

IN HET AARDEDONKER

TERUG NAAR DE TOEKOMST

Inaugurele Rede

uitgesproken door:

Dr.ir. N. van Breemen

en

Dr.ir. J. Bouma

bij de aanvaarding van het ambt van gewoon hoogleraar

in resp.

de Bodemvorming en Ecopedologie

en

de Bodeminventarisatie en landevaluatie

aan de Landbouwuniversiteit

op donderdag 28 januari 1988.

## IN HET. AARDEDONKER

Geachte toehoorders,

Zo ziet de kunstenaar Max Beckmann U als U in het aardedonker staat (a). U voelt zich ongemakkelijk. Uw handen tasten aarzelend rond. Uw voeten lijken te groeien want alleen zij voelen iets dat vertrouwd is: de aarde.

De eerste nieuwsgierige zonderlingen die zich bewust afvroegen wat het aardedonker verbergt, brachten licht in de duisternis. Zij groeven kuilen, of (we zitten in het Tsaristische Rusland) lieten dat doen. Dokuchaev ontdekte dat er systeem zit in de op het eerste gezicht kaleidoskopische verscheidenheid aan bodems. Die verscheidenheid uit zich vooral in de verticale opbouw van soms sterk contrasterende, soms geleidelijk in elkaar overgaande horizontale lagen, de zogenaamde bodemhorizonten. Vele bodems vindt men alleen bij een bepaald klimaat en onder een bepaalde vegetatie. Andere vindt men onafhankelijk van het klimaat, alleen op een bepaald gesteente. Weer andere treft men alleen aan wanneer het grondwater ondiep is. Dokuchaev zag in dat een bepaalde combinatie van slechts enkele, grotendeels onafhankelijke, externe factoren steeds weer leidt tot een bepaald soort bodem. Deze zogenaamde bodemvormende factoren zijn (1) de tijd gedurende welke (2) het klimaat en (3) de flora en fauna, inwerken op (4) een bepaald uitgangssteente in (5) een bepaalde topografische positie. Het vakgebied van de bodemvorming betreft de fysische, chemische en biologische processen die zich daarbij afspelen. Gezien het zeer complexe karakter van het systeem bodem is het niet verwonderlijk dat onderzoek naar bodemvorming makkelijk ontaardt in een soort wetenschappelijk catch-as-catch-can, met als middelen veldwaarnemingen, licht- en electronen microscopie, ongegeneerd modderen, theoretiseren, modelleren, experimenteren en meten buiten en in het laboratorium. De eindresultaten van zulk onderzoek zijn zelden helemaal bevredigend, want de vaak eeuwendurende processen zijn zelf onzichtbaar. Bovendien, het stevigste theoretisch fundament van het onderzoek, de thermodynamica, voorspelt slechts de eindtoestand, maar niet de weg waarlangs die

wordt bereikt, noch de tijd die daarvoor nodig is.

Waarom bestuderen we eigenlijk bodemvormende processen? Kennis ervan is onontbeerlijk voor het logisch groeperen, of klassificeren en benoemen van bodems, en dus voor onderwijs en voor communicatie over bodems voor landbouwkundige en andere doeleinden. Bodems zijn, net als mensen, in duidelijk verschillende groepen in te delen. Eveneens vertonen bodems allerlei overgangen tussen zwart, bruin en wit. Voor een eenduidige bodemklassifikatie moet men grenzen trekken. Het vaststellen van zogenaamde 'differentiërende kenmerken' voor een bodemklassifikatie is weliswaar minder onethisch dan voor het opstellen van rassenwetten, maar vaak nauwelijks minder arbitrair. U voelt wel dat bodemklassifikatie niet mijn hart heeft gestolen. Ik vind het een weinig inspirerende bezigheid die gemakkelijk leidt tot verstarring en pseudowetenschappelijke spiegelgevechten. Kortom, een noordzakelijk kwaad.

Mijn drijfveer voor het onderzoeken van bodemvormende processen is gewoon nieuwsgierigheid. Nieuwsgierigheid naar de oorzaken van de vele raadselachtige bodemkundige verschijnselen. Wie dat genant vindt bedenke dat alle schijnbaar nutteloze natuurwetenschappelijke kennis eens zeer belangrijk wordt. Noem mij een uitzondering en ik spreek U over een eeuw graag weer. Een voorbeeld uit eigen ervaring, van praktische kennis voortgekomen uit zulke nieuwsgierigheid, is de ontdekking van ammoniak als een van de grote verzuurders in Nederland (b). Via inzicht in bodemvormende processen, en geïnspireerd door Moormann's zgn sequential testing, kon ik in Sri Lanka en de Philippijnen begrijpen hoe ijzervergiftiging en zinkgebrek bij natte rijst samenhangen met hydrologie en landschap (c). Door het verband tussen landschappelijk en hydrologisch bepaalde bodemprocessen en gewasgroei, konden de oorzaken van de problemen opgespoord worden, en kon de veldsituatie als natuurlijk proefveld gebruikt worden voor onderzoek naar het oplossen van de problemen.

Het genoemde verband tussen bodem en gewas raakt het onderwerp van het tweede deel van mijn leeropdracht, de ecopedologie: de kennis van wederzijdse beïnvloeding van de bodem, en de planten- en dierenwereld. Hoe gewasproductie en bodem kunnen samenhangen wordt geïllustreerd

door de bevolkingsdichtheidkaart van Indonesië: het jongvulkanische, en daardoor vruchtbare Java vormt een mensenzee gelegen tussen relatief dunbevolkte eilanden met oudere, diep verweerde bodems. De relatie tussen bodem en gewasopbrengst is voor ons allen van levensbelang, al zijn slechts weinigen in het welvarende westen zich daar dagelijks van bewust. Ik wil het hier echter in de eerste plaats hebben over de keerzijde van het verband tussen bodem en plant. Hoe beïnvloeden planten en dieren het productievermogen, of, zo U wilt, de vruchtbaarheid van de bodem?

Alvorens hierop in te gaan wil ik U herinneren aan een geschiedenis die enkele jaren geleden de voorpagina's haalde. In de Sovjet Unie was een een nieuwe, gelatineachtige vorm van water ontdekt. Het zou thermodynamisch stabielere zijn dan ons dagelijkse water. Mocht het ontsnappen uit de glascapillairetjes waarin het was gevormd dan kon dat uitlopen op een ramp. Alle water op aarde zou tot de nieuwe, stabielere structuur overgaan. Zeeën en meren zouden veranderen in gelei met hier en daar een geïmmobiliseerde vis of een onzichtbaar geworden kwal. Het bloed zou in onze aderen stollen en het einde van het aardse leven was in zicht. Goddank berustte alles op een vergissing. Het water in de buisjes bleek verontreinigd met colloïdale kiezel, en werd vervolgens met een zucht van verlichting door de gootsteen gespoeld.

