagvaardige groep die ook buiten de Landbouwhogeschool van zich zal doen spreken.

Tenslotte zou ik nog willen opmerken dat ik het ambt van lector niet op mij zou hebben kunnen nemen, als mijn vrouw Susanne niet ten tweede male gezin boven vaderland had gesteld, waarvoor ik haar veel dank verschuldigd ben.

Ik dank U voor Uw aandacht.

Geraadpleegde literatuur

- H.J. Dittmer, 1937; A quantitative study of the roots and root hairs of a winter rye plant. *Amer. Journ. Bot.* 24, 417.
- R.T. Giaquinta, 1979; Phloem loading of sucrose. Involvement of membrane ATPase and proton transport. *Plant Physiol.* 63, 744.
- B.S. Hill and A.E. Hill, 1973; ATP-driven chloride pumping and ATPase activity in the *Limonium* salt gland. *J. Membrane Biol.* 12, 145.
- E. McCarty, 1978; In: *Current Topics in Bioenergetics* (D.R. Sanadi and L.P. Vernon, Eds.). Academic Press, New York, Vol. VII.
- C.B. Osmond, 1976; Ion absorption and carbon metabolism in cells of higher plants. In: *Transport in Plants II* (*Encyclopedia of Plant Physiology* N.S. Vol. 2). U. Lüttge and M.G. Pitman, Eds., Springer Verlag, Berlin - Heidelberg - New York.
- A. Shrift, 1969; Aspects of selenium metabolism in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 20, 475.

DE TOESTAND ROND DE KLEINE AARDE

Inaugurele rede, uitgesproken bij de aanvaarding
van het ambt van gewoon lector in de bodem-
hygiëne en bodemverontreiniging aan de
Landbouwhogeschool te Wageningen
op 25 oktober 1979 door Dr.Ir. F.A.M. de Haan.

Aan de nagedachtenis van vader en moeder



DE TOESTAND ROND DE KLEINE AARDE

Zeer geachte toehoorders,

"Gaat het wel goed met de kleine aarde?....."

"Wordt kleine aarde mogelijk opgeheven?....."

Deze en dergelijke, op het eerste gezicht hoogst verontrustende, vragen verschenen enige jaren geleden als krantekoppen in de landelijke pers. Diegenen onder u die ook nu nog, zij het wat laat, een schrik-reactie ondergaan bij het aanhoren van deze suggestieve vraagstelling, kunnen vooralsnog worden gerustgesteld. Immers, met de aanduiding "kleine aarde" werd niet zozeer bedoeld op de ons toegemeten verblijfsruimte in dit zonnestelsel, maar op een interessante en sympathie-verdienende instelling nabij Boxtel. Daar werd en wordt middels onconventionele benaderingen getracht een bijdrage te leveren aan de oplossing van een aantal vraagstukken waarvoor de mensheid reeds nu geplaagd is of in de nabije toekomst ongetwijfeld geplaagd gaat worden.

De vragen zoals aangehaald in de aanhef van deze rede hadden betrekking op wat meningsverschillen en strubbelingen zoals die bij elke organisatie zo nu en dan wel eens optreden. Ofschoon deze instelling naar mijn mening onze belangstelling verdient wil ik daar nu toch verder aan voorbijgaan.

In mijn bijdrage aan de samenspraak van vanmiddag wil ik het begrip "aarde" wel heel nadrukkelijk gebruiken in zijn letterlijke betekenis van de leefruimte die aan de mensheid ter beschikking staat. De aanduiding "klein" mag u interpreteren als een indicatie dat naar mijn mening een sterke en misschien zelfs te sterke druk op deze ruimte wordt uitgeoefend. Deze druk vindt deels zijn oorzaak in het nog steeds groeiend aantal individuen, die tezamen de mensheid vormen, maar veel meer nog in het gedrag en de leefwijze van deze individuen, afzonderlijk of in groepsverband. Dit heeft gevolgen voor de toestand en met name de kwaliteit, van het menselijk leefmilieu; evenzeer geldt dit voor de buitenste laag van de aarde, die gewoonlijk wordt aangeduid als bodem, en die naast water en lucht een van de hoofdcompartimenten van het fysieke leefmilieu van de mens uitmaakt. En daarmee zijn we dan beland bij de problematiek van de bodemhygiëne en bodemverontreiniging, waarvan ik enkele aspecten gaarne iets nader met u zou willen uitwerken.

