

RIVM rapport 607604002 / 2001

BoBI op weg
Tussentijdse evaluatie van het project
Bodembiologische Indicator

A.J. Schouten, M. Rutgers, A.M. Breure

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van het Directoraat Generaal Milieubeheer, afdeling Bodem, Water en Landelijk gebied, in het kader van project 607604, Gezondheid Ecosystemen.

Abstract

The report 'BoBI on the road' gives an interim evaluation of the project: Development of an indicator system for biological soil quality (Dutch acronym BoBI). The project is divided in 9 phases, ranging from concept development, through monitoring towards diagnostic instruments and prognostic response models. The indicator system makes a cross-section through the soil ecosystem, analysing biodiversity and functional groups. Collection of sufficient field data is essential for succeeding. Until the spring of 2001 175 locations were sampled, mainly in agricultural areas. The aim is to collect data on 300 locations in The Netherlands. Besides a description of the proceedings in the project several examples are given of applications and methods to aggregate complex field data in simple indicator values (quality index). The report ends with a discussion and proposals for the integration of ecological soil quality in the national environmental policy.

Voorwoord

Het onderzoek ten behoeve van de ontwikkeling van een bodembiologische indicator (de BoBI) startte in 1999, na een aantal jaren van voorstudies en een pilot in 1997/1998. Het project heeft met de huidige opzet in principe een looptijd van 5 jaar en vergt een behoorlijke investering. Gelet op deze inspanningen, en het voornemen om bij het toekomstige bodembeleid, geformuleerd in het Nationaal Milieubeleidsplan 4 (NMP 4, 2001), meer aandacht aan duurzaam gebruik van de natuurlijke hulpbronnen te geven, heeft de opdrachtgever VROM-DGM-BWL een (tussentijdse) evaluatie gevraagd van het project Bodembiologische Indicator.

In dit rapport wordt eerst een korte toelichting gegeven op de (wetenschappelijke) achtergrond van de BoBI. Vervolgens is een overzicht gemaakt van de stand van zaken en de behaalde resultaten. Tenslotte wordt het indicatorsysteem in het licht van de ontwikkelingen in het bodembeleid geplaatst en worden toekomstige gebruiks-mogelijkheden aangestipt. In de bijlagen zijn additionele overwegingen en achtergrondinformatie toegevoegd.

De ontwikkeling van de BoBI is een multidisciplinaire activiteit die wordt uitgevoerd in een samenwerkingsverband van meerdere instituten. Het maakt tevens deel uit van het LNV-programma 'Agrobiodiversiteit'.

De RIVM-auteurs zijn verantwoordelijk voor de inhoud van dit rapport. Het onderzoek, de gegevensverwerking, en interpretatie van de resultaten waren echter niet mogelijk geweest zonder de bijdrage van onder andere de volgende personen en instellingen:

- Alterra: Jaap Bloem, An Vos, Popko Bolhuis, Meint Veninga, Henk Siepel, Gerard Jagers op Akkerhuis, Wim Dimmers.
- Wageningen UR: Wim Didden, Lijbert Brussaard.
- Bedrijfslaboratorium voor grond en gewasonderzoek : Harm Keidel, Christel Siepman.
- Universiteit van Utrecht: Peter de Ruiter.
- Vrije Universiteit: Nico van Straalen.

Inhoud

Samenvatting 6

1. Inleiding 9

- 1.1 Doelen van de evaluatie 9
- 1.2 Opbouw van de Bodembiologische Indicator 9
- 1.3 Bodembiologie en ecologie in het huidige milieubeleid 10

2. Tussentijdse evaluatie de Bodembiologische Indicator 13

- 2.1 Fasering, resultaten en knelpunten 13
- 2.2 Conclusies 22

3. Antwoorden op de vragen 25

- 3.1 Meetbaarheid van bodembiologische parameters 25
- 3.2 Zeggingskracht en betekenis van bodembiologische parameters voor de regulatiefuncties 26
- 3.3 Afleiding van kwaliteitsdoelstellingen 27
- 3.4 Stuurbaarheid 29

4. Toekomstig bodembeleid en ecologie 31

- 4.1 Stand van zaken 31
- 4.2 Wie hebben belang bij ecologie als onderdeel van het Bodembeleid? 31
- 4.3 Toekomst voor de Bodembiologische Indicator? 32
- 4.4 Aanbevelingen 33

Referenties 35

Bijlage 1: Verzendlijst 37

Bijlage 2: Schema van het Bodembiologische Indicatorsysteem 39

Bijlage 3: Producten: rapporten, publicaties, posters, presentaties gerangschikt per jaar 40

Bijlage 4: Resultaten van BoBI1999 en BoBI2000 42

Bijlage 5: Het ecosysteem; te beschermen object of goed voor nutsfuncties? 44

Bijlage 6: Het ecosysteem; rekenen op onzekerheid. 45

Samenvatting

De ontwikkeling van de Bodembiologische Indicator (BoBI) is ingezet naar aanleiding van de volgende beleidsvraag: is er een instrument (te maken) waarmee milieubeleidsdoelstellingen kunnen worden geformuleerd voor behoud en duurzaam gebruik van biodiversiteit en bodemfuncties?

De oorsprong van deze vraag ligt in het Biodiversiteitsverdrag van Rio de Janeiro en het Strategisch Plan van Aanpak Biodiversiteit. In het nieuwe NMP4 (2001) is de vraag geactualiseerd en verbreed tot 'duurzaam gebruik van natuurlijke hulpbronnen'. Ter ondersteuning van het voorgenomen beleid op dit gebied wordt door het RIVM in samenwerking met andere instituten onderzoek gedaan naar de mogelijkheden voor de ontwikkeling van een bodembiologisch indicatorsysteem. De basis van BoBI is een voedselwebanalyse waarmee een verband gelegd kan worden tussen het aanwezige bodemleven en ecologische functies, zoals de life support functies (zelfreinigend vermogen, regeneratie van voedingsstoffen, bodemstructuurvorming, etc.). Doelstellingen dienen vervolgens tot stand te komen door het kiezen van kwaliteitsdoelstellingen (referentiebeelden) of 'bodemlevendoeltypen'. De huidige situatie in de Nederlandse bodem in het algemeen, of voor specifieke situaties in het bijzonder, kan dan vergeleken worden met een gestelde doel.

De ontwikkeling van de BoBI is een meerjarige activiteit waarin veldbiologische gegevens worden verzameld over de diversiteit (aantallen en samenstelling) van bodemorganismen en het verloop van processen. De veldbiologische metingen zijn gekozen op basis van hun plek in het bodemecosysteem en criteria voor praktische toepassing in een meetnet. Voor de ontwikkeling van BoBI is het onderzoek gekoppeld aan het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB). Het project is gefaseerd in opzet en uitvoering.

Op dit moment (november 2001) is een pilot-project uitgevoerd en zijn er twee volledige meetjaren geweest. In maart 2001 is het meetprogramma stil komen te liggen door de mond- en klauwzeer crisis. In totaal zijn gegevens verzameld op ca. 175 locaties. Deze vormen een steekproef uit vijf categorieën van bodemgebruik, namelijk:

1. tuinbouw en bloembollen (gemengde grondsoort),
2. melkveehouderij (grasland) op zeelei,
3. melkveehouderij (grasland) op zandgrond,
4. natuur (bossen) op zand, en
5. akkerbouw op zand.

Tevens zijn series potentiële referentielocaties bij het onderzoek betrokken (bijvoorbeeld biologische veeteeltbedrijven, biologische akkerbouw, vervuilde locaties, etc.) die buiten het reguliere meetnet van het LMB vallen.

De tussentijdse resultaten laten zien dat er voor veel indicatorgroepen een waarneembaar effect is van een toename van de gebruiksintensiteit, meestal in de zin van een afname in aantal of diversiteit. Deze gegevens zijn inmiddels ook bruikbaar voor een bijdrage aan de Natuurbalans en -verkenningen.

De veldbiologische gegevens uit BoBI worden op twee manieren toegepast. In de eerste plaats wordt een beeld gemaakt van de huidige biologische toestand van de bodem ('diagnose'), door gegevens van een bepaalde groep locaties te vergelijken met potentiële kwaliteitsdoelstellingen voor het betreffende bodemgebruik. Dit kan overzichtelijk worden weergegeven in een zgn. AMOEBE-presentatie, of een Bodemkwaliteitsindex.

Ten tweede wordt het, met het gestaag groeien van het gegevensbestand, mogelijk om een zogenaamd 'prognostisch' instrument te maken met behulp van zgn. habitat-respons relaties. Wanneer eenmaal bekend is hoe een indicatorgroep reageert op milieufactoren zoals

zuurgraad, organische stofgehalte en lutumfractie van de bodem, zijn de effecten van veranderingen hierin te voorspellen. Deze gegevens zijn geschikt als basis voor toepassingen zoals landelijke beelden van diversiteit en het behoud van functies, en een model waarmee scenario's kunnen worden doorgerekend.

De diagnostische en prognostische instrumenten vereisen een bodembiologische inventarisatie van voldoende omvang, kwaliteitsdoelstellingen en rekeninstrumenten. De mogelijkheden zijn onderzocht in pilots en voorbeeldstudies. Verwacht wordt dat met het huidige (jaarlijkse) budget en onderzoekscapaciteit nog drie jaren nodig zijn om de benodigde gegevens te verzamelen voor agrarische bodemgebruik. Voor natuur dienen aanvullende onderzoeksinspanningen gepleegd te worden. In het stedelijk gebied (stadsparken en groenstroken) wordt momenteel nog geen gegevens verzameld. Voor agrarisch bodemgebruik kan binnenkort een 'rekenplatform' worden gemaakt. In de tussentijd zijn de resultaten van veldonderzoek bruikbaar om stapsgewijs een beeld van de biologische bodemkwaliteit in Nederland te krijgen.

De BoBI is een ondersteunend instrument bij ontwikkeling van het bodembeleid voor duurzaam gebruik van natuurlijke hulpbronnen, c.f. Bodem en Ecologie. Op basis van de aandachtspunten in het Nationaal Milieubeleidsplan 4 (NMP4 2001), een recent TCB advies (TCB, 2000), en overleg tussen VROM, TCB en RIVM wordt in de discussie van dit rapport aangegeven wat de positie is van de Bodembiologische Indicator en hoe deze in de toekomst kan bijdragen aan het geïntegreerde bodembeleid.

1. Inleiding

1.1 Doelen van de evaluatie

De opdrachtgever DGM-VROM-BWL heeft aangegeven dat tussentijdse evaluatie van de Bodembioologische Indicator nodig is, omdat het zowel qua tijdsduur als qua kosten een omvangrijke investering betreft en er momenteel aandacht bestaat voor het duurzaam gebruik van natuurlijke hulpbronnen, zoals diversiteit van het bodemleven (zie: NMP4, 2001). In dit rapport wordt daarom op de volgende vragen ingegaan:

1. zijn bodembioologische parameters meetbaar en zinvol voor de beschrijving van het bodemecosysteem?
2. wat is de zeggingskracht en de betekenis van bodembioologische parameters als indicator voor duurzaam gebruik van de regulatiefuncties (één van de natuurlijke hulpbronnen van de bodem), en hoe zijn regulatiefuncties gekoppeld aan de nutsfuncties van het ecosysteem?
3. Hoe kunnen kwaliteitsdoelstellingen voor het duurzaam gebruik van bodemecosystemen afgeleid worden?
4. zijn bodembioologische parameters stuurbaar in het bodembeleid?

Na een beschrijving van de voortgang en de resultaten van de BoBI, zal op de beantwoording van deze vragen worden ingegaan in hoofdstuk 3.

1.2 Opbouw de Bodembioologische Indicator

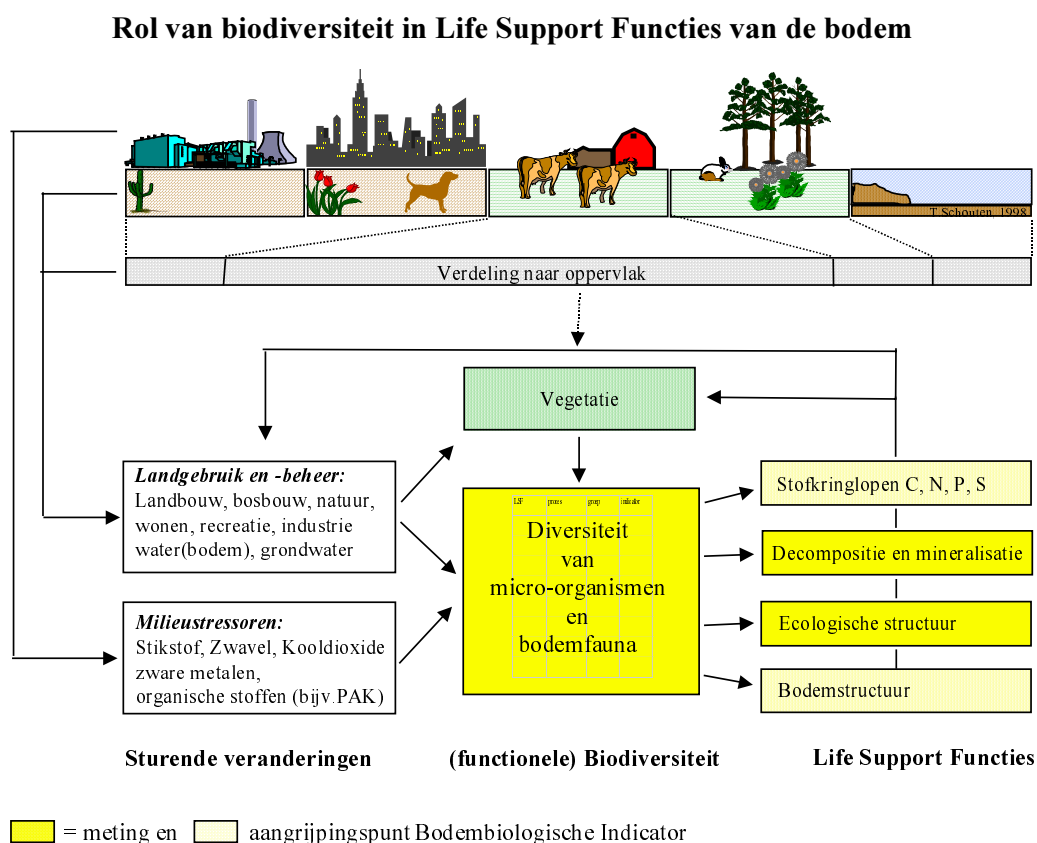
De ontwikkeling van de Bodembioologische Indicator (BoBI) heeft tot doel een meetmethode op te zetten om de biologische bodemkwaliteit in beeld te brengen en te kwantificeren. Dit gebeurt in termen van biodiversiteit en ecologische functies. De opzet van het meetsysteem en de graadmeters vertonen veel overeenkomst met de graadmeters en prognose-instrumenten die in het milieu- en natuurbeleid worden gebruikt. In vergelijking met de aquatische en terrestrische ecologie is bodemecologie is een relatief jonge discipline. Hierdoor zijn nauwelijks historische gegevens, bioindicatie-methoden en natuurwaarderingssystemen beschikbaar. Desondanks lijkt het mogelijk om binnen afzienbare tijd een operationeel systeem op te zetten (Schouten et al., 1997). Er is gekozen voor een stapsgewijze benadering waarin de volgende fasering te onderscheiden is:

1. Ontwerp, en theoretische onderbouwing van een indicatorsysteem (1995-1996)
2. Het verkrijgen van wetenschappelijk en beleidsmatig draagvlak (vanaf 1995)
3. Pilot study om meetbaarheid en onderscheidend vermogen van de indicatoren aan te tonen (1997-1998)
4. Optimaliseren van de indicatorset om deze toe te kunnen passen in een milieumeetnet (1998)
5. Keuze van meetlocaties, inclusief potentiële referenties (vanaf 1999)
6. Verzamelen van ecologische basisgegevens over de Nederlandse Bodem en de potentiële referenties (vanaf 1999)
7. Opzetten van een database voor de opslag van gegevens, genereren van toepassingen (bijv. Milieubalans of Natuurbalans), en het afleiden van habitat-respons relaties (vanaf 2000)
8. Bouw van een beslissingsondersteunend systeem voor de evaluatie van beleidscenario's (vanaf 2000)
9. Verdieping, methodische onderbouwing en trends in de tijd (eenmalig 2001 verder vanaf 2003).

De bovengenoemde fasen zijn verschillend van omvang voor wat betreft de tijd die nodig is om ze uit te werken. Bovendien overlappen ze elkaar gedeeltelijk. Het project bevindt zich momenteel bijna halverwege fase 6. In hoofdstuk 2 wordt per fase een korte evaluatie gemaakt.

1.3 Bodembioecologie en ecologie in het huidige milieubeleid

Behoud van functionele aspecten van biodiversiteit is één van de thema's in het milieubeleid. Het duurzaam gebruik van natuurlijke hulpbronnen valt hieronder. Het beleid bevindt zich nog in een verkennende fase, waarin probleemsigalering en instrumentariumontwikkeling de aandacht hebben. Op dit ogenblik ontbreken de kaders, de kennis en de instrumenten om beleid te formuleren, te concretiseren, en uit te voeren (zie bijv: TCB, 2000). Hoofddoelstelling voor het beleid is het instandhouden van het draagvermogen van de bodem ten behoeve van een duurzame ontwikkeling. Het draagvermogen wordt aangetast als de kwaliteit zodanig is dat deze (binnen een generatie) kan leiden tot onomkeerbare effecten, zoals bijvoorbeeld het uitsterven van soorten planten en dieren. Het huidige milieubeleid richt zich niet meer zozeer op de afzonderlijke effecten van milieudruk-factoren (de 'ver-thema's'), maar kiest een integrale benadering waarin gestuurd wordt op de resultante van maatschappelijke activiteiten.



Figuur 1: Schematische voorstelling van de plaats van de Bodembioecologische Indicator als graadmeter voor effecten van ruimtegebruik en milieudruk op bodemecologie en -functies

Het RIVM en Alterra voeren in opdracht van VROM en LNV projecten uit om de lacunes in kennis ten behoeve van beleidstoepassingen aangaande biodiversiteit en life support functies

(LSF) te ondervangen. Eén van deze projecten heeft als doel een bodembiologische indicator (BoBI) te ontwikkelen als instrument voor de beoordeling van de biologische bodemkwaliteit. Met de BoBI dienen vragen te kunnen worden beantwoord zoals: ‘welke (combinatie van) factoren beïnvloeden het bodemleven dermate negatief, dat het verloop van de ecologische processen irreversibel wordt aangetast, dan wel dat herstel zeer moeilijk wordt’. Figuur 1 geeft de context van BoBI aan binnen de problematiek van ruimtegebruik, milieudruk en behoud van ecologische functies.

In het voorliggende evaluatierapport wordt de opzet van dit indicatorsysteem uiteengezet en de tot op heden behaalde resultaten gepresenteerd. Vervolgens wordt de BoBI tegen het licht gehouden van de recente ontwikkelingen en gedachtenvorming over het toekomstige bodembeleid.

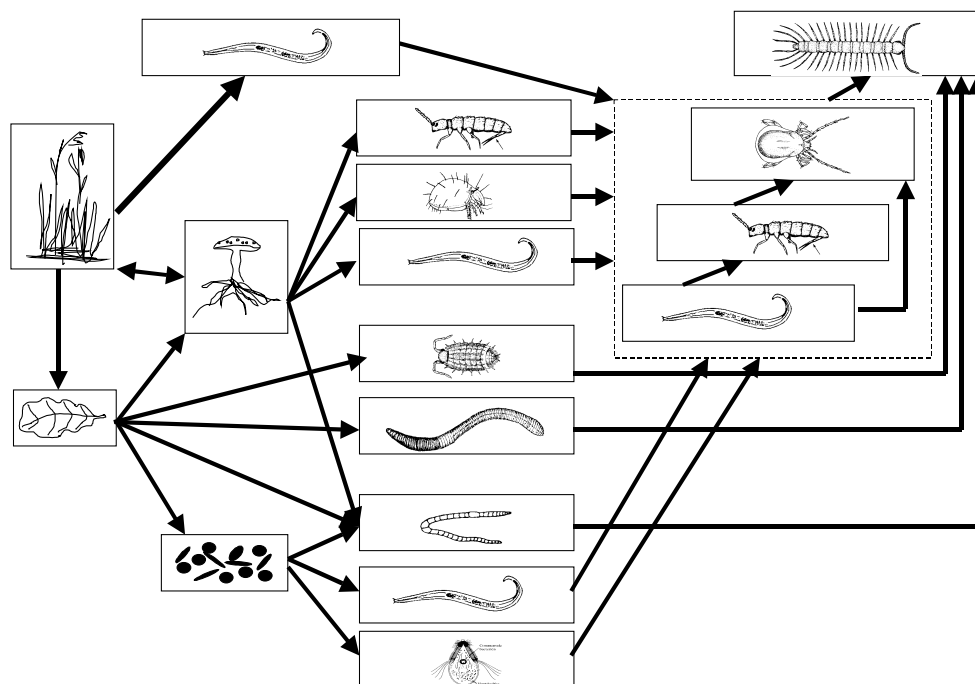
2. Tussentijdse evaluatie de Bodembioologische Indicator

2.1 Fasering, resultaten en knelpunten

In dit hoofdstuk, wordt aan de hand van de fasering in het project (zie 1.2) een overzicht gegeven van het uitgevoerde onderzoek ten behoeve van de ontwikkeling van de Bodembioologische Indicator (BoBI). Waar mogelijk wordt gerefereerd aan eerdere rapportages of publicaties, om de evaluatie zo compact mogelijk te houden. De resultaten van indicatorwaarden, gemeten in de laatste twee jaren, zijn nog niet gepubliceerd en deels nog in bewerking. Ze zijn in dit rapport kort samengevat en in voorlopige vorm opgenomen in de beschrijving van fase 6.

Fase 1: Ontwerp en theoretische onderbouwing van een bodemecologisch indicatorsysteem

Begin 1995 werden de eerste stappen gezet naar de ontwikkeling van een set biologische parameters die in een bodemmeetnet zouden kunnen worden gebruikt. Hiervoor werd een workshop georganiseerd met een groep deskundigen op het gebied van biomonitoring en biologische databases (Schouten et al., 1995). Het streven was om deze informatie op te nemen in de Milieubalans en Milieuverkenning. Een goed conceptueel kader ontbrak echter nog. Dit kader ontstond op een workshop die door het adviesbureau VISTA werd georganiseerd. Deze voerde voor DGM een studie uit naar de mogelijkheden om biodiversiteitsdoelstellingen buiten beschermde gebieden te formuleren (VISTA, 1996). De gekozen invalshoek, namelijk het belang van de functionele aspecten van biodiversiteit, leidde tot het idee om structuur (diversiteit) van bodemecosystemen via een voedselwebmodel te koppelen aan functies. Tevens werd het idee geopperd om een graadmeter te maken analoog aan de AMOEBE-methode die in het water- en natuurbeleid worden gebruikt. Deze ideeën werden in 1996 verder uitgewerkt tot een Bodembioologische Indicatorsysteem voor Life Support Functies van de Bodem (Schouten et al., 1997). Hierin wordt een praktische invulling gegeven aan een bodembioologische meetnet, in de vorm van indicatoren voor processen, beschrijving van meetmethoden en een kostenraming. Het meetsysteem werd gebaseerd op de voedselwebstructuur in de bodem. Het voedselweb werd geschematiseerd tot functionele compartimenten (zie figuur 2), met daarin bacterieën, schimmels en bodemdieren (nematoden, pot- en regenwormen, springstaarten en mijten). Met behulp van een voedselwebmodel zijn aantallen organismen en biomassa om te rekenen naar koolstof- en stikstofstromen (ofwel decompositie en mineralisatie). In het indicatorsysteem worden veldinventarisaties gemaakt en metingen gedaan aan de belangrijkste functionele groepen in de bodem. Hierbij vergelijkt men waarden van dezelfde indicatorgroep tussen locaties, of met een referentiewaarde. Op deze wijze kan een kwaliteitsbeoordeling worden gemaakt en ontstaat een flexibele structuur, waar desgewenst andere indicatorgroepen aan toe te voegen zijn. Een schema van het indicatorsysteem is opgenomen in de bijlagen.



Figuur 2: schematische weergave van een bodemvoedselweb (overgenomen van R. de Goede, WUR-Bodemkwaliteit)

Fase 2: Wetenschappelijk en beleidsmatig draagvlak

Het verkrijgen van een draagvlak voor de BoBI begon in feite reeds tijdens fase 1. Het concept van de BoBI werd opgesteld door een ad hoc groep van Nederlandse bodembiologen uit verschillende instituten, waardoor impliciet ook draagvlak werd gecreëerd. Daarnaast is het systeem onder de aandacht gebracht op verschillende (inter)nationale symposia, door voordrachten en posterpresentaties (zie ook bijlage 3). Hierdoor zijn ook contacten gelegd met buitenlandse wetenschappers die met soortgelijk onderzoek bezig zijn. In Duitsland en het Verenigd Koninkrijk vinden momenteel vergelijkbare ontwikkelingen plaats, echter meer gericht op het opstellen van een ecologische bodemtypologie. Bij de EU een projectvoorstel aangeboden onder de naam Ecoclasses.

Tevens is er gewerkt aan het verkrijgen van draagvlak binnen het RIVM. Een voorstel voor de positionering van de BoBI is beschreven in een intern rapport (Hinsberg et al., 1999). Binnen de kringen van milieu- en natuurbeleid is gewerkt aan draagvlak door tijdens fase 3 (de pilot) verschillende vertegenwoordigers van VROM en LNV de begeleidingscommissie van het project op te nemen. Dit zet zich momenteel in breder kader voort in discussiegroepen die zich buigen over de toekomstige rol van ecologie in het bodembeleid naar aanleiding van een recent TCB advies (TCB, 2000) en het NMP4 (2001). Het doel is een heldere formulering van beleidsdoelstellingen te krijgen voor ecologische bodemkwaliteit, op een dusdanige wijze dat het milieu- en natuurplanbureau gradometers hiervan kunnen opnemen. De BoBI kan hier een onderdeel van zijn. Verbreding van het draagvlak blijft een doorlopende activiteit.

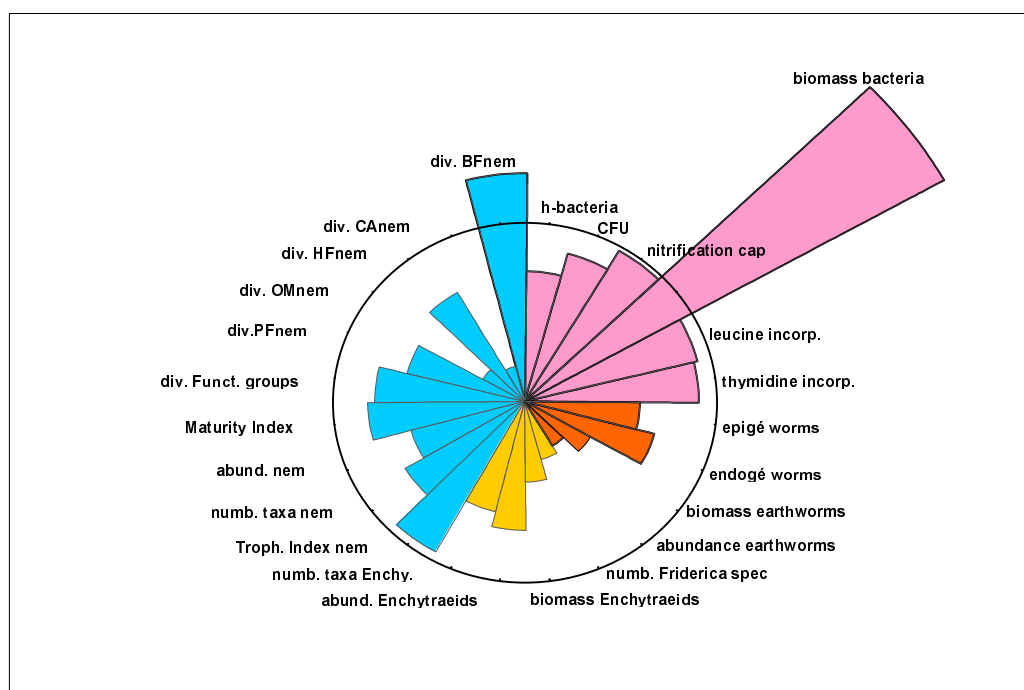
Fase 3: Pilotstudie

In 1997 gaf VROM-DGM opdracht om een pilotstudie uit te voeren waarin het concept van de BoBI in de praktijk kon worden getoetst. Dit onderzoek vond plaats in 1997 en 1998. De resultaten zijn gerapporteerd (Schouten et al., 1999; Schouten et al., 2000).

Om budgettaire redenen moest een keuze worden gemaakt tussen het aantal locaties en de hoeveelheid te meten indicatoren. Het accent is gelegd bij het verkrijgen van een beeld van de ruimtelijke variatie (zoveel mogelijk locaties) met een deel van de indicatoren. De voedselwebanalyse en modellering is slechts op twee locaties uitprobeerde.

In 1997 zijn 42 locaties onderzocht. Hiervan waren 37 onderdeel van het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB). De LMB-locaties vielen in de categorieën ‘graslanden op zeelei’ en ‘tuinbouw + bloembollen’. Daarnaast zijn referenties (uitersten) gezocht in de vorm van verontreinigde locaties en biologische bedrijven.