Mochten hier onzorgvuldige journalisten aanwezig zijn, dan zou het vervolg van mijn verhaal tot een vergelijkbare paniek aanleiding kunnen geven. Wat wil het geval. Zoals algemeen bekend bestaat onze atmosfeer voor ongeveer viervijfde uit stikstof, voor eenvijfde uit zuurstof en bevat verder voornamelijk waterdamp, en sporen aan onder andere kooldioxide en methaan. Deze samenstelling is uit chemisch oogpunt zeer merkwaardig. Theoretisch is dit gasmengsel nogal reactief, en zou het omgezet moeten worden tot een mengsel van stikstof en salpeterzuur (d). Bij chemisch evenwicht zou alle zuurstof uit de atmosfeer zijn verdwenen, zou regenwater uit salpeterzuur bestaan, en zou het zeewater voornamelijk calciumnitraat bevatten. Gelukkig leert de werkelijkheid dat dit proces niet zo verloopt. Misschien

heeft iemand ooit gedroomd van een katalysator die in staat is, liefst zonder extra energie, lucht en water in salpeterzuur om te zetten. Voor de kunstmestindustrie een aantrekkelijk perspectief. Ontsnappen van een dergelijke katalystor zou echter aanleiding kunnen geven tot een ramp waarbij het probleem van onze zure regen in het niet valt. Deze fantasie is even weinig realistisch als het verhaal over het russische water dat ons in gelei zou veranderen. Interessanter is de vraag waarom onze echte atmosfeer verschilt van de theoretische.

Wat is er mis met het model? Niets. De genoemde reactie vindt in werkelijkheid plaats, maar verloopt zo langzaam dat voor de omzetting van alle zuurstof tot salpeterzuur enkele miljoenen jaren nodig zijn. De aarde is echter miljarden jaren oud. Waarom kunnen we desondanks nog steeds zuurstof inademen? Het antwoord ligt in het modderige duister van moerassen en van sedimenten op de zeebodem. Onder invloed van bepaalde microorganismen wordt hier nitraat met behulp van organisch materiaal effectief omgezet in stikstofgas en kooldioxide. Dat organisch materiaal was afkomstig van groene planten, die bovendien met behulp van zonne energie uit kooldioxide opnieuw organische stof en zuurstof maken. Zo wordt de cirkel gesloten. Onze atmosfeer dankt zijn huidige heilzame samenstelling dus aan een combinatie van levensprocessen die deels in het volle licht, deels in het aardedonker plaats vinden.

De invloed van levensprocessen op de samenstelling van de atmosfeer gaat veel verder. Het gehalte aan kooldioxide wordt gereguleerd onder meer 1) over de hele aarde; door de groei van planten en opslag van het dode plantenmateriaal in moerassen en sedimentaire bekkens, 2) in de bodem, door vertering van calciümsilikaten tot opgelost calciümbicarbonaat, en 3) in de zee, door de vorming van schelpen en koraalkalk. Het methaan in de atmosfeer is afkomstig van methaan-vergiftende microorganismen in moerassen, en in de spijsverteringsorganen van termieten en herkauwers. Gassen zoals kooldioxide en methaan zijn van enorm belang voor de regeling van het aardse klimaat. Zij zijn transparant voor zichtbaar licht, maar absorberen door de aarde teruggekaatste infrarode straling. Hun concentratie in de atmosfeer, in

combinatie met de stralingsenergie van de zon, bepaalt daarom in belangrijke mate de temperatuur aan het aardoppervlak. Ondanks een sterke toename van de zonnestraling over de afgelopen 3 miljard jaar is de temperatuur aan het aardoppervlak vrijwel constant gebleven, kennelijk doordat onder invloed van levensprocessen de concentraties van de genoemde spoor-gassen werden gereguleerd. De Engelse onderzoeker Lovelock heeft deze ideeën uitgewerkt in zijn boek "Gaia, A new look at life on earth" (e). Volgens Lovelock's Gaia hypothese, genoemd naar de griekse godin aarde, zorgen levende organismen gezamenlijk voor een voor hen optimale toestand aan het aardoppervlak. Ik kan niet met Lovelock meegaan wanneer hij de aardse biosfeer opvat als één groot superorganisme, en dat niet alleen omdat ik medelijden zou hebben met een dergelijk geslachtloos wezen, dat in opperste eenzaamheid, eeuw in, eeuw uit, door het doodstille heelal moet suizen. Ik ben er echter van overtuigd dat Lovelock's ideeën onze biologische en aardwetenschappelijke inzichten in de komende decennia grondig zullen beïnvloeden.

Laten we terugkeren naar het aardedonker. Als het verenigde leven in staat is met een onwaarschijnlijk lange arm het aardse milieu naar haar hand te zetten, hoe zit het dan met de bodem, die zoveel dichter onder handbereik ligt? Past een levensgemeenschap zich bij de bodem aan of omgekeerd? Om die vraag te beantwoorden, gaan we eerst na welke eisen planten aan de bodem stellen. De bodem levert planten water en voedingszouten. Opdat de plant die kan opnemen moet de bodem doorwortelbaar zijn en zuurstof bevatten. Water, voedingsstoffen en zuurstof moeten met een voldoende grote snelheid uit voorraden in de grond zelf, of van daarbuiten, worden aangevoerd. Aan deze eisen kan worden voldaan, wanneer bodemmateriaal 1) vaste delen bevat van waaruit gelijkmatig voldoende voedingsstoffen vrijkomen, en 2) zeer poreus is, met dóórlopende poriën die duizendvoudig variëren in diameter, van millimeters to micrometers, zodat water en lucht gelijktijdig aanwezig kunnen zijn. Zo'n luchtig bouwsel moet bovendien voldoende stevig zijn om mechanische verstoringen het hoofd te bieden.

Zou zulk materiaal kunnen ontstaan op een dode

aarde? Eerst moet vast gesteente door fysische en chemische processen worden verweerd tot de primaire bouwstenen van bodemmateriaal, de klei-, silt- en zanddeeltjes. Door de productie van koolzuur en organische zuren, en door opname van kationen spelen planten en microorganismen een belangrijke rol bij verwerking. Indien voldoende tijd beschikbaar is zouden echter ook op een dode aarde gesteenten omgezet worden tot fijnkorrelige deeltjes. Het is te verwachten dat ook op een dode aarde een sediment met een redelijke korrelgrootteverdeling kan ontstaan. Zo'n sediment is waarschijnlijk fijngelaagd, als gevolg van kleine verschillen in stroomsnelheid tijdens de sedimentatie, en verschilt in dat opzicht niet van normale sedimenten die onder invloed van fysische processen zijn neergelegd.