Hiermee zij tevens de keuze van de titel voor deze rede genoegzaam toegelicht. Aan het feit dat ik bij het begin enkele zorgelijke vragen aanhaalde, die zoals gezegd weliswaar betrekking hadden op een wat bijzondere situatie, mag u wat mij betreft de conclusie verbinden, dat wij ons inderdaad enigszins zorgen dienen te maken over de wijze waarop wij met de bodem omgaan. Indien het aantal mensen op aarde op zich een van de belangrijkste oorzaken zou zijn voor het milieubederf, is een analyse van mogelijke oplossingen zeer op zijn plaats, aangezien er nog weinig aanwijzingen zijn dat de stijgende lijn van de totale wereldbevolking zich niet voorlopig voortzet. Ervaring van enkele decennia heeft ook genoegzaam geleerd dat op wereldwijde schaal beperking van de aantallen geen eenvoudige zaak is.

Naar geleidelijk aan algemeen wordt aangenomen is het echter niet zo zeer het aantal als het gedragspatroon van mensen dat voor het milieubederf verantwoordelijk gesteld moet worden. Ook Ten Houten komt in zijn inaugurele rede bij de analyse van de milieuproblematiek tot de uitspraak dat de mens zich te letterlijk gehouden heeft aan de opdrachten uit Genesis 1, en zich daarbij een attitude heeft eigen gemaakt welke hem weliswaar aanvankelijk heeft helpen overleven, maar die bij ongewijzigde koers de mensheid tot ondergang zou kunnen leiden. Met vele anderen onderschrijf ik die opvatting en concludeer dan ook dat voor milieuverbetering op lange termijn de beïnvloeding van het gedragspatroon van de mens in een voor zijn leefmilieu gunstige richting het belangrijkste werktuig zal moeten zijn.

Of we daarmee beter af zijn dan wanneer het probleem zou kunnen worden opgelost middels beperking van verdere uitbreiding van aantallen is maar zeer de vraag. Ervaring van vele millennia heeft geleerd dat menselijk gedrag relatief eenvoudig beïnvloedbaar is indien het individu een persoonlijk belang of voordeel verbonden weet aan zijn gewijzigde houding, maar dat dit aanzienlijk moeilijker wordt wanneer het nieuwe gedrag inlevering van bepaalde verworvenheden tot gevolg heeft.

Uit het voorgaande moet eveneens worden geconcludeerd dat de zuiver technische aanpak van milieuproblemen in belangrijke mate het werken met lapmiddelen zal blijven. Het resultaat mag dan weliswaar zijn dat men bij ieder opdoemend nieuw vraagstuk na technische benadering met Paul van Vliet zou kunnen zeggen: "..... en daar hebben we toen het volgende op gevonden", maar de werkelijke oplossing moet toch anderszins worden gezocht. Aangezien echter de essentiële aanpak een kwestie van lange adem blijkt en vele problemen zich inmiddels hebben opgestapeld, is het niet alleen gerechtvaardigd, maar zelfs bittere noodzaak dat naast de fundamentele aanpak, zoals ons die geleverd zal moeten worden door beoefenaren van gedragswetenschappen, er ook van

technische en technologische zijde hard wordt gewerkt aan de bestrijding en voorkoming van milieuverontreiniging. De keuze voor de gelijktijdige natuurwetenschappelijke aanpak van milieuvraagstukken, zoals deze ook gemaakt is binnen de studierichting Milieuhygiëne aan de Landbouwhogeschool en welke ik gaarne onderschrijf, is daarmee alleszins gerechtvaardigd.

Na deze ietwat filosofisch getinte overwegingen stel ik voor om verder met beide benen op de grond te blijven en ons dan ook te bepalen tot die aspecten van de milieuproblematiek, welke in het bijzonder de bodem betreffen. Alvorens met u een korte wandeling te maken langs enkele hoofdpunten uit het vakgebied, waarvan het onderwijs aan de Landbouwhogeschool mij bij mijn benoeming ook officieel werd toevertrouwd, moet ik eerst de omschrijving van een paar begrippen aan u voorleggen.

Het belang van ondubbelzinnigheid bij de hantering van begrippen moge ik toelichten met het volgende verhaaltje dat een aantal van u, naar ik zeker weet, al kent, maar dat ik in dit verband zo sprekend vind dat ik het graag nog een keer aanhaal. Het verhaaltje gaat over een jongetje, dat aan de hand van zijn opa door de tuin wandelt, en aangekomen bij een bepaalde struik vraagt: "Wat zijn dat, opa?" "Dat," zegt opa, "zijn de zwarte bessen". "Ja maar, ze zijn rood", weerlegt het jongetje. "Dat, jongen," antwoordt opa dan, "komt omdat ze nog groen zijn" 1) U kunt zich naar ik aanneem met mij voorstellen aan welke vertwijfeling dat jongetje ten prooi is en dat hij denkt: " 't Zou wel helpen als ze zeggen wat ze bedoelen."

Indien met verontreiniging niet de actie van het verontreinigen maar de toestand van het verontreinigd zijn wordt bedoeld, kan een ondubbelzinnige definitie van *bodemverontreiniging* luiden: de aanwezigheid van stoffen op of in de bodem, welke daar gekomen zijn als gevolg van menselijke activiteit en welke het goed functioneren van de bodem belemmeren. De *bodemhygiëne* omvat dan het geheel van maatregelen die gericht zijn op de bestrijding of voorkoming van bodemverontreiniging.

Definities verder latend voor wat ze zijn moet dus worden opgemerkt dat het toekennen van bodemfuncties een essentieel onderdeel vormt bij de beoordeling van bodemverontreinigingssituaties.

En hiermee sluit ik dan rechtstreeks aan op datgene wat in het eerste deel van deze bijeenkomst door collega Findenegg is gezegd. Een van de belangrijkste functies van de bodem vormt de voortbrenging van voedsel

1) vrij naar Willem Iven

middels plantaardige produktie. De rol van standplaats voor planten, die de bodem hierbij heeft, is echter niet beperkt tot die van een passief draagmedium voor de plant met zijn wortelstelsel maar strekt zich veel verder uit; niet alleen tot de groei, ontwikkeling en opbrengst van de gewassen maar met name ook tot de chemische samenstelling van het plantenmateriaal. Het zal duidelijk zijn dat het juist deze interactie is die er toe leidt, dat het veelvuldiger en in verhoogde concentraties voorkomen van ongewenste stoffen in de bodem ook meer kans geeft op ongewenste samenstelling van plantaardig voedsel bestemd voor menselijke of dierlijke consumptie. Dit kan leiden tot grote moeilijkheden ten aanzien van normstellingen.

De gevallen waarbij bodemverontreiniging leidt tot verminderde opbrengsten of andere uiterlijke reacties van de plant moeten, alhoewel de schade evident is, als gunstig worden afgetekend in vergelijking tot die gevallen waarbij potentieel toxische stoffen vanuit de bodem tot ongewenste, en, vanwege het ontbreken van uiterlijke reacties van de plant, ook tot niet-vermoede concentraties in de plant oplopen. In het eerste geval zorgt het mechanisme van de opname voor een "automatisch slot op de voedselketen".

Opname van elementen of verbindingen vanuit de bodem door het wortelstelsel van planten verloopt vrijwel steeds via de vloeibare fase van de bodem, de bodemoplossing. Sedert Thompson en Way omstreeks het midden van de negentiende eeuw de aandacht vestigden op het vermogen van de bodem om kationen omwisselbaar te binden heeft de vaststelling van de relaties tussen de samenstelling van de bodemoplossing en die van de vaste fase een van de hoofdpunten gevormd van het onderzoek in de bodemchemie. Dit ionenbindend vermogen van de vaste fase is van zeer groot belang voor de praktijk van de landbouw, aangezien hierdoor immers de bodem als een soort voorraadschuur voor plantevoedende elementen kan fungeren. Middels de evenwichtinstelling tussen vaste en vloeibare fase wordt voortdurend gezorgd voor een aanvulling van die elementen waaraan door opname vanuit de bodemoplossing behoefte bestaat. Reeds lang speelt in de bemestingsleer de vraag hoe langs dit mechanisme het maximale rendement van toegediende voedingsstoffen kan worden bereikt. Dit rendementsprobleem is niet alleen een gevolg van het soms optreden van niet-omwisselbare vastlegging (algemeen aangeduid met fixatie) en van selectiviteit bij de opname door de plantewortel, maar ook van een niet geheel te vermijden uitspoeling naar diepere bodemlagen of naar het grondwater.

En hiermee stuiten we dan op een tweede belangrijke functie van het systeem bodem, namelijk die van filter voor water. Van de filtrerende

werking die door de bodem op water kan worden uitgeoefend wordt reeds lange tijd gebruik gemaakt. Voor wat betreft de praktijk van de drinkwaterbereiding kan in dit verband het voorbeeld van de infiltratie in de duinen worden genoemd. Echter ook de wellicht oudste vorm van afvalwaterzuivering, namelijk de landbehandeling van afvalwater, is een voorbeeld van doelbewuste inschakeling van het biofilter bodem. De zuiverende werking blijft in deze gevallen natuurlijk alleen maar bestaan zolang het bodemfilter geen doorslag vertoont ten opzichte van een of meer van de stoffen die men uit het water wil verwijderen.

De hier gegeven beide voorbeelden hebben betrekking op een specifieke gebruiksvorm van de bodem door de mens, meestal beperkt tot een nauwkeurig bekende oppervlakte; daardoor kan dan ook op relatief eenvoudige wijze worden gecontroleerd hoe het effect van het contact tussen water en vaste fase tot uiting komt in de samenstelling van het grondwater (of het oppervlaktewater). Een neerwaarts gerichte waterstroom door de bodem resulteert echter automatisch, gewild of niet, in een filterfunctie van de bodem.

Voor de klimatologische condities zoals deze bijvoorbeeld voor Nederland gelden, waarbij op jaarbasis gerekend sprake is van een neerslagoverschot, betekent de interactie tussen vloeibare en vaste fase dat ieder stukje onbedekte bodem de mogelijkheid heeft om de samenstelling van het grondwater mede te beïnvloeden. Het directe belang van bodemverontreinigingssituaties wordt dan evident indien men bedenkt, dat ter tegemoetkoming aan de toenemende vraag naar water van drinkwaterkwaliteit in toenemende mate geput moet worden uit het grondwaterreservoir.

De beide tot nu toe genoemde bodemfuncties, namelijk groeimedium voor planten en filter voor water, zijn welhaast zodanig vanzelfsprekend dat ze niet gemakkelijk over het hoofd worden gezien. Daarnaast kan echter niet worden voorbijgegaan aan een misschien wat minder voor de hand liggende maar mogelijk nog belangrijker functie, namelijk die van leefmilieu voor bodemorganismen. Hiertoe te rekenen niet alleen de micro-organismen, zonder welke activiteit het ook met het menselijk bestaan gauw afgelopen zou zijn, maar ook de hogere bodemorganismen met bijvoorbeeld bodem-invertebraten als belangrijke vertegenwoordigers. Alhoewel het belang van deze bodemorganismen, met name voor een goede bodemstructuur, reeds lang wordt onderkend is over de reactie ervan op verontreinigende stoffen tot nu toe merkwaardig weinig bekend. In iets mindere mate geldt dit voor de reactie op pesticiden, in welk verband in het bijzonder het werk van Edwards en medewerkers van Rothamsted vermelding verdient. Het stemt tot tevredenheid dat het belang van deze materie in ons land ook van overheidswege wordt onder-

kend, gezien een recente verlening van subsidie voor het verrichten van onderzoek omtrent biologische indicatoren voor bodemverontreiniging.

De stoffen, die ingeval van bodemverontreiniging verantwoordelijk zijn voor het tekort schieten van de bodem in een of meer van de zojuist geschetste functies, vertonen een zeer wijde variatie naar aard, mogelijke herkomst, als ook naar effect. Sprekende voorbeelden in dezen zijn zware metalen en pesticiden, en meer in het algemeen de xenobiotische verbindingen. Maar tegen de achtergrond van de eutrofiëringsproblematiek moeten hiertoe evenzeer de algemeen in de bodem voorkomende en voor de plantengroei ook onmisbare verbindingen van stikstof en fosfor gerekend worden.

De situatie wordt nog aanzienlijk gecompliceerder wanneer we bedenken dat het niet altijd de directe toevoeging van dergelijke stoffen hoeft te zijn, die tot bodemverontreiniging leidt, maar dat het verontreinigend effect soms als een indirect gevolg van bepaalde ingrepen in of invloeden op de bodem kan gaan optreden. Dit moge worden toegelicht aan de hand van een voorbeeld.

Zware metalen kunnen langs verschillende mechanismen in de bodem worden geïmmobiliseerd waardoor zij, alhoewel aanwezig, geen ongunstige werking uitoefenen aangezien ze immers noch uitspoelen, noch voor de plant opneembaar zijn. Een van deze mechanismen wordt geleverd door de vastlegging aan het adsorptiecomplex. Voorzover het hier de reeds genoemde omwisselbare vastlegging betreft is dit een vrij onveilige opslag en geen echte immobilisatie. Immers, een verhoogde concentratie aan andere elementen kan ertoe leiden dat uitwisseling plaats vindt. Anders is dit ingeval van preferentiële adsorptie, waarbij niet van gewone uitwisselbaarheid maar van een soort fixatie gesproken kan worden. Een ander mechanisme van immobilisatie is de precipitatie in de vorm van zeer onoplosbare verbindingen. Vaak vormt de pH in dergelijke gevallen een van de voornaamste concentratie-regulerende factoren waarbij, afhankelijk van de verbindingen die bij deze chemische evenwichten betrokken zijn, gemakkelijk een toename van de concentratie in oplossing met een factor 10 of 100 op kan treden bij een verlaging van de pH met één eenheid. Het is nu zeer wel denkbaar dat bij de normaal voorkomende pH-waarden een zeer sterke immobilisatie van bepaalde zware metalen in de bodem via dergelijke onoplosbare verbindingen gewaarborgd is. Verzuring van de bodem zou dan echter een geheel andere toestand kunnen doen ontstaan.

Een van de belangrijkste oorzaken voor een geleidelijke verzuring van de bodem vormt de neerslag. We weten allemaal dat de tijd dat het schoon water regende ver achter ons ligt. Emissies van velerlei aard leiden ertoe

dat de tegenwoordige neerslag bezwangerd is met veelsoortige chemische verbindingen. In dit verband zij vermeld dat bijvoorbeeld de jaarlijkse aanvoer van fosfaat via de neerslag de afvoer via uitspoeling op bouwland overtreft (Henkens, 1979). Emissies van NO_x verbindingen en meer in het bijzonder van SO_2 zorgen ervoor dat een verzuring van de neerslag optreedt. Op basis van in de toekomst te verwachten emissies van SO_2 komt Vermeulen (1979) tot verwachtingswaarden voor de gemiddelde pH van de neerslag van 3,7 voor 1985 en van 3,4 voor 2000. Dit zal noodzakelijkerwijze leiden tot een verzuring van de grond, waarbij het tijdstip waarop effecten waarneembaar zullen blijken natuurlijk nauw samenhangt met de buffercapaciteit van de bodem.

Het bovenstaande heeft er mede toe geleid dat volgens de mening van sommigen elke opslag van potentieel gevaarlijke stoffen in de bodem verboden moet worden, daar immers op deze wijze een soort "chemische bom" in de aarde zou worden ingebouwd. Deze vergelijking verder doortrekkend zou het ruisen van de regen dan associaties dienen te wekken met het sissen van het lont. Alhoewel de hierbij gebruikte terminologie mij iets te alarmerend voorkomt kan niet worden ontkend, dat in het bijzonder combinaties van onvoldoende doordacht menselijk handelen tot grote verrassingen zouden kunnen leiden.

Indien nu, zoals toch immers het geval is, erkend moet worden dat de mens voor zijn voortbestaan zo sterk afhankelijk is van de bodem en zijn produkten, hoe komt het dan toch dat hij de neiging heeft om ook deze milieucompartiment te verwaarlozen, of in elk geval onvoldoende zorg te schenken? Maar misschien moeten we eerst terug naar de vraag: is het wel zo dat er sprake is van verwaarlozing welke leidt tot allerlei vormen van bodemaantasting, waarvan de verontreiniging er slechts één is?

Deze vraag dient zonder meer bevestigend beantwoord te worden. Zoals beschreven door Balfour (1975) is mogelijk sedert het begin van deze eeuw door verlies van natuurlijke bodemvruchtbaarheid, gevolgd door erosie, meer vruchtbare aarde verloren gegaan dan in de gehele voorafgaande geschiedenis van de wereld. Volgens de Ehrlich's (1970) is het bovendien opvallend dat diegenen die eerste klas reizen in het ruimteschip aarde de grootste vernielzucht aan de dag leggen. Misschien dat vernielzucht beter vervangen zou kunnen worden door hebzucht.

Was de bescherming van de bodem over grote delen van de aarde voorheen gewaarborgd door de goede zorgen van zijn voornaamste gebruiker en belanghebbende, de landbouw, ook daarin is de laatste tijd sterke verandering opgetreden. Natuurlijk willen vele vormen van landbouw nog steeds het produktie-vermogen van de grond als een groot goed bewaren. De moderne, grootschalige landbouwmethodes zouden echter ondenk-

baar zijn zonder bijvoorbeeld de toepassing van organische bestrijdingsmiddelen. Mag hiermee in het verleden soms wel eens wat al te onbezonnen zijn omgesprongen, thans wordt het groeiend besef van het potentiële gevaar dat aan het gebruik van deze middelen verbonden is weerspiegeld in de steeds strengere eisen voor de toelating van nieuwe middelen. Aanzienlijk problematischer nog zijn specifieke vormen van landbouw, die de laatste decennia tot ontwikkeling zijn gekomen en als gevolg waarvan een wel uitermate zware last op de bodem wordt gelegd. Ik doel hierbij op de intensieve veehouderijbedrijven, die in bepaalde concentratiegebieden zoals de Veluwe en de Peel geleid hebben tot zeer grote mestoverschotten. Aangezien de op zich bruikbare organische mest hier soms min of meer als afvalstof wordt beschouwd staan toegepaste doseringen vaak in geen enkele verhouding tot een optimale bemesting.

Waar de organische mest op zich hierdoor al tot bodemverontreiniging kan leiden wordt het probleem nog eens extra geaccentueerd door de in sommige mestsoorten voorkomende hoeveelheden koper en zink. Naar het mij voorkomt dienen deze mestsoorten ten aanzien van dergelijke componenten bij de beoordeling van de toelaatbaarheid in vergelijkbare zin te worden behandeld als bijvoorbeeld het slib van rioolwaterzuiveringsinstallaties. Landbouw, zowel op praktisch uitvoerend als op beleidsniveau, zal de geloofwaardigheid in zijn rol van beschermers van de bodem pas weer volledig herwinnen, wanneer voor dit probleem van mestoverschotten en van ongewenste samenstelling van mest een afdoende oplossing is gevonden.

Daarnaast leveren andere maatschappelijke sectoren vele oorzaken voor bodemaantasting, en meer in het bijzonder voor bodemverontreiniging. Genoemd werd reeds de luchtverontreiniging, van belang zowel via industriële emissies als bijvoorbeeld langs autosnelwegen. In dit verband moet zeker ook de productie van vaste afvalstoffen worden genoemd, waaraan wij allen zo'n belangrijke bijdrage leveren.

De bedreigingen voor de bodem, zoals ik die in het voorafgaande in enkele facetten aan u geschetst heb, zeer geachte toehoorders, maken het wel zeer noodzakelijk dat onze kennis omtrent het gedrag van verontreinigende stoffen in deze milieucompartment in de toekomst in snel tempo zal toenemen. Transport en accumulatie van verontreinigende stoffen in de bodem dienen daarmee het centrale werkthema te vormen bij onderwijs en onderzoek. Dat ik tijdens deze rede aanzienlijk ben afgeweken van dit thema wordt verklaard doordat ik deze gelegenheid heb willen benutten om het dagelijks handelen eens in een wat ruimer kader te plaatsen.

Gelukkig hoeft de kennis omtrent transport en accumulatie van verontreinigende stoffen in de bodem niet van de grond af te worden opgebouwd, maar kan worden voortgebouwd op eerder verworven kennis en inzichten uit de bodemkunde. De bodemhygiëne en bodemverontreiniging vormt daarmee een toepassingsgebied, dat gaarne gebruik zal blijven maken van de resultaten van het overige bodemkundig onderzoek om op deze wijze mede een bijdrage te leveren aan het handhaven van een op zijn minst acceptabele toestand rond de kleine aarde.

Dames en Heren,

Mede namens collega Findenegg rest mij onze dank te betuigen aan Hare Majesteit de Koningin voor onze benoeming aan de Landbouwhogeschool.

Tevens willen wij bij deze gelegenheid gaarne allen bedanken, die bij de vele haltes op de weg van voorbereidings- en benoemingsprocedures, uitmondend in de voordracht door het College van Bestuur, hun vertrouwen aan ons hebben geschonken. Soms komt voorzitter en secretaris van een benoemingscommissie nog een afzonderlijk woord van dank toe voor het geduld dat klaarblijkelijk ook van hen kan worden gevraagd.

Hooggeleerde Bolt, beste Gerard,

Jij bent het geweest die mij met vaste hand hebt begeleid bij mijn eerste wankel schreden op het pad van de onderzoeker. Toen wij vervolgens verschillende wegen gingen kon ik nog weinig bevroeden dat mij later nog weer zo'n goede mogelijkheid tot nauwe samenwerking met jou gegeven zou worden. Al mag mijn belangstelling dan geleidelijk wat sterk zijn uitgegaan naar de praktische toepassing van de bodemchemie in een probleemveld dat jij wel eens pleegt te karakteriseren met: "die viezigheid van jullie", ik hoop ook in de toekomst op je grote kennis en op je belangstelling voor ons werk te mogen rekenen.

Directie en medewerkers van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding,

Het zevental jaren gedurende welke ik bij het ICW heb mogen werken blijkt van zeer grote betekenis te zijn geweest voor mijn verdere vorming. Ik bewaar nog steeds de beste herinneringen aan de altijd plezierige samenwerking binnen de hoofdafdeling, destijds aangeduid met Grondverbetering, met name de samenwerking met Jan Beuving. Het feit dat ik

nog steeds zeer vriendschappelijke betrekkingen onderhoud met een aantal van u moge het bewijs zijn dat de prettige werkomgeving van het ICW ook zijn invloed doet gelden in de persoonlijke sfeer.

Directie en medewerkers van het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid,

Gezien het werkterrein van het I.B. was het welhaast voor de hand liggend dat vanuit uw instituut een aantal onderzoeken op het gebied van de bodemverontreinigingsproblematiek werd geïnitieerd. Goed inzicht in en gevoel voor belangrijke toekomstige ontwikkelingen hebben ervoor gezorgd dat reeds in een vroeg stadium aan deze nieuwe tak van toegepast bodemkundig onderzoek richting werd gegeven. Dit resulteert thans in de aanwezigheid van grote kennis en ervaring op dit terrein bij uw instituut. Ik wil u vragen om de bereidheid tot overleg en samenwerking, zoals ik die met een aantal I.B.-medewerkers in het verleden reeds heb mogen ervaren, ook in de toekomst te willen handhaven.

Dames en Heren, medewerkers van de Vakgroep Bodemkunde en Bemestingsleer,

Wij waren eigenlijk al oude bekenden van elkaar, en ik durfde dan ook met een gerust hart terug te keren naar "Landbouwscheikunde", wetend dat ik op uw aller steun zou kunnen rekenen.

In het bijzonder aan de medewerkers van de Sectie Bodemhygiëne en Bodemverontreiniging wil ik vragen om bij het vervullen van onze gezamenlijke taken ook in de toekomst die steun te blijven geven, welke ik in de afgelopen jaren reeds in zo ruime mate heb mogen ontvangen.

Dames en Heren studenten,

Soms klinkt in uw kritische opstelling wel eens iets door van het verwijt dat voorafgaande generaties u een aarde nalaten waarop het genoeg te vertoeven, zelfs of misschien juist in eerste-klas-compartimenten, twijfelachtig zou zijn. U wilt daar, terecht, verandering in brengen, liefst nog voordat ook u gaat behoren tot een generatie die soortgelijke verwijten treft. Wij zijn beiden bereid, ieder op ons eigen vakgebied, om u de kennis en middelen aan te reiken waarmee u een deel van uw bijdrage in deze verbetering zult kunnen verwerklijken.

Uw eigen inzet hierbij en geloof in uw eigen kunnen zullen echter van niet minder wezenlijk belang blijken.

Wij danken u allen voor uw aandacht.

Geraadpleegde literatuur

- J.G. ten Houten, 1972; De kwade dampen van de welvaartsstaat; Veenman en Zonen, Wageningen. 19 pp.
- W. Iven, 1977; "Landinrichting", Uitgave Tj Kools, Deurne; getoonzet op "k Liejg veul", Farmsound Studio, Heesum.
- Ch.H. Henkens, 1979; Kunstmeststoffen en organische mest; Hoofdstuk 7.2.1. in Handboek voor Milieubeheer, deel IV: Bodem; Vermande Zonen, IJmuiden.
- A.J. Vermeulen, 1979; Acid precipitation in the Netherlands; Prov. Waterstaat van Noord-Holland, Haarlem. 37 pp.
- E.B. Balfour, 1975; The living soil and the Haughly experiment, Faber and Faber, London. 383 pp.
- P.R. Ehrlich en A.H. Ehrlich, 1970; Population, resources, environment; Freeman and Company, San Francisco. 383 pp.