

BIODYNAMICA VAN DE BODEM

door prof.dr. L. Brussaard



**Inaugurele rede uitgesproken bij de aanvaarding
van het ambt van hoogleraar in de bodembioogie
aan de Landbouwwuniversiteit te Wageningen
op donderdag 11 mei 1989**

BIODYNAMICA VAN DE BODEM

Meneer de rector, geachte aanwezigen, dames en heren,

Wat is een bioloog? Afgaande op vragen van niet-vakgenoten is een bioloog iemand die weet waarom de kamerplant doodgaat, waarom er steeds meer mos en steeds minder gras in het gazon komt en wat je moet doen tegen de mieren. Het is ook iemand die van elke plant en elk dier weet of deze "schadelijk" is of "nuttig" en wat de zure regen precies aanricht. Als je dat als bioloog niet weet, of niet altijd, ja, wat ben je dan eigenlijk? U begrijpt dat ik hier een karikatuur schets, maar het is een feit dat het beroepsbeeld van de bioloog vaak niet duidelijk is en dan heb ik het nog niet eens over de moleculair-biologen, celbiologen en alle andere witte jassen, waar ik mezelf niet toe reken.

Het wordt nog minder duidelijk als de vraag wordt gesteld: Wat is een *bodembioloog*? Weinigen voelen zich aangetrokken tot het wroeten in de grond en de kennis van wat zich daar aan leven bevindt. En waar de vakspecialist zich kan verwonderen over het doeltreffende bouwplan van een bodeminsekt, ziet de leek onder het microscoop niet meer dan een enge griezels. Nee, de bodem, daar krijg je smerige handen van en misschien zit er nog wel gif in ook. Toch wist Francé al in 1922: "De ganz dünne Decke zwischen dem Grundwasserspiegel und dem grünen Pflanzenkleid, das ist der Reichtum eines Landes". Het levende deel van die rijkdom, in wisselwerking met het niet-levende deel, dat is het studieobject van de bodembioogie. Teren we in op die rijkdom of benutten we die als een kostbaar kapitaal? En, in de eerste plaats: hoe functioneert het bodemoecosysteem eigenlijk? Ziedaar mijn werkterrein, dat door de commissie die mijn benoeming heeft voorbereid, als volgt is omschreven:

coördineren, ontwikkelen en stimuleren van onderwijs en onderzoek in de bodembioïogie, met name betreffende het functioneren van het bodemoecosysteem, in het bijzonder de bodemzoölogische aspecten. Uit de nadruk op de zoölogische aspecten blijkt dat de bodemmicrobiologie niet het deelgebied is waarop ik mijn aandacht zal concentreren. Dat is ook niet urgent, daar een deel van de vakgroep Microbiologie zich in onderzoek en onderwijs juist op de bodemmicrobiologie richt. Niettemin ben ik er om verschillende redenen gelukkig mee dat mijn leeropdracht, de bodembioïogie, ruim gesteld is. In de eerste plaats omdat onderzoek en onderwijs in de bodemzoölogie ondenkbaar is zonder daarin de bodemmicrobiologie te betrekken. In de tweede plaats omdat mijn coördinerende taak alleen inhoud kan krijgen als mijn opdracht ruim gesteld is. In de derde plaats omdat er ook binnen de bodemmicrobiologie, buiten het huidige werkterrein van de vakgroep Microbiologie, actie nodig is om te voorkomen dat de Landbouwwuniversiteit een veelbelovend werkterrein laat schieten. Ik doel hier op het onderzoek naar symbiotische schimmels, ofwel mycorrhiza. Het mycorrhiza-onderzoek is nog zeer onlangs, met het vertrek van Limonard, uit het vaste programma van de vakgroep Fytopathologie verdwenen. Vanuit de optiek van deze vakgroep, de planteziektenkunde, is dat zeker te billijken. Maar met hem is een belangrijk stuk experimentele kennis over mycorrhiza verdwenen. Mycorrhiza zijn van groot belang voor de plantevoeding bij lage niveau's van opneembare voedingsstoffen, met name P, in de bodem. Ze spelen bij uitstek een rol bij het welslagen van herbebossing in de tropen, bij de vitaliteitsvermindering van bossen onder stress, zoals bij

blootstelling aan de zogenaamde "zure regen", en bij die gewasproductie die plaatsvindt waar nauwelijks kunstmeststoffen beschikbaar zijn, zoals in grote delen van de tropen, of waar de toevoer van kunstmeststoffen om andere redenen wordt beperkt, zoals in bepaalde vormen van geïntegreerde en alternatieve landbouw. Mede omdat ook buiten de Landbouwwuniversiteit in Nederland de aandacht voor mycorrhiza zeer beperkt van omvang is, reken ik het tot mijn taak om in overleg met de betrokken LU-medewerkers met initiatieven te komen tot hernieuwde aandacht voor deze belangrijke groep van schimmels. Het belang daarvan wordt, gezien de aanstaande lancering van een EG-programma voor onderzoek naar VA-mycorrhiza, ook buiten onze grenzen ingezien. Nu ik, enigszins *off the record*, toch het een en ander heb gezegd op het terrein van de bodemmicrobiologie, zal ik mij in de rest van mijn betoog in hoofdzaak beperken tot de zoölogische aspecten van de bodembioïologie, in eerste instantie tot het onderzoek. Daarna zal ik nog kort ingaan op het onderwijs en de coördinatie van de bodembioïologie. Ik behandel voornamelijk de ontwikkelingen in Nederland, maar die zijn nauw verbonden met die in het buitenland. Vanuit het onderzoek waarbij ik thans betrokken ben, bestaan naast informele vormen van samenwerking met het buitenland ook formele, zoals met het Natural Resource Ecology Laboratory van de Colorado State University in Fort Collins en met het Institute of Ecology van de University of Georgia in Athens, beide in de Verenigde Staten.

ONDERZOEK

In 1953 verscheen een opgave van de Nederlandse literatuur over de biologie van de grond sinds omstreeks 1930 met in totaal 561 titels. Hiervan handelt slechts 12% over de bodemfauna, slechts 5% over niet- schadeverwekkende fauna en nog geen 2% over de fauna als onderdeel van het bodemoecosysteem. In de naoorlogse jaren is het bodemzoölogisch onderzoek beperkt van omvang gebleven, maar het is, ook internationaal, van aanzienlijke betekenis geweest, vooral door het werk van Van der Drift, deels in samenwerking met Witkamp, werkzaam aan het Instituut voor Toegepast Biologisch Onderzoek in de Natuur (ITBON), dat is opgegaan in het Rijksinstituut voor Natuurbeheer (RIN). Hun werk, dat een bloei-periode doormaakte tussen 1945 en 1965, was gericht op de rol van de bodemfauna, met name arthropoden, in de afbraak van organisch materiaal. Van der Drift stelde als een van de eersten vast dat onderdelen van de bodemfauna, zoals vliegelarven, ondanks hun relatief geringe biomassa en een assimilatie-efficiëntie van minder dan 10%, de decompositie-snelheid van organisch materiaal kunnen versnellen. Na zijn vertrek naar de Verenigde Staten heeft Witkamp, in samenwerking met o.a. Crossley, met gebruikmaking van radioactieve remplaçanten, vastgesteld dat de fauna, behalve voor de decompositie van organische stof, ook van belang is voor de opslag en remobilisatie van kationen. Een andere belangrijke ontwikkeling heeft plaatsgehad in het onderzoek naar regenwormen. In het voetspoor van Darwin en de Deense bodemzoöloog en bosbouw-kundige Müller werd door Van Rhee en Doeksen vastgesteld dat de activiteit van regenwormen van

belang is voor de decompositie van strooisel en het ontstaan van mull-bodems met een voor de plantengroei gunstige bodemstructuur. Deze constatering wierp een nieuw licht op de bodemvorming in de nieuwe polders. Ook van de kant van de bodemkundigen is, met name door Hoeksema, gewezen op het belang van de activiteit van de bodemmacrofauna voor een goede bodemstructuur, vooral op de zwaardere gronden. Tegelijkertijd ontstond door het baanbrekend werk van Jongerius bij de Stichting voor Bodemkartering de mogelijkheid structureffecten van de fauna ook micromorfologisch te bestuderen.

Het is natuurlijk een onbewezen stelling, maar als mijn indruk juist is dat het bodemzoologisch onderzoek zich tussen 1965 en 1975 weinig ontwikkeld heeft, dan lijkt een belangrijke reden daarvoor, dat het niet mogelijk bleek de ontdekkingen uit de periode daarvoor op het niveau van het bodemoecosysteem te kwantificeren. Men had vastgesteld dat bodemevertebraten belangrijk zijn voor de stofkringloop, maar hoe belangrijk in vergelijking tot de bodemmicroflora en -fauna? Men had vastgesteld dat regenwormen belangrijk zijn voor de stofkringloop en voor bodemvorming en bodemeigenschappen, maar hoe belangrijk in vergelijking met bodemchemische en -fysische factoren?

Dat deze vragen niet te beantwoorden waren, had niet alleen te maken met de stand van de wetenschap in de bodemzoölogie, maar zeker ook met die in de bodemkunde en de oecologie, in het bijzonder de microbiologie van de grond. Weliswaar verschenen tot en met 1975 en ook geruime tijd daarna tal van oecologische proefschriften over bodemdieren, maar dit betroffen in de eerste plaats bijdragen aan de

populatiebiologie en verspreidingsoecologie van dieren, terwijl hun rol in het functioneren van het bodemoecosysteem niet op de voorgrond trad. Het is eveneens een onbewezen stelling, maar het komt me voor dat het op zichzelf verheugende beroep dat op de bodemzoölogen werd gedaan in de jaren zestig en begin zeventig om hun licht te laten schijnen over bodemstructuurproblemen in kassen, boomgaarden en poldergronden en over nevenwerkingen van biociden in land- en bosbouw, te vroeg is gekomen in verband met het onvoldoende kwantitatieve inzicht in het functioneren van het bodemoecosysteem. Pas na 1975 slaagden de bodemzoölogen erin de bestudering van dit soort problemen te paren aan verdere theorievorming in de oecologie en de bodemkunde. Ook aan deze periode wil ik graag aandacht besteden.

Om te beginnen schets ik u opnieuw, maar op een wat andere manier dan eerder in mijn betoog, de plaats van de bodembioogie in het veld der natuurwetenschappen.

In de bodembioogie wordt kennis vanuit verschillende vakgebieden geïntegreerd, in het bijzonder vanuit de bodemkunde en de biologie. Binnen elk van deze vakgebieden is een aantal disciplines te onderscheiden die mijns inziens voor de bodembioogie van groot belang zijn.

Wat betreft de biologie zijn dat:

- de microbiële oecologie
- de dieroecologie
- de rhizosfeerbiologie
- specialismen, gericht op bepaalde organismengroepen (bacteriologie, mycologie, protozoölogie, nematologie, entomologie enz.)

Wat betreft de bodemkunde zijn dat:

- de bodemmicromorfologie
- de bodemfysica (inclusief transportprocessen)
- de bodemscheikunde

Ik meen dat voor het verkrijgen van meer inzicht in het functioneren van het bodemoecosysteem, in het bijzonder de zoölogische aspecten, enkele richtingen die gebruik maken van kennis uit deze disciplines, van groot belang zijn, namelijk de oecofysiologie, de populatiebiologie en het bodemstructuuronderzoek. Om dit toe te lichten haal ik een van de toepassingsgebieden van de bodembio­logie naar voren, namelijk de bodemvruchtbaarheid.

Het belang van oecofysiologisch-, populatiebio­logisch- en bodemstructuuronderzoek in de bodembio­logie, toegelicht aan het toepassingsgebied bodemvruchtbaarheid

Ik begin met oecofysiologisch en populatiebiologisch onderzoek in dat verband in het kader van het zogenaamde Lovinkhoeveproject, een samenwerkings­project tussen het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid te Haren, waaraan ik in deeltijd verbonden ben, en de Stichting ITAL, het Staring Centrum en de Landbouwuniversiteit te Wageningen. Over bodem­structuuronderzoek in relatie tot bodemvruchtbaarheid kom ik later nog te spreken.

Een van de doelstellingen van het Lovinkhoeveproject is het verkrijgen van inzicht in de koolstof- en stikstofdynamiek in "gangbare" en "geïntegreerde" akkerbouwsystemen. Het onderzoek houdt onder meer in dat we van de soorten waarin we geïnteresseerd zijn, een aantal relevante oecofysiologische en populatie­biologische parameters moeten bepalen. Resultaten op

individuniveau worden naar het populatieniveau vertaald met behulp van populatiemodellen. Essentiëel is, dat men niet alle soorten over één kam scheert. Anderzijds is het, gezien de enorme diversiteit aan soorten, onmogelijk ze alle afzonderlijk te bestuderen. Het is dus zaak ze te ordenen in functionele groepen, dat wil zeggen groepen die een overeenkomstige rol vervullen in het bodemoecosysteem en in verband daarmee een overeenkomstige levensstrategie vertonen. In het Lovinkhoeveproject maken we de indeling op grond van de rol die de bodemorganismen vervullen in het voedselweb. Daarbij worden de taxonomische groepen steeds uit elkaar gehouden. Van de aldus verkregen functionele groepen worden van representatieve vertegenwoordigers de relevante oecofysiologische en populatiebiologische parameters bepaald, voorzover die niet bekend zijn. Ik zal u de details van deze benadering besparen, maar een belangrijke voorwaarde voor het welslagen is, dat oecologische specialisten op het gebied van elk van de groepen bodemorganismen samenwerken met een theoretisch bioloog, wiens taak het onder meer is de koolstof- en stikstofdynamiek te simuleren op basis van de populatiedynamiek van representanten van de functionele groepen. Het is daarbij van belang dat men uitgaat van toetsbare hypothesen. Een van onze hypothesen is dat bij een vorm van "geïntegreerde" akkerbouw, die onder meer wordt gekenmerkt door gereduceerde grondbewerking en een verminderde kunstmeststikstofgift, de afbraakroute van gewasresten meer door schimmels en schimmelelers wordt gedomineerd dan in de gangbare akkerbouw, waar bacteriën en bacterivoren op de voorgrond treden. Hier valt een interessante parallel te trekken met min of meer natuurlijke oecosystemen, zoals bossen.

Als deze van nature voedselarm zijn, zoals meestal het geval is bij bijvoorbeeld de Nederlandse naaldbossen, dan kan men veronderstellen dat, uitgaande van een door schimmels en schimmeleTERS gedomineerde strooiselafbraak, verhoogde stikstofdepositie leidt tot een meer door bacteriën en bacterie-eters gedomineerde afbraakroute. Recent is door Laanbroek van het Instituut voor Oecologisch Onderzoek en mij het initiatief genomen om in het kader van het Speerpuntprogramma Bodemonderzoek deze vragen aan te vatten in een vergelijkend onderzoek tussen gangbare en geïntegreerde akkerbouw enerzijds en al dan niet aan verhoogde stikstofdepositie blootgestelde dennebossen anderzijds. Langs deze weg komen hopelijk gegevens beschikbaar die kunnen uitwijzen of de veronderstelling juist is dat de immobilisatie en vrijmaking van nutriënten onder min of meer natuurlijke omstandigheden beter gesynchroniseerd zijn met de behoefte van de plant dan onder sterk door de mens beïnvloede omstandigheden.

Een bekend gezegde luidt: meten is weten, maar dat is niet genoeg. Het is noodzakelijk om de energiestromen en nutriëntcycli te *verklaren* omdat causaal inzicht de mogelijkheid verschaft om teeltsystemen te sturen in de richting van hogere efficiëntie van het nutriëntengebruik, dat is verkleining van verliezen naar het milieu. Deze opvatting wordt niet door iedereen in het werkveld van de geïntegreerde plantaardige produktie in gelijke mate gedeeld. Er is een toenemende neiging om meer aandacht te vragen voor empirisch onderzoek dat ons onder gedefiniëerde omstandigheden bijvoorbeeld de effecten van toediening van bepaalde soorten en hoeveelheden meststoffen oplevert in termen van stikstofwerking en

andere grootheden. Verondersteld wordt dat dit soort onderzoek de invoering van geïntegreerde landbouw in de praktijk zou versnellen. Ik wil er echter op wijzen dat de reeds bestaande modellen die worden gebruikt om nutriëntkringlopen te beschrijven en bemestingsadviezen op te stellen *in principe* al vergaand geschikt zijn om deze vragen te beantwoorden, maar dat hun voorspellende waarde wordt beperkt door het ontbreken van basale kennis die nodig is om deze modellen te parameteriseren. Dit betreft onder meer basale kennis over wanneer, waar in het profiel en hoe snel stikstof wordt gemineraliseerd en over het transport van water en nutriënten naar de wortels. In die kennis te voorzien, vergt strategisch middellange-termijn onderzoek. Er moet mijns inziens een goede balans en wisselwerking zijn tussen het empirische, korte-termijn onderzoek en het causale, langere-termijn onderzoek. Evenzeer is causaal inzicht nodig om aan te kunnen geven op welke wijze de ongewenste effecten van verhoogde stikstofdepositie op onze bossen kunnen worden vermeden. Het is opmerkelijk dat in dit kader voor de rol van bodemdieren in het strooisel van onze bossen pas recent, dat is bij het aflopen van het Additioneel Programma Verzuringsonderzoek de aandacht lijkt toe te nemen. Terecht, mijns inziens, mede omdat uit onderzoek in het buitenland naar voren komt dat nematoden en microarthropoden selectief kunnen grazen op mycorrhiza. Eerder in mijn betoog heb ik gewezen op het belang van mycorrhiza-onderzoek. Thans wil ik daaraan toevoegen dat meer aandacht voor begrazing van deze belangrijke schimmels door de bodemmicro- en -mesofauna kan bijdragen aan een beter inzicht in het functioneren van het bodemoecosysteem en de effecten van de zogenaamde zure regen hierop. Het is hier niet

de plaats daarop thans verder in te gaan. Ik laat het bij de vaststelling dat de oecofysiologische en populatiebiologische benadering in combinatie met toepassing van de simulatietechniek goede vooruitzichten biedt op een betere beschrijving en causaal inzicht in het functioneren van het bodemoecosysteem. En passant kunnen we inhaken op *hot topics* in de hedendaagse oecologische literatuur.

Voedselketens in het bodemoecosysteem zijn vaak opmerkelijk lang, allerhande mutualistische relaties komen voor, predatoren lijken ruim keus te hebben om te "switchen" tussen prooien: wat betekent dat voor de persistentie van soorten, de stabilisering van hun aantallen en de stabiliteit van het oecosysteem? Ook hierop ga ik thans niet in, maar ik wil er wel mee zeggen dat een probleemgerichte invalshoek een bijdrage aan de theorievorming in de wetenschap geenszins hoeft uit te sluiten. Sterker nog, het is wenselijk dat die twee samengaan.

Thans wil ik, nog altijd aan de hand van een van de toepassingsgebieden van de bodembioïologie, namelijk de bodemvruchtbaarheid, toelichten waarom ik meen dat het bodemstructuuronderzoek van belang is voor het verkrijgen van inzicht in het functioneren van het bodemoecosysteem, in het bijzonder de zoölogische aspecten. Conceptueel is dat gemakkelijk uit te leggen. Wortels en bodemorganismen worden in hun activiteit sterk beïnvloed door de bodemstructuur en op hun beurt beïnvloeden ze de bodemstructuur weer. Deze wisselwerking staat bijvoorbeeld onder invloed van mechanische factoren, zoals grondbewerking en berijding. Naast grondbewerking is organische stof van invloed op de bodemstructuur. Om een lang verhaal, dat ik hier niet wil houden, kort te maken,

komt het erop neer dat grondbewerking effect heeft op de grond-water-lucht verhouding in de bodem, op de lucht- en waterdoorlatendheid en op de verdeling van poriën en daarmee op de samenstelling van de bodemlevensgemeenschap. Dit heeft geleid tot de hypothese dat de biologische routes waarlangs nutriënten beschikbaar komen voor de plant en de snelheid waarmee dit gebeurt sterk verschillen in bewerkte en onbewerkte grond.

Deze hypothese kwam ook reeds ter sprake bij mijn bespreking van het belang van oecofysiologisch en populatiebiologisch onderzoek in de bodembioïogie, hetgeen een illustratie moge zijn van het feit dat deze richtingen en het bodemstructuuronderzoek veel met elkaar te maken hebben.

Integratie van biologische en bodemkundige aspecten van het onderzoek

Ik wil dit graag wat nader uitwerken omdat ik meen dat er op het terrein van de zoölogische aspecten van het bodemstructuuronderzoek een belangrijke taak is weggelegd voor de Landbouwuniversiteit. Tevens ben ik van mening dat er behoefte is aan een concept waarin dit type onderzoek past en ook daaraan wil ik in mijn nadere uitwerking aandacht schenken. Daartoe vragen we ons om te beginnen af waar de interacties tussen bodemdieren en bodemstructuur plaatsvinden. Een van de plaatsen wordt gevormd door bodemaggregaten. Velen van u zullen vertrouwd zijn met het model van Tisdall en Oades betreffende de opbouw van aggregaten en de wijze waarop deze bijeengehouden worden. Met dit model in hun achterhoofd hebben Elliott en Coleman vier categorieën van poriën gedefiniëerd die kunnen worden bewoond door de micro- en mesofauna in

gestructureerde gronden. Zonder op details in te gaan zijn dat: luchtgevulde poriën, waar vooral mijten en springstaarten voorkomen en watergevulde poriën, waar, afhankelijk van hun grootte, potwormen, nematoden, protozoën en schimmels, respectievelijk bacteriën, voorkomen. Maar niet alle gronden zijn goed gestructureerd en daar komt toch niet alles overal voor. Om de andere plaatsen waar interacties tussen bodemfauna en bodemstructuur van belang zijn in kaart te brengen, kunnen we gebruik maken van het begrip microhabitat. Dat is een ruimtelijk begrensde eenheid van biologische activiteit. Een bodemaggregaat is daarvan één voorbeeld, maar u kunt ook denken aan de rhizosfeer, de vermisseer, dat is het door een regenworm beïnvloede deel van de bodem of de coprosfeer, dat is het door uitwerpselen of een door dieren in de bodem gebrachte mestvoorraad, beïnvloede deel van de bodem. Deze microhabitats hebben één ding gemeen: het zijn allemaal concentraties van organisch materiaal. Aangezien de organische stof niet gelijkmatig verdeeld is, is te verwachten dat ook bodemorganismen niet gelijkmatig verdeeld zijn. Inderdaad is er evidentie voor bijna elke groep van bodemorganismen, dat ze geclusterd voorkomen. In tenminste één opzicht zijn de microhabitats niet gelijk en wel hierin, dat de relevante schaal van onderzoek zich uitstrekt van micrometers tot tientallen centimeters, afhankelijk van de afmeting van de microhabitat en van de groep van organismen die we bestuderen. Dit doet de vraag rijzen hoe de activiteit van bodemorganismen te kwantificeren. Op dit punt aangeland zijn er meer vragen dan antwoorden. Ik ben ervan overtuigd dat we al heel wat weten over interacties in het bodemoecosysteem, waaronder effecten van structuur

en textuur, tezamen de *architectuur* van de grond vormend, op bodemdieren en op processen die door bodemdieren worden voltrokken of beïnvloed en eveneens over effecten van dierlijke activiteit op de bodemarchitectuur. Ik ben er ook van overtuigd dat we terecht het accent verlegd hebben van een beschrijvende naar een experimentele benadering, waarin we, om een voorbeeld te noemen, de bijdragen van bepaalde bodemdieren aan de nutriëntendynamiek of aan de bodemstructuurvorming bestuderen in zogenaamde microkosmosen in het laboratorium of microplots in het veld, waarvan we de samenstelling goed kennen of zelf tot stand gebracht hebben. Maar er zijn nog aanzienlijke problemen te overwinnen voor we resultaten van dit soort experimenten kunnen vertalen naar het functioneren van het bodemoecosysteem in het veld. Natuurlijk, we hebben onze simulatiemodellen en als we ze niet hebben, kunnen we ze maken en parameteriseren met behulp van het microkosmos- en microplotonderzoek of de literatuur. Maar die modellen moeten worden getoetst op basis van onafhankelijke metingen in het veld. Die moeten worden verricht met betrouwbare methoden op de relevante schaal. Niemand die enige ervaring heeft met de bepaling van aantallen en activiteit van microorganismen in grond kan op het punt van de methoden van onderzoek erg optimistisch zijn voor de nabije toekomst. De situatie is voor bodemdieren misschien iets beter, maar niet veel, als we tenminste rekening willen houden met de schaal waarop biologische activiteit plaatsvindt en die hangt, zoals gezegd, af van de afmeting van de microhabitat en van de organismen die men bestudeert. Daar komt bij dat de methoden om abiotische toestanden in de bodem te meten veelal niet toe-

gesneden zijn op de microschaal. Het volgende probleem is hoe de kwantificeringen op de schaal van microhabitats te extrapoleren naar een grotere schaal. Niettemin, of liever: juist daarom, liggen hier belangrijke terreinen voor strategisch onderzoek, dat wil dus, samengevat, zeggen op de volgende gebieden:

- relevante schalen waarop gemeten moet worden,
- methoden om op die schalen metingen te verrichten,
- methoden om die metingen te extrapoleren in ruimte en tijd.

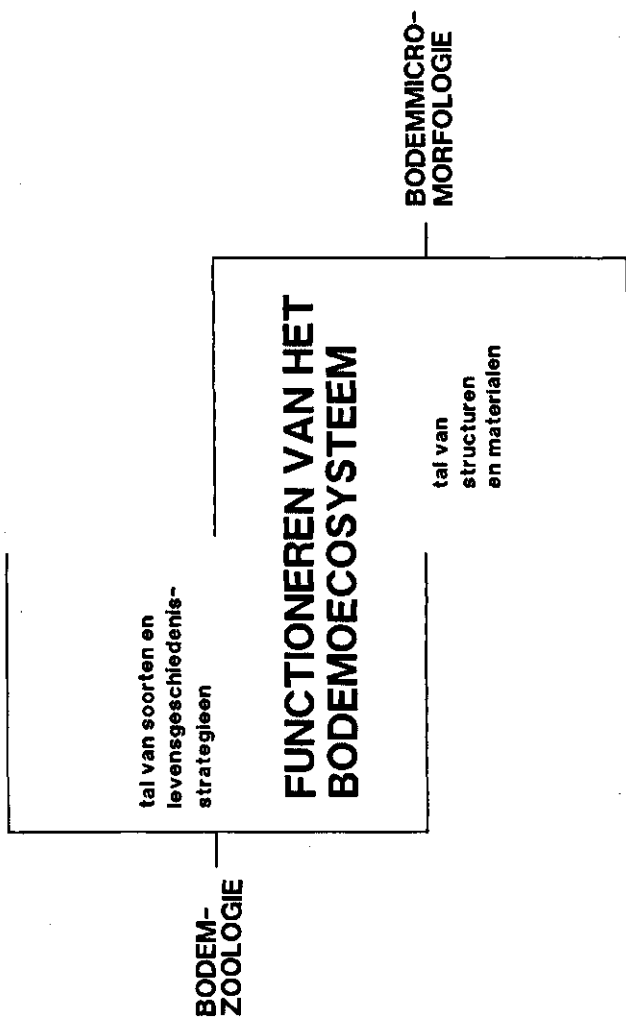
Nu ik iets heb gezegd over de plekken waar interacties tussen bodemdieren en bodemstructuur plaatsvinden, mede bepaald door het voorkomen van concentraties van organische stof, en ook iets over de daarmee samenhangende methodische onderzoeksvragen, kom ik toe aan het concept, waarbinnen het onderzoek past. Het concept houdt in dat bodemdieren niet slechts *bewoners* van de bodem zijn, maar dat ze er *deel* van uitmaken. Dit heeft belangrijke consequenties voor de aanpak van het onderzoek. Tot voor kort werden bodemkundigen en bodemzoölogen in beslag genomen door de beschrijving van de enorme natuurlijke verscheidenheid. De omvang van de verschillende groepen organismen en de diversiteit van bodems en hun opbouw heeft studies op steeds gedetailleerder taxonomisch gebied gestimuleerd, zowel in de biologie als in de bodemkunde. Inmiddels hebben we onderkend dat het noodzakelijk is functionele, oecologische groepen van bodemdieren te onderscheiden en we hebben ingezien dat er een hoge mate van wederkerigheid is tussen bodemdieren en andere componenten van de bodem. Vergelijkbaar met de totstandkoming van oecologische groepen in de

bodemzoölogie is het nu wenselijk dat ook de complexiteit van micromorfologische classificaties van de bodem wordt vereenvoudigd tot voor de niet-specialist hanteerbare classificaties van heterogeniteit van de bodem op microschaal. Dit betekent niet dat verdere uitbreiding of detaillering van bestaande classificaties niet nodig is.

Integendeel, er zijn belangrijke groepen van bodemdieren, zoals potwormen, waarvan in het geheel geen bruikbare classificatie bestaat. Het punt is, dat er een raamwerk voor synthese beschikbaar is en dat we daarvan alvast gebruik moeten maken zonder te wachten op nog meer of nog meer gedetailleerde beschrijvingen van levende en niet levende componenten van de bodem. Dat raamwerk wordt gevormd door de relatie tussen de architectuur van de bodem en het functioneren van het bodemoecosysteem (figuur 1).

Figuur 1

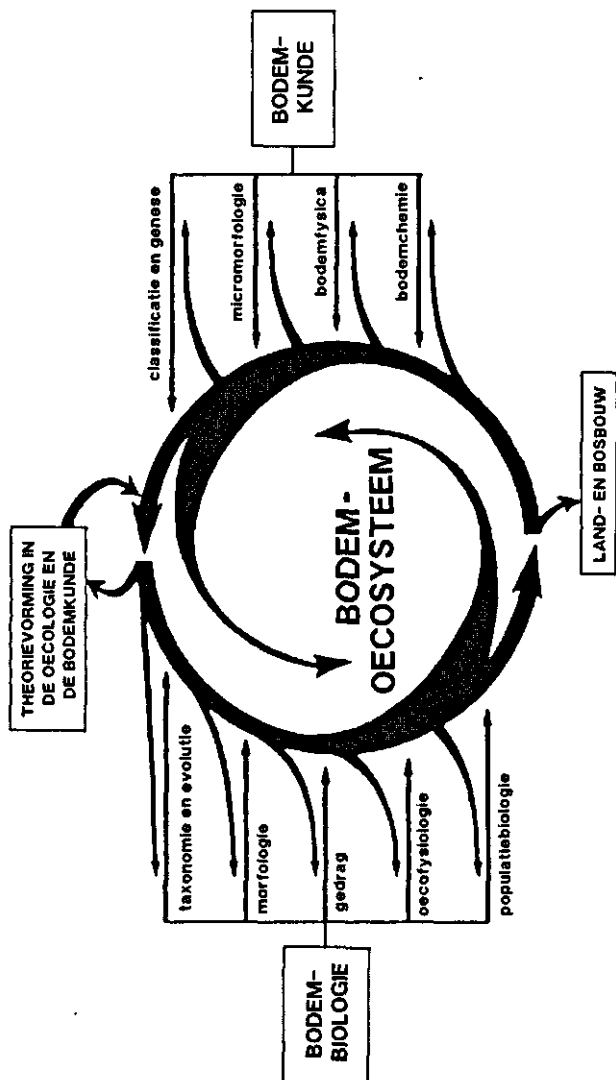
Bodemzoölogie en bodemmicromorfologie kunnen alleen in samenhang met elkaar bijdragen aan inzicht in het functioneren van het bodemoecosysteem.



Een groot aandeel van het poriënvolume en de aanwezige oppervlakken in de bodem is ontoegankelijk, zelfs voor organismen ter grootte van enkele micrometers. Daarom is kennis vereist over de fysische en biologische agentia die de architectuur van de bodem en daarmee de verdeling van substraten en organismen bepalen. Causaal onderzoek naar nutriëntentransformaties is derhalve in feite onvolledig zonder aandacht te schenken aan de effecten van de architectuur van de bodem op de betrokken organismen en op het abiotisch milieu waarin ze leven. Omgekeerd is bodemmicromorfologisch onderzoek en onderzoek naar fysische processen onvolledig zonder aandacht te schenken aan de betrokken organismen en de energie en nutriënten die ze nodig hebben voor hun activiteit. In dit soort onderzoek is dan ook de samenwerking tussen bodemfysici, bodemmicromorfologen, bodemmicrobiologen en bodemzoölogen essentieel, waarbij van de specialisten gevraagd wordt, en dat maakt het ook interessant, om niet alleen aandacht te schenken aan details op het gebied van hun specialisatie, maar die details zo in te brengen dat het zicht op het bodemoecosysteem als geheel en het functioneren daarvan erdoor bevorderd wordt (figuur 2).

Figuur 2

Het bodemoecosysteem staat centraal in het onderzoek. Integratie van tal van disciplines in het bodemonderzoek vindt plaats in het raamwerk van het bodemoecosysteem. Omgekeerd geeft integratie richting aan de analyse in elk der disciplines, draagt bij aan algemene theorievorming en vindt toepassing in de land- en bosbouw.



Om die reden is ook ondersteuning door specialisten op het gebied van de (geo)statistiek en de informatica van groot belang. Een dergelijke samenwerking kan de Landbouwuniversiteit niet alléén opbrengen, maar ze kan er wel aan bijdragen. Waar ik een belangrijke rol voor de Landbouwuniversiteit zie weggelegd is in de koppeling van bodemzoölogie met bodemmicromorfologie en geostatistiek. Ook hier geldt dat een probleemgerichte invalshoek in het onderzoek geenszins bijdragen aan de theorievorming hoeft uit te sluiten, bijvoorbeeld waar het gaat om de rol van bodemdieren in de vorming en stabiliteit van poriën en aggregaten. De vakgroep Bodemkunde en Geologie, waar mijn leerstoel is ondergebracht, is hiervoor het meest geschikte onderdeel van de Landbouwuniversiteit. We zullen daarbij de samenwerking met het Staring Centrum, in het bijzonder de groep micromorfologie, niet kunnen missen; die samenwerking bestaat al en ik zie ernaar uit die voort te zetten en verder te versterken.

Integratie van bodemecologie en gewasecologie

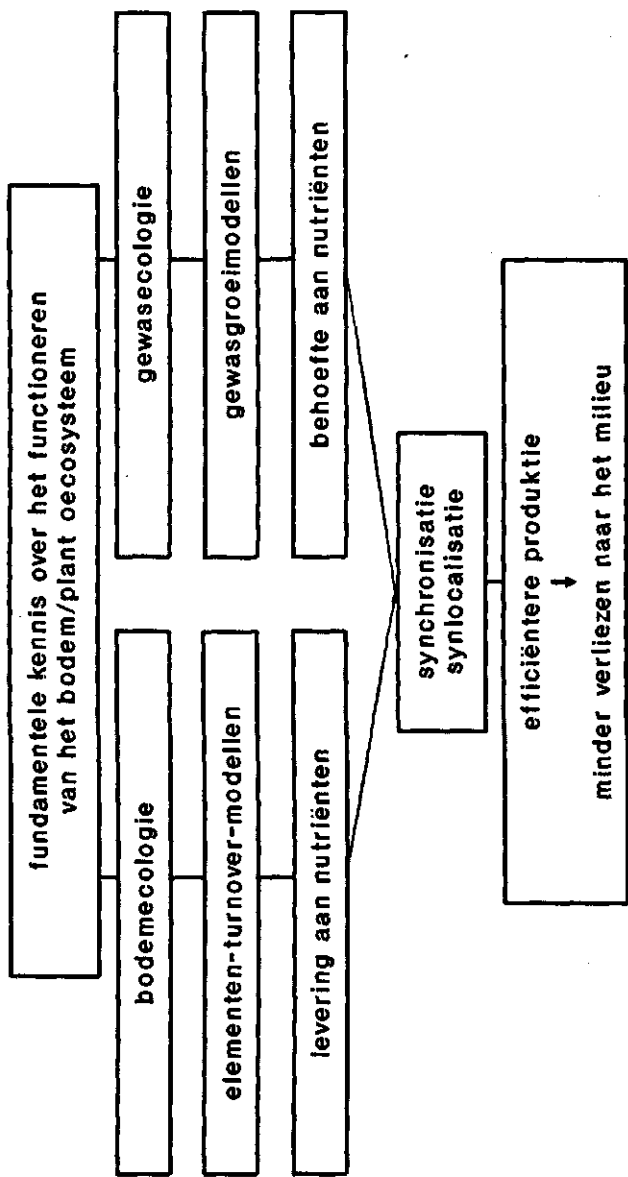
Op de wat langere termijn zie ik nog een verder-reikend perspectief. Wanneer we een project als het Lovinkhoeveproject kenschetsen als bodemecologisch in de ruime betekenis, dat is met inbegrip van alle disciplines van bodemonderzoek die bijdragen aan inzicht in het functioneren van het bodemoecosysteem, dan ontstaat een interessante parallel met de gewasecologie. Aannemende dat in een landbouwkundige context zowel de gewasecologie als de bodemecologie een zo efficiënt mogelijke produktie beogen en aannemende dat beide uitgaan van fundamentele kennis over het systeem bodem/plant, komt de parallel op

het volgende neer. In de gewasecologie construeert en toetst men onder meer modellen die de *behoefte* van een gewas aan water en nutriënten weergeven. In de bodemecologie construeert en toetst men onder meer modellen over de nutriëntendynamiek en het transport van water en nutriënten die de *beschikbaarheid* aan het worteloppervlak weergeven. Samenvoeging van kennis over de behoefte aan de zijde van de plant en de levering door de bodem moet het idealiter mogelijk maken het bodem/plant systeem zodanig te beïnvloeden dat de plant het water en de nutriënten geleverd krijgt wanneer deze er behoefte aan heeft en tevens op de plaatsen waar de wortels zich bevinden en dat de bodem geen nutriënten levert als er geen afname is aan de plantzijde (figuur 3).

Nog afgezien van het feit dat dit ideaal niet bereikt, maar hoogstens benaderd zal kunnen worden, heb ik dit met opzet een verderreikend perspectief genoemd, omdat de gewasecologie de bodemecologie in haar ontwikkeling zeker zo'n jaar of tien vooruit is. Het zal de bodemecologie dan ook een flinke krachtsinspanning kosten om een gelijkwaardige partner van de gewasecologie te worden, vooral ook omdat een gewas in interactie met zijn milieu een gemakkelijker object voor simulatie en experiment is dan de bodem. Daarbij wil ik een kanttekening maken van praktische aard. Als de Landbouw-universiteit de bodemecologie wil ontwikkelen vergelijkbaar met de gewasecologie, dan kan het nuttig zijn een even intensieve samenwerking met het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid tot stand te brengen als de gewasecologen hebben met het Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek.

Figuur 3

Schematische weergave van de wegen waarlangs fundamentele bodemecologische en gewasecologische kennis kan leiden tot efficiëntere produktie en vermindering van verliezen naar het milieu.



De rol van de bodembio­logie in de zojuist door mij geschetste parallel is des te belangrijker naarmate de plant voor de voorziening van nutriënten meer op de tussenkomst van bodemorganismen is aangewezen. Dat is het geval bij de vermindering van de toevoer van kunstmeststoffen en/of de verhoging van de toevoer van organische meststoffen. Bodembio­logische kennis is dan ook relatief belangrijk in geïntegreerde en alternatieve vormen van landbouw. Daarnaast vooral ook in de bosbouw en in grote arealen in de tropen waar kunstmeststoffen eenvoudig niet beschikbaar of niet te betalen zijn voor de boeren en waar onvoldoende kennis is over efficiënte toediening van organische meststoffen.

Gewasbescherming als toepassingsgebied van de bodembio­logie

Tot zover heb ik de bodembio­logie voornamelijk behandeld in relatie tot de bodemvruchtbaarheid. Daarnaast is de gewasbescherming een belangrijk toepassingsgebied van de bodembio­logie. De gewasbescherming ligt als onderzoeksgebied mijns inziens op het terrein van de bodemzoölogie, voorzover interacties tussen bodemdieren onderling of interacties tussen bodemdieren en bodem­microorganismen een rol spelen. Bodembio­logisch onderzoek in relatie tot biologische bestrijding vind ik van groot belang, niet alleen omdat het mogelijk tot toepassing leidt, maar ook omdat het fundamentele kennis kan opleveren over het functioneren van het bodemoecosysteem. Bovendien wordt het buiten de Landbouwuniversiteit, voorzover er bodemdieren bij betrokken zijn, slechts in beperkte mate uitgevoerd.

Ik zal graag naar vermogen bijdragen aan de stimulering en begeleiding van dit type onderzoek.

Natuur- en milieubeheer als toepassingsgebied van de bodembioïogie

Tenslotte als derde en zeker niet het minst belangrijke toepassingsgebied: het natuur- en milieubeheer. De biologische afbraak van milieu-verontreinigende stoffen ligt, kwantitatief gezien, vooral op het terrein van de bodemmicrobiologie. Een ander terrein dat van belang is met betrekking tot het natuur- en milieubeheer is de oecotoxicologie. Op dit gebied wordt in Nederland al vrij veel onderzoek verricht, op bodembioïogisch terrein vooral bij de Vrije Universiteit, het Rijksinstituut voor Natuurbeheer, TNO en het Rijksinstituut voor de Volksgezondheid en de Milieuhygiëne. Aan de Landbouwuniversiteit wordt op dit gebied door de vakgroep Toxicologie onderzoek verricht dat raakvlakken met de bodembioïogie vertoont. Landelijk gezien lijkt het mij niet urgent dat de Landbouwuniversiteit zich op dit terrein profileert, althans niet in de bodembioïogie. Daarop zou ik één uitzondering willen maken. Die betreft vrijlevende nematoden als milieu-indicatoren die mogelijk een rol kunnen spelen bij het beoordelen van de bodemtoestand en het aangeven van criteria waarop normstelling voor milieubelastende stoffen kan worden gebaseerd. De Landbouwuniversiteit, in het bijzonder de vakgroep Nematologie, heeft op dit specifieke deelgebied de meeste expertise in Nederland en het is van belang dat de hooggespannen verwachtingen over toepassing van deze kennis kunnen worden waargemaakt. Ook aan stimulering en

begeleiding van dit type onderzoek zal ik gaarne naar vermogen bijdragen.

ONDERWIJS

Dames en heren, mijn taak is coördinatie, ontwikkeling en stimulering van het onderzoek en onderwijs in de bodembioïogie aan de Landbouw-universiteit. Ik hoop u thans voldoende te hebben aangegeven welk bodembioïologisch onderzoek mijns inziens stimulering verdient. Over het onderwijs wil ik kort zijn. Niet omdat het niet belangrijk is, integendeel. Ik ben verrast door de grote bereidheid van tal van docenten, vakgroepen en richtingsonderwijscommissies om zelfs al vóór mijn indiensttreding per 1 december jl. vooroverleg te voeren over het onderwijs in de bodembioïologie. Dit heeft er sterk toe bijgedragen dat belangrijke onderdelen van mijn uiteindelijke voorstellen zijn opgenomen in de studierichtingen Biologie, Bodem/Water/Atmosfeer, Landbouwplantenteelt, Milieuhygiëne, Planteziektenkunde en Tropisch Landgebruik. Ik concludeer hieruit dat bodembioïologie in een duidelijke behoefte voorziet en dat is een geweldige stimulans bij de invulling van het onderwijs.

COÖRDINATIE

Ter afsluiting wil ik graag nog enkele woorden wijden aan de coördinatie van de bodembioïologie. Tot voor kort was er van landelijke coördinatie van het bodembioïologisch onderzoek nauwelijks sprake. Rond 1980 bleek dat van verschillende zijden aan een sturend forum niettemin behoefte was. Het is vooral

professor Vervelde geweest, destijds verbonden aan de Landbouwhogeschool en het Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek, die de oprichting van de Coördinatiecommissie Bodembioogie NRLO in 1978 heeft gestimuleerd vanuit het besef dat voor een beter begrip van het ontstaan en de mogelijkheid tot beteugeling van ziekten en plagen in de bodem het algemeen bodembioologisch onderzoek gestimuleerd diende te worden. De bodembioogie werd vervolgens als een van de vijf stimuleringsgebieden vermeld in de Meerjarenvisie Landbouwkundig Onderzoek 1982-86 van de NRLO. Van toen af gingen de ontwikkelingen vrij snel. De Landbouwhogeschool stelde in 1983 een Structuurcommissie Bodembioogie in, die binnen een jaar met aanbevelingen voor stimulering van het vakgebied kwam. Mijn benoeming tot hoogleraar Bodembioogie, die ik vandaag aanvaard, is daarvan een van de gevolgen. De NRLO bracht begin 1984 in samenwerking met BION het Eerste Onderzoeksplan Bodembioogie uit, dat in 1986 werd bijgesteld. Dit plan heeft veel bijgedragen aan het thans lopende Speerpuntprogramma Bodemonderzoek. Het landelijke forum van onderzoeksleiders, thans NRLO-Taakgroep/BION-Discussiegroep Bodembioogie geheten, dat dit Onderzoeksplan had opgesteld, heeft hiermee zijn waarde bewezen. Daarnaast hebben de deelnemende instellingen ook te maken met programmering en prioriteitstelling in eigen huis. Met het oog hierop heeft de Landbouwuniversiteit mij een coördinerende taak toebedeeld, een taak die gestalte kan krijgen in een zogenaamde WWO-werkgroep. Zo'n werkgroep lijkt een geschikt forum voor het opstellen van een bodembioogieprogramma met voldoende kritische massa om in aanmerking te komen voor Voorwaardelijke Financiering en voor het aantrekken van opdrachten van derden.

Meneer de rector, dames en heren, hiermede heb ik mijn visie op de bodembio­logie aan de Landbouw­universiteit gegeven. Thans wil ik enkelen uwer in het bijzonder toespreken.

Dames en heren leden van Benoemingsadviescommissie, Universiteitsraad en College van Bestuur,

De bodembio­logie is een prachtig vakgebied. U heeft de beslissing om een leerstoel voor dit vakgebied in te stellen en de vervulling van deze leerstoel zorgvuldig voorbereid. Ik heb mijn benoeming met veel genoegen aanvaard in de verwachting dat de nood­zakelijke middelen om het vakgebied tot ontwikkeling te brengen, beschikbaar zullen zijn. Ik dank u voor het in mij gestelde vertrouwen.

Beste directie en medewerkers van het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, in het bijzonder: beste medewerkers van de afdeling Bodembio­logie,

Jullie weten, dat mijn gedeeltelijk vertrek naar Wageningen niet is ingegeven door de wens jullie te verlaten. We hebben een enthousiaste groep in Haren met een goed, zowel nationaal als internationaal goed ingebed programma. Ik ben ervan overtuigd dat we dat, ondanks mijn verminderde aanwezigheid, met jullie inzet verder kunnen ontwikkelen.

Thans wil ik mij gaarne richten tot alle *hoog­leraren en vakgroepen die activiteiten ontplooiën op het gebied van de bodembio­logie of aanverwant terrein aan de Landbouw­universiteit.*

Uw medewerking bij de ontwikkeling van de bodem­

biologie in het onderzoek en onderwijs aan de Landbouwniversiteit is onmisbaar. Van mijn kant zal ik er alles aan doen om het noodzakelijke overleg inhoudelijk, efficiënt en resultaatgericht te doen verlopen en op de best mogelijke wijze met u samen te werken.

Dames en heren studenten,

De bodembioogie vervult een belangrijke functie in de integratie van kennis uit disciplinaire vakgebieden en voegt door vraagstellingen die alleen door synthese kunnen worden opgelost, meerwaarde toe aan die vakgebieden. Daar ligt ook de specifieke functie van het bodembioogisch onderwijs, juist ook op de terreinen waarop ik stimulering van onderzoek heb bepleit. Er is een duidelijke behoefte aan afgestudeerden die tot zelfstandige integratie van vakgebieden in staat zijn. Wanneer daarop wordt aangestuurd in het bodembioogie-onderrwijs zal de functie van bodembioogisten, als het gaat om milieukundige en landbouwkundige vraagstukken stellig aan betekenis winnen.

Meneer de rector, dames en heren,

Aan het eind van mijn betoog gekomen ben ik u alleen nog een verklaring schuldig voor de titel van mijn rede: *Biodynamica van de bodem*. Ik heb met deze titel willen aangeven dat in de manier waarop wij thans de kans hebben het mij toevertrouwde vakgebied gezamenlijk tot ontwikkeling te brengen het zwaartepunt niet valt op de biologie, noch op de bodemkunde, maar op de dynamische wisselwerking tussen biotische en abiotische factoren, die het

functioneren van het bodemoecosysteem bepalen. Toenemend inzicht daarin zal ons steeds beter in staat stellen de belasting van het milieu en de degradatie van de bodem in en buiten de landbouw te verminderen en te voorkomen, een efficiënt gebruik van de bodem te bevorderen en de bodem te beheren als een natuurlijke hulpbron van onschatbare waarde. Daaraan te mogen bijdragen is een uitdaging en een voorrecht.

Ik dank u voor uw aandacht.