Een gewas uitgezaaid op een aldus ontstaan oppervlak, zou echter jammerlijk mislukken. Ten eerste deugen de lucht- en waterhuishouding niet. Elk afzonderlijk laagje van het sediment bestaat uit deeltjes van vrijwel dezelfde korrelgrootte. De daarbij behorende ruimten tussen de korrels zijn ongeveer even groot. Na een regenbui zullen relatief fijnporeuze laagjes geheel met water zijn verzadigd, terwijl relatief grofporeuze laagjes slechts lucht bevatten. Een groeiende wortelpunt kan dus kiezen uit stikken of verdrogen. In het onwaarschijnlijke geval dat planten voldoende diep wortelen om hun waterbehoefte te dekken, doemt een tweede probleem op. De meeste voedingsstoffen zullen in voldoende mate door verwerking uit mineralen vrijkomen om de behoefte van de plant te dekken. Dat gaat echter niet op voor de onontbeerlijke nutriënten stikstof, fosfor en zwavel. Deze komen in een echte bodem voornamelijk beschikbaar door vertering van organisch materiaal. We laten ons echter niet uit het veld slaan, en voegen deze stoffen toe in de vorm van kunstmest. Met succes: de planten gaat groeien. Om een voorraad aan organisch materiaal te krijgen, laten we het gewas aan het eind van het groeiseizoen op het veld staan. Het volgend jaar blijkt het echter nodig om opnieuw kunstmest te geven. Deze geschiedenis herhaalt zich vervolgens jaar, na jaar, na jaar. Tenslotte ligt er een dikke vezelige laag van plantenresten boven het minerale sediment, en van een

vruchtbare bodem is geen sprake. Bovenstaand gedachtenexperiment is niet zó fantastisch. Dat kan ieder beamen die probeert om planten te laten groeien in vrijwel steriel mijnaafval of in zogenaamde gesaneerde grond. Gesaneerde grond ontstaat door een reinigingsproces uit vervuild havenslib of vervuild bodemmateriaal, en komt slechts qua textuur en chemische samenstelling met normaal bodemmateriaal overeen.

Als het op bovengenoemde wijze niet lukt een leefbaar, gezellig aardedonker te creeën, hoe lukt het dan wel met behulp van andere organismen? Hoeksema (f) heeft er op gewezen dat gravende bodemdieren nodig zijn voor het doorbreken van genoemde sedimentlaagjes, die door hun ongunstige lucht- en waterhuishouding voor planten onneembare barrières vormen. Regenwormen zijn daartoe in staat en doen nog veel meer. Met behulp van de microflora in hun ingewanden verkleinen en verteren zij dood plantenmateriaal. Bovendien nemen zij minerale grond op die intensief wordt gemengd met organische resten. Hun uitwerpselen, vaak op het bodemoppervlak gedeponerd, vormen bodemmateriaal met een zodanig poriënstelsel dat lucht en water gelijktijdig beschikbaar kunnen zijn. Dankzij organische kleefstoffen is de gevormde structuur opvallend stabiel tegen mechanische verstoring. Ontelbaar soorten van vele andere diergroepen bewonen de bodem, geflankeerd door legers van schimmels en bacteriën. Die hele, uiterst ingewikkelde levensgemeenschap helpt mee bij het afbreken van dood plantaardig materiaal. Daarbij worden eerder door planten opgenomen voedingsstoffen vrijgemaakt, en worden humusachtige stoffen gevormd die een belangrijke rol spelen bij adsorptie van water en voedingsstoffen. Tenslotte helpen zowel de grotere bodemdieren als de microorganismen bij het in standhouden van een luchtige bodemstructuur. Van altruïsme is hierbij geen sprake. Individuele organismen zijn er slechts op uit om een zodanig deel van de eerder door planten gevangen zonne-energie te bemachtigen, dat ze hun levenscyclus kunnen voltooien. Ze hebben belang bij een voldoende aanvoer van die energie, en dus bij voldoende plantengroei. Die is op zijn beurt alleen mogelijk bij een voldoende fysische en chemische bodemvruchtbaarheid. Bodemflora en fauna zijn voor die



fysische en chemische vruchtbaarheid onontbeerlijk.

Volgens de klassieke Darwiniaanse evolutietheorie worden de best aan het milieu aangepaste individuen in het selectieproces bevoorreed. Het milieu wordt daarbij impliciet als onveranderlijk beschouwd. De Gaia hypothese leidt, daarnaast en niet daartegenover, tot de conclusie dat ook die individuen en levensgemeenschappen worden bevoorreed die het best in staat zijn om via actieve beïnvloeding van het milieu een zo groot mogelijk deel van de zonnebuit binnen te halen. Aan dit aspect wordt door onderzoekers op het gebied van natuurlijke selectie en systeemecologie nog weinig aandacht besteedt. Ik verwacht dat dat spoedig zal veranderen. De discussie of Gaia inderdaad via een Darwiniaans evolutiemodel verklaard kan worden is in ieder geval begonnen (g). Een verklaring voor het ontstaan van een causaal verband tussen bijvoorbeeld globaal klimaat en microbiële activiteit onder de zeebodem is niet eenvoudig. Een evolutie van levensgemeenschappen die de bodem ten eigen nutte beïnvloeden ligt, dunkt me, meer voor de hand. Voorlopig beschouw ik Gaia als een hypothese, die een grote stimulans kan zijn voor verder onderzoek. Dit is echter niet de plaats om daar verder uitvoerig op in te gaan.

Tegenwoordig bezorgt de mensheid Gaia een lelijke indigestie. Zure regen, de dreigende klimaatsveranderingen onder invloed van onze kooldioxide productie, en de aantasting van de ozonlaag, halen regelmatig de voorpagina. De bodem staat wereldwijd onder druk als gevolg van ontbossing, erosie, en vervuiling. Mede daardoor lopen de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater in vele gebieden gevaar. We dreigen de regulatie mechanismen van Gaia te verstoren, en de grenzen van de draagkracht van de hulpbronnen bodem en water te overschrijden.

Milieudegradatie en uitputting van hulpbronnen worden vaak als een kwaal van deze tijd gezien. Er is echter niets nieuws onder de zon. Gedreven door een niets ontziende voorplantingsdrift hebben we bestaande technologieën steeds gebruikt om natuurlijke hulpbronnen zonedig tot de laatste drup op te slurpen. Maar keer op keer werden, wellicht onder druk van de dreigende uitputting, nieuwe technologieën ontwikkeld om nieuwe

bronnen aan te kunnen boren. Na het decimeren van mammoet en wolharige neushoorn, boden landbouw en veeteelt de nazaten van de paleolitische jagers nieuwe mogelijkheden. Door het vergaren van plantevoedingsstoffen via bosstrooisel en mest konden zwerfbouwers overgaan op een systeem van permanente landbouw, dat hun en hun kinderen meer zekerheid bood. De komst van de kunstmest haalde definitief een streep door het hierop gebaseerde systeem van essen en potstallen, dat aan het eind van de vorige eeuw op instorten stond. Zandverstuivingen en heidevelden, nu gezien als stukken kostbare natuur, waren evenzovele tekenen van een grootschalige landdegradatie als gevolg van dat systeem. Toen het hout bijna op was kwamen de kolen. Vervolgens kwamen olie en gas, en in de naaste toekomst zien we wellicht kernfusie. Grondstoffen die 15 jaar geleden bijna op waren blijken nu vervangbaar door geheel andere. Voor U het weet telecommuniqueert U door glasvezel in plaats van door ouderwets koperdraad.

De milieuproblemen van vandaag verschillen wèl van die van vroeger. Nu wordt niet een individueel ecosysteem bedreigd, maar het hele aardse milieu. Ik ben ervan overtuigd dat de mensheid in staat is door een combinatie van nieuwe technologiën en nieuwe hulpbronnen deze problemen de baas te blijven. De hulpbron bodem lijkt voorlopig echter onvervangbaar. Zolang, om een voorbeeld uit eigen land te noemen, de Nederlandse veeteler ruim 500 kg stikstof per hectare per jaar nodig heeft om 80 kg stikstof aan nuttig product (vlees en melk) te leveren (i), verspillen we energie, en belasten we bodem en grondwater op een onaanvaardbare wijze. Een beter inzicht in de mechanismen die de natuur in het verleden heeft ontwikkeld om haar zaakjes in het aardedonker naar genoeg van velen te laten verlopen kan ons helpen nieuwe technologiën te ontwikkelen. De invulling van mijn leeropdracht zie ik in dat perspectief. In het aardedonker terug naar de toekomst, dus.

Alvorens het woord over te geven aan mijn college Johan Bouma, die de terugkeer naar de toekomst verder zal uitwerken, moet mij nog een ding van het hart. De mens van vandaag is als de bekende tovenaarsleerling. Nauwelijks belemmerd door gebrek aan kennis uit het oneindige boek over de natuur, tovert hij dat het een

lieve lust is. Dampen van zwavel en salpeter rijzen kolkend op uit de retorten. De tovenaarsleerling krijgt het er benauwd van, maakt zich zorgen, maar gaat onverdroten verder. De weinigen met verantwoordelijksgedoeveel roepen op om de vrijgemaakte krachten te vuur en te zwaard te bestrijden. Gedragen op golven van bezorgdheid worden zij verkozen in kamers, raden en besturen. Vandaar storten zij hun wijsheid uit over de mensheid. Studieprogramma's worden doorspekt met probleemgerichte onderwijs-elementen. Onderzoek moet relevant en marktgericht zijn, want zo kunnen de problemen van vandaag worden opgelost, en nog wel op de goedkoopste wijze. Beste ministers, kamerleden, leden van de Universiteitsraad, en bezorgde, ongeduldige studenten, U vergist zich. Althans gedeeltelijk. Natùurlijk moeten de problemen van nu worden onderzocht. Maar bovenal moeten de nieuwsgierigste tovenaarsleerlingen, die onverbeterlijk zijn en nooit zullen stoppen, optimaal de gelegenheid krijgen een paar bladzijden verder te lezen in het oneindige boek van de natuur. Studieprogramma's moeten in de eerste plaats gericht zijn op het leggen van een goed theoretisch fundament. Laat onderzoekers de ruimte om hun grillige, ongeremde nieuwsgierigheid te botvieren. Het biedt ons de beste kans ook de problemen van de toekomst, waarvan we nu niet meer weten dan dat ze zeker zullen komen, op te lossen. Ik dank U voor Uw aandacht.

## TERUG NAAR DE TOEKOMST.

Bodeminventarisatie en Landevaluatie (vroeger spraken we gewoon van bodemkartering en interpretatie van bodemkaarten) houden zich bezig met het voorkomen en gedrag van bodems in een landschappelijke context. Het zal duidelijk zijn dat er veel raakpunten bestaan met de Bodemvorming en Ecopedologie, een reden om vandaag samen met van Breemen in het aardedonker terug te gaan naar de toekomst.

In veel landen is al uitgebreid aandacht besteed aan de inventarisatie en interpretatie van bodems. Veel programma's zijn klaar of vallen ten prooi aan de bezuinigingswoede. Zo is bv. de Soil Survey of England and Wales recentelijk gehalveerd en richt zij zich nu uitsluitend op betaald opdrachtwerk. De fusie van ons familielid de Stichting van Bodemkartering met o.a. het ICW en de daarmee gepaardgaande bezuinigingen betekent ook minder ruimte voor systematische bodeminventarisatie. Ook in de Verenigde Staten wordt het landelijk karteringsprogramma afgerond. In Maart wordt in Minneapolis een Internationale Workshop gehouden met als titel: soil resources, their inventory, analysis and interpretation for use in the 1990's, waar de keynote address de titel heeft: "When the mapping is over, then what?". Of, als alle bodems van een land geïnventariseerd zijn, wat valt er dan nog verder te inventariseren. Dezelfde vraag houdt ons vandaag bezig.

De regionale bodemkunde, veldbodemkunde of, als meest recente term, de ruimtelijke bodemkunde, is het oudste beroep binnen de bodemkunde. Het is ontstaan uit het verschil tussen "kijken" en "zien". Jenny heeft een analyse gemaakt van de schilderkunst door de eeuwen heen waarbij rotsen wel, en tot vervelens toe, maar de bodem kennelijk niet werd "gezien" door schilders, de zieners van onze maatschappij. Dan wordt aan het eind van de negentiende eeuw voor het eerst "gezien" dat er verschillende soorten bodems voorkomen op het raakvlak van geosfeer en atmosfeer. Er ontstaat een nog steeds actueel drieluik van activiteiten, het WAT, WAAR en HOE:

- (1) De bodemclassificatie: het geven van namen aan verschillende bodems;
- (2) De bodemkartering: het op

kaarten vastleggen van patronen van voorkomen van bodems in een landschap, en (3) De interpretatie voor verschillende toepassingen.

Studies van bodemchemische, mineralogische, fysische en biologische processen hebben de laatste decennia onze kennis over bodemprocessen sterk vergroot en daardoor hebben onze inventarisaties en evaluaties een steeds kwantitatiever karakter gekregen. Bodemkundige veld-excursies zijn dan ook nu anders van karakter dan die van de vijftiger en zestiger jaren toen nog in de kuil met brede armgebaren veronderstelde ecologische kringlopen in het landschap werden afgeleid uit soms nauwelijks waarneembare bodemkenmerken. Bij excursies nu wordt pas in tweede instantie in de kuil afgedaald en gaat de aandacht eerst uit naar analysegegevens en de bodem- en geschiktheidsclassificatie. Nog een opmerking over de eerder genoemde kwantifikatie die voor procesgerichte studies op bodemchemisch- en bodemfysisch gebied al snel leidde tot de juiste conclusie dat het natuurlijke bodemsysteem te complex was om alle basisprocessen in onderlinge samenhang kwantitatief te beschrijven. Vandaar processtudies uitgaande van vereenvoudigde ionensystemen en van homogene, isotrope poreuze media. Wat de ruimtelijke bodemkunde betreft mag in deze korte blik terug niet onvermeld blijven de ontwikkeling in de jaren zeventig van het Framework for Land Evaluation van de FAO, gebaseerd vooral op het werk van Beek en Bennema. De bodemkundige kijkt op vanuit zijn of haar kuil, beseffend dat het praktisch gebruik van de bodem ook -en vooral- wordt bepaald door omgevingsfactoren, zoals het klimaat, het landgebruikstype, gebruikseisen, en socio-economische randvoorwaarden. Deze impuls is erg nuttig geweest. Wel zie ik het probleem dat veel bodemkundigen zich zo druk bezighouden met het verzamelen van klimaatsgegevens, gewaseisen e.d. dat ze aan de bodem zelf nauwelijks meer toekomen. Dat is jammer omdat voor bodemkundigen de specifiek bodemkundige inbreng in een landevaluatieteam of, meer actueel, in de Agrosysteemkunde, centraal moet staan. Die bodemkundige inbreng is belangrijk ook al wordt de waarde van grond primair door economische, sociale, politieke en teelttechnische aspecten bepaald. Wel moet worden opgemerkt dat verschillen tussen bodems

weer belangrijker worden: "alles" kan niet meer "overal" wanneer wordt gedacht in termen van een geïntegreerde landbouw waarin toediening van, bijvoorbeeld, mest en van bestrijdingsmiddelen niet alleen qua gewasopbrengst-effecten maar ook qua milieueffecten wordt beoordeeld.

We schrijven sinds kort 1988. Er zijn nu gedetailleerde voorschriften om bodems te classificeren; er wordt nog wel gediscussieerd, maar de schema's liggen in grote lijnen vast. Er zijn gedetailleerde voorschriften voor de profielbeschrijving, de kartering en voor de landevaluatie volgens het Framework van de FAO. Ook de kwantitatieve landevaluatie is dank zij, onder anderen, het werk van Driessen in SOW verband, gerealiseerd. We kunnen dus onze bodems inventariseren en evalueren. Een gepast moment voor zelfgenoegzaamheid en een verrassend snel begin van de receptie? Helaas, zo simpel liggen de zaken niet. De ruimtelijke bodemkundige wordt namelijk geconfronteerd met veel vragen die hij met behulp van de bovengenoemde schema's moeilijk kan beantwoorden. Het feit dat bestaande structuren minder goed gaan functioneren is een algemeen maatschappelijk fenomeen. Daarom nu een uitstapje naar het boek van Alvin Toffler: "The Third Wave" (j) waarin ook hij met zeer brede armgebaren drie golven in de geschiedenis onderscheidt. De eerste beschrijft de traditionele landbouw met een laag technologieniveau, gekenmerkt door individualiteit, een sterke plaatsgebondenheid en een grote kwetsbaarheid. Het laatste resulteert in sterke sociale structuren. De tweede golf beschrijft de industrialisatie, gekenmerkt door eenvormige massaproductie aan de lopende band, uniformiteit en weinig ruimte voor individuele expressie. De triomf van het gemiddelde, dus. Dan de derde golf van de informatiemaatschappij met een steeds groter wordende dienstensector. Ruimte voor het individu in termen van vraag en aanbod. In zekere zin terug naar de eerste golf, maar dan met veel meer mogelijkheden en met een veel lagere kwetsbaarheid. Hoewel de tijdschaal niet klopt zou ik het beeld van de drie opeenvolgende golven willen hanteren bij het beschrijven van ontwikkelingen binnen de ruimtelijke bodemkunde. De eerste golf loopt tot de jaren zestig: iedere bodemkundige heeft zijn eigen systemen; de diverse scholen bestrijden elkaar met

vuur. De tweede golf loopt tot in de jaren tachtig; het is vooral de tijd voor de standaardschema's zoals eerder beschreven. We zitten nu in de overgang naar de derde golf waarin nieuwe vragen worden gesteld waarop onze standaardantwoorden tekort schieten. Enkele willekeurige voorbeelden van dit soort vragen: (1) Mocht het politiek haalbaar zijn om bodems uit produktie te nemen, welke bodems komen hier dan primair voor in aanmerking? (2) Welke bodems zijn het meest geschikt voor moderne geïntegreerde landbouwsystemen, en hoe verschillen de systemen tussen de bodems onderling? (3) De bodembescherming zal volgens Brinkman, nu verbonden aan de FAO in Rome, een hoofdaccent blijven houden in het onderzoek, met name in Afrika. Welke bodembeschermingsmaatregelen zijn het meest efficiënt in verschillende bodems en klimaatszones? en (5) Een andere dimensie: Hoe kun je in een ontwikkelingsland zinvol bodemonderzoek verrichten terwijl er nauwelijks faciliteiten zijn?

Bij de analyse van deze en andere hier niet genoemde vragen komen een aantal aspecten naar voren: (1) Er is steeds sprake van een gebiedsgewijze problematiek, een typisch aspect van ruimtelijke bodemkunde dus, (2) Veel vragen zijn nieuw en specifiek, en kunnen vaak niet op basis van bestaande ervaring worden opgelost. Een typisch fenomeen van de derde golf. (3) Veel vragen hebben betrekking op een gevoelige maatschappelijke problematiek: uitspraken op basis van metingen of berekeningen die een juridische toetsing kunnen doorstaan zijn daarom nodig. (4) Er is een toenemend accent op landbouw en milieu: kringlopen van voedingsstoffen in het milieu moeten onder controle worden gebracht. Deze aspecten gelden voor tropen, subtropen en gematigde streken hoewel de accenten verschillend zijn. Helaas is er geen tijd om hier nu dieper op in te gaan.

Er zijn in het onderzoek een aantal ontwikkelingen gaande die aansluiten op bovengenoemde aspecten. Simulatiemodellen worden nu met succes toegepast bij het kwantificeren van gewasproducties en van nutriëntenstromen in de bodem. Verder is er de ontwikkeling van statistische methoden die interpolatie van punt- naar vlakgegevens mogelijk maakt, op een wetenschappelijk verantwoorde manier. Zoals gezegd, veel belangen spelen

een rol bij het bepalen van alternatieve landgebruiksvormen. Studies monden daarom steeds vaker uit in alternatieve gebruiksscenario's die op specifieke wensen zijn toegesneden -een typische derdegolfbenadering- dan in bepaalde geschiktheden zonder meer, die passen binnen de tweedegolfbenadering. We zijn niet meer de kruidenier die een produkt uit de kast haalt, afweegt, inpakt en verkoopt, maar we vullen de schappen in de supermarkt. De klant wil kiezen. Op het punt van alternatieve gebruiksscenario's is door de Wit e.a. recentelijk met succes interactive multiple goal programming toegepast. (k) De uitgebreide manipulatie van zeer diverse gegevens die nodig zijn voor het formuleren van alternatieve gebruiksscenario's blijft hanteerbaar en overzichtelijk wanneer op de juiste wijze gebruik wordt gemaakt van Geografische Informatie Systemen.

Terug nu naar de bodeminventarisatie en landevaluatie. Kunt U zich voorstellen dat een ervaren bodemkarterder zich gaat afvragen wat zijn plaats is binnen het bovengenoemde digitale geweld? Wordt, zoals Klijn laatst opmerkte, de bodemkundige een beleidsgerichte bediener van de Personal Computer? Of wordt hij een boorder die volgens van tevoren vastgestelde puntennetten, standaardgegevens verzamelt die vervolgens digitaal worden verwerkt via simulatie- en informatiesystemen? Wordt hij iemand die dingen doet die anderen ook al doen? Zoja, dan zijn we klaar, zetten we een streep onder een roemrucht verleden en gaan we nu onder het motto: "Vooruit naar de toekomst" over tot de receptie, om een toch wat bittere nasmaak snel weg te spoelen.

Ik stel U opnieuw teleur, want ik denk dat de ruimtelijke bodemkundige in de toekomst veel meer moet bijdragen en ik wil dat toelichten. Het gaat vooral om een drietal punten: (1) Het karakteriseren van bodems, (2) Het bepalen van de bodemkundige variabiliteit binnen een landschap, en (3) Het creatief gebruiken van de enorme hoeveelheid bodemgegevens die reeds zijn verzameld en die niet worden gebruikt. Eerst aandacht voor het karakteriseren van bodems. Bij het simuleren van bodemprocessen wordt nog vrijwel algemeen uitgegaan van een stromingstheorie voor een homogene bodem. Ik verwijs naar een eerdere opmerking over de complexiteit van



natuurlijke processen die het nodig maakte tot schematisering over te gaan. Wanneer we nu echter gaan rekenen met een model waarin de natuurlijke heterogeniteit niet tot uiting komt, krijgen we resultaten die niet met de werkelijkheid overeen komen. Dit blijkt inderdaad het geval te zijn in kleigronden, zoals ik in ander verband al te vaak heb aangetoond (l). Van Ommen, Hendriks en Dekker hebben laten zien dat ook in onverdachte zandgronden de stromingspatronen van water sterk afwijken van het ideale, homogene model. Deze op zichzelf niet onbekende verschijnselen hebben tot gevolg dat modeluitkomsten voor veldbodems vaak niet realistisch zijn. Door matching, calibratie of door op andere wijze aan de knoppen te draaien kan natuurlijk altijd overeenstemming worden bereikt tussen berekening en meting. Het is duidelijk dat hiermee wel het objectieve voorspellende karakter van de simulatie verloren gaat. De recente verschuiving van deterministische naar stochastische simulatiemodellen betekent voor het hier gesignaleerde probleem uiteraard geen oplossing. Van Lanen (m) toonde aan dat bij berekening van een klei op zavelgrond, bin-nen enkele minuten bevochtiging op drie niveaus optrad: aan het oppervlak, onderin de scheuren op 60 cm diepte en onderin wormgangen op 120cm diepte. Dit gemeten bevochtigingsprofiel kon op basis van de waargenomen poriepatronen worden verklaard. Belangrijker is de constatering dat de bodemmorfologische waarnemingen werden gebruikt om onafhankelijke randvoorwaarden te definiëren voor het simulatiemodel. Zo kon het waargenomen bevochtigingsprofiel worden berekend, terwijl een simulatie uitgaande van homogene grond een bevochtiging tot maar 4 cm diepte voorspelde. Zoals mij deze zomer bleek tijdens een bezoek aan het ICRISAT in India, is oppervlakkige waterbeweging in scheuren een belangrijk fenomeen in Vertisolen. De mogelijkheid om deze processen te simuleren biedt intrigerende uitgangspunten voor de ontwikkeling van nieuwe managementsystemen. Een ander voorbeeld in dit verband is het bewortelingsonderzoek van De Willigen, en van Noordwijk (n) die aantoonde dat het contact tussen wortel en grond in verschillende bodemstructuren een duidelijk effect heeft op de wateropname. Onderzoek in Japan door Hasegawa en Sato (o)

resulteerde in een realistische simulatie van wateropname door wortels die groeiden over verticale structuurvlakken. Leffelaar, tenslotte, bestudeert nu, na een theoretische studie in een homogeen medium, denitrificatie in natuurlijke structuurelementen, waarbij op korte afstand grote verschillen kunnen bestaan. Duidelijke aanzetten dus tot, laten we zeggen, individualisering van de bodem -een typische derde-golf-benadering- waarbij het inventariseren van de bodemstructuur een belangrijke rol speelt.

Nu het tweede punt van de ruimtelijke variabiliteit. Interpolatietechnieken kunnen worden gebruikt om puntinformatie om te zetten tot vlakinformatie. Dit was vanouds een kernactiviteit van de bodeminventarisatie. Vlakken werden op de bodemkaart afgegrensd op basis van boringen en landschappelijke kenmerken en voor iedere kaarteenheden werd een "gemiddeld en representatief bodemprofiel" gedefinieerd, op basis waarvan interpretaties werden verricht. Te lang, denk ik, hebben ruimtelijke bodemkundigen deze lijn kritiekloos gevolgd. Er dreigt nu een enigszins scheef gegroeide situatie te ontstaan waarin enerzijds creatief modellen worden gebruikt voor de landevaluatie terwijl daarna, net als dertig jaar geleden, vlakjes van de bodemkaart op verschillende wijzen worden ingekleurd of gerasterd met behulp van een GIS. Ruim twee jaar geleden bij het vijftigjarig bestaan van de Nederlandse Bodemkundige Vereniging is vanaf deze plaats door de Wit en van Keulen (p) een pleidooi gehouden voor het maken van simulatieberekeningen voor puntgegevens per boring, en deze daarna ruimtelijk te middelen. Dit in tegenstelling tot de gebruikelijke procedure waarbij bodemkundige eigenschappen per bodemeenheid werden "gemiddeld" tot een "representatief" profiel waarvoor berekeningen werden uitgevoerd. "Average first, calculate later" of "Calculate first, average later". In een recent samenwerkingsproject tussen Stiboka en de Vakgroep is deze suggestie getest met behulp van het voor 500 waarnemingspunten met simulatie berekende vochttekort van bodems in een zandgebied. Ik bespaar U de details van deze studie, maar wijs op een aspect in het kader van deze discussie. "Calculate first, average later" gaat uit van het bepalen

van een gemiddelde, en inmiddels herkennen we dit als een typisch fenomeen van de tweede golf. Eerder spraken we over de "individualiteit" van bodems die niet homogeen waren, nu komt de "individua-liteit" van de bodem in landschappelijk verband aan de orde. Hoe hanteren we dit aspect? Als een Deus-ex-machina wordt in de jaren zestig een nieuwe tak van de statistiek ontwikkeld, de geostatistiek, waarin niet wordt gesproken van gemiddelden met standaardafwijkingen, maar van variatie van punten onderling als functie van de onder-linge afstand en locatie. Dit uitgangspunt is de ruimtelijke bodemkundige uit het hart gegrepen: Immers ook hij ervaart dagelijks dat punten die dicht bij elkaar liggen vaak sterker op elkaar lijken dan punten die verder van elkaar liggen. De geostatistiek is een typisch derdegolfffenomeen omdat het de specificiteit van de individuele waarneming benadrukt. Wellicht is het geen toeval dat deze tak van de statistiek zich ontwikkelde in een tijd waarin maatschappelijk gezien de overgang van de tweede naar de derde golf zich aankondigde. De tijd was er rijp voor. Goed, terug naar de studie van het vochttekort. Stein (q) heeft laten zien dat interpolatie van puntberekeningen goede resultaten leverde. Resultaten worden echter beter wanneer interpolaties worden uitgevoerd binnen reeds op basis van geologie en geomorfologie onderscheiden, landschappelijke bodem-eenheden. Wanneer alle puntwaarnemingen in een gebied samen worden bewerkt is de variantie van de verkregen schattingen relatief hoog. Wanneer de interpolatie na stratifikatie per bodemeenheid of per grondwatertrap wordt uitgevoerd, blijkt deze variantie binnen de afzonderlijke eenheden zeer karakteristiek verschillend te zijn. Het lijkt daarom zinvol om de suggestie van de Wit en van Keulen te modificeren als: "Calculate first, then interpolate within land units". Wat hier geldt voor een gesimuleerde landkwaliteit, het vochttekort, heeft in principe een algemene geldigheid. Het betekent dat wij bestaande bodemkaarten kunnen gebruiken voor het efficiënter voorspellen van de variabiliteit met behulp van geostatistische methoden. Naarmate de variabiliteit van een bepaalde eigenschap groter is in een bepaald gebied moet de erop gebaseerde interpretatie globaler van karakter zijn.

Er is nog een belangrijke toepassing van de geostatistiek en die heeft betrekking op de verkregen schattingsnauwkeurigheid als functie van de observatiedichtheid. Vanouds is dit aspect binnen de kartering benaderd door het maken van kaarten op verschillende schalen, waarbij kaarttechnische aspecten zoals het mogelijke aantal kaarteenheden of het aantal boringen per vierkante centimeter kaartoppervlak teveel op de voorgrond traden. De kaart is een middel, geen doel. Met Marshall McLuhan constateren we dat ook hier soms geldt: "The medium is the message". Het gaat uiteraard primair om de bodemkundige variabiliteit binnen het landschap en die kan schaalonafhankelijk met geostatistische methoden worden bepaald binnen landeenheden. Een zeer praktische toepassing van dit principe is uitgewerkt aan de Universiteit van Minnesota waar een systeem is ontwikkeld voor het verschillend bemesten van bodemeenheden binnen één perceel. Een bodemkaart is in gedigitaliseerde vorm beschikbaar op de tractor en de bemesting wordt aangepast wanneer een bodemgrens wordt gepasseerd. Besparingen tot 30% zijn gerealiseerd, onder het motto: "Bemest de bodem, niet het perceel". Uitgaande van de gemiddelde bodemvruchtbaarheidstoestand van het perceel, worden onvermijdelijk delen van het perceel onder- en delen overbemest.

Nog een opmerking over het derde punt, het creatief gebruik van de enorme hoeveelheid bestaande gegevens die de afgelopen decennia zijn verzameld. Opslag en manipulatie in Geografische Informatie Systemen maakt het mogelijk deze en nieuwe gegevens dienstbaar te maken voor moderne toepassingen. Dit houdt in dat relaties tussen bestaande, niet direct bruikbare en niet beschikbare, maar gewenste gegevens moeten worden vastgesteld. Dit kan worden gedaan met zogenaamde vertaalfuncties, zoals die o.a. door Breeuwsma (r) zijn ontwikkeld. De co-kriging techniek, zoals deze wordt toegepast door Stein en Corsten, biedt ook veel perspectief in dit verband. Internationaal gezien is het door Sombroek geïnitieerde SOTER project van veel belang.

Als U uit de analyse van de drie bovengenoemde punten de indruk zou krijgen dat ruimtelijke bodemkunde alleen met de computer kan worden bedreven, dan is deze indruk onjuist. Met nadruk is bij de eerder genoemde vijf

vragen een vijfde vraag geformuleerd die betrekking had op werken zonder geld en gegevens. Van Barneveld laat met zijn succesvolle werk in Tanzania zien hoe zeer relevante resultaten worden bereikt door doelgericht en zeer specifiek te werken. Geen geld voor een bodemkaart: in plaats daarvan studie van enkele catena's. Geen geld voor grote series standaardanalyses: in plaats daarvan enkele cruciale bepalingen: voorbeelden in feite van een eerste golfbenadering, die zich net als de technologische derde golfbenadering specifiek op een bepaalde vraag richt zonder zich primair te laten leiden door bestaande inventarisatie en evaluatieschema's.

De ruimtelijke bodemkundige zal, denk ik, een effectieve partner zijn in het agrosysteemteam wanneer hij of zij zich profileert in termen van de drie bovengenoemde punten. Ik suggereer het kennen van, maar het toch afstand kunnen nemen van de bestaande schema's en een terugkeer naar het onbevangen "zien" van bodem en landschap zoals in de beginperiode van de bodemkunde. De grote technische mogelijkheden die ons nu ter beschikking staan maken een kwantitatieve en specifieke aanpak mogelijk die wonderwel past in de geest van Toffler's derde golf. Terug naar de toekomst dus.

Studenten; om U is het begonnen. U moet tijdens de studie voldoende basiskennis vergaren, want later lukt het niet meer. Daarnaast vereist een academische studie dat U creatief en liefst erudiet bezig bent. (s) Onze opleiding moet zodanig zijn dat tenminste enkelen onder U tijdig de mogelijkheden en problemen van, laten we zeggen het jaar 2010, zullen voorzien. Nu zure regen en mest; dan de klimaatsverandering -anderen zijn u op dit punt al voor geweest- maar wat nog meer? Wij zullen proberen U een goede voedingsbodem te leveren. Meer duidelijkheid is nodig over het studieprogramma. De nu uitzakkende eerste-fase opleiding is een soort MSc, zonder dat formeel een BSc punt wordt gepasseerd. Het voorstel van Bolt om tot een echte graduate school te komen met als logisch eindpunt een PhD is ook in internationaal verband zeer aantrekkelijk. Nog een opmerking over de verwarrende discussie betreffende specialisten en generalisten. Er bestaat een tragisch misverstand dat je

als generalist leider van een multidisciplinair team kunt worden door het kiezen van een algemeen, breed vakkenpakket. Zo iets wordt je alleen op basis van persoonlijkheid en ervaring. Grijp daarom de kans om een aantal procesgerichte basisvakken te kiezen tijdens de studie- ik sluit me op dit punt graag aan bij Nico van Breemen- maar houd wel een open oog voor de bredere context waarin het werk zich afspeelt. Generalisten, die verschillende vakgebieden moeten kunnen integreren, zullen goed kunnen functioneren wanneer ze zich de systeemanalyse eigen maken. Er is behoefte aan onderzoek op dit gebied, uitmondend in promoties. Verantwoord generaliseren is één van de moeilijkste bezigheden en vormt een vaardigheid waar veel behoefte aan is.

Collega onderzoekers; samenwerking is geboden en dient te worden gefundeerd op wederzijdse inbreng, die ook als zodanig wordt ervaren. Ik ben gelukkig met de programma-overeenkomst met Stiboka en ICW en de twee gemeenschappelijke door de EEG gefinancierde projecten. Het concrete plan om onze veldtraining voor zowel de Wageningse MSc als voor de eigen studenten met het ITC in Enschede te combineren, is een verheugende ontwikkeling die tot een verdere samenwerking zal leiden. De samenwerking met verschillende vakgroepen, zoals Tropische Plantenteelt, Sociologie niet westers en Ontwikkelings-economie in o.a. het LU steunpunt Costa Rica, vindt een steeds concretere vorm en is belangrijk om meer inhoud te geven aan het begrip 'landevaluatie'.

Het afgelopen jaar is moeilijk geweest. Tijd nu voor een nieuwe start die, hoop ik, niet door een post SKG zal worden verstoord. Mijnheer de Rector Magnificus, mijne Heren leden van het College van Bestuur, mede namens collega Van Breemen dank ik U voor het vertrouwen dat U in ons heeft gesteld. Tot slot: Terug naar het heden; wij nodigen U nu graag uit voor de receptie. Ook ik dank u voor uw aandacht.

## REFERENTIES EN NOTEN

- (a) Mann im Dunkeln, Neue Staatsgalerie, München
- (b) Van Breemen, N., P.A. Burrough, E.J. Velthorst, H.F. van Dobben, T. de Wit, T.B. Ridder en H.F.R. Reijnders, 1982. Soil acidification from atmospheric ammonium sulphate in forest canopy throughfall. *Nature*, 299: 548-550.
- (c) Van Breemen, N. and F.R. Moormann (1978). Iron toxic soils p. 781-800 In: *Soil and Rice. Proc. Symp. Int. Rice Res. Inst., Los Banos.*  
 Van Breemen, N. C.C. Quijano and Le Ngoc Sen, 1980. Zinc deficiency in wetland rice along a toposequence of hydromorphic soils in the Philippines. I Soil conditions and hydrology. *Plant and Soil* 57: 203-214.  
 Van Breemen, N. and R.U. Castro 1980. *Ibid.* II. Cropping experiment. *Plant and Soil* 57. 215-221.
- (d)  $2N_2 + 5O_2 + 2H_2O = 4NO_3^- + 4H^+$ ,  $K' = 10^{-1.25}$  (bij 25°C en 1 bar).
- (e) Lovelock, J.E. 1979. *Gaia. A new look at life on earth.* Oxford University Press.
- (f) Hoeksema K.J. 1961. Bodemfauna en profielontwikkeling. p 28-42 in: *Voordrachten B-cursus bodemkunde.* Sept. 1959. Directie Landbouw onderwijs.
- (g) Lovelock, J.E. 1986. *Gaia: the world as living organism.* *New Scientist*, 18 Dec. 1986, p.25-28.
- (h) M.Harris, 1977. *Cannibals and kings. The origins of cultures.* Random House, N.Y.
- (i) Van der Meer, H.G., 1985. Bemesting van stikstof in weidegebieden. *Landbouwkundig tijdschrift* 97(8).

- (j) Toffler, A., 1981. The Third Wave. Bantam Books, 537p.
- (k) De Wit, C.T., H. van Keulen, N.G. Seligman and I. Spharium, 1988. Application of interactive multiple goal programming techniques for analysis and planning of regional agricultural development. Agricultural Systems (in press).
- (l) Bouma, J., 1984. Using soil morphology to develop measurement methods and simulation techniques for water movement in heavy clay soils. In: Bouma, J. and P.A.C. Raats (Eds.). Water and solute movement in heavy clay soils. Proc. of an ISSS Symposium ILRI, Publ. 37, Wageningen, The Netherlands. p. 298-316.
- (m) Stiphout, T.P.J. van, H.A.J. van Lanen, O.H. Boersma and J. Bouma, 1987. The effect of bypass flow and internal catchment of rain on the water regime in a clay loam grassland soil. J. of Hydr. 95: 1-11.
- (n) De Willigen, P. and M. van Noordwijk, 1987. Roots, plant production and nutrient use efficiency. Proefschrift Landbouwhogeschool; Uitgegeven door Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Groningen.
- (o) Hasegawa, S. and F. Sato, 1987. Water uptake by roots in cracks and water movement in clayey subsoil. Soil Science 143: 381-386.
- (p) De Wit, C.T. and H. van Keulen, 1987. Modelling production of field crops and its requirements. Geoderma 40: 253-267.
- (q) Stein, A.M. Hoogerwerf and J. Bouma, 1988. Using soil map delineations to improve co-kriging of point data on moisture deficit. Geoderma (submitted).



- (r) Breeuwsma, A., J.H.M. Wösten, J.J. Vleeshouwer, A.M. van Slobbe and J. Bouma, 1985. Derivation of land qualities to assess environmental problems from soil surveys. Soil Sci. Soc. Amer. J. 50 (1): 186-190.
- (s) Rörsch, A., 1987. Eruditie en de funktie van de landbouwuniversiteit in de samenleving. Rede Opening Academisch Jaar 1987/1988. LU-Wageningen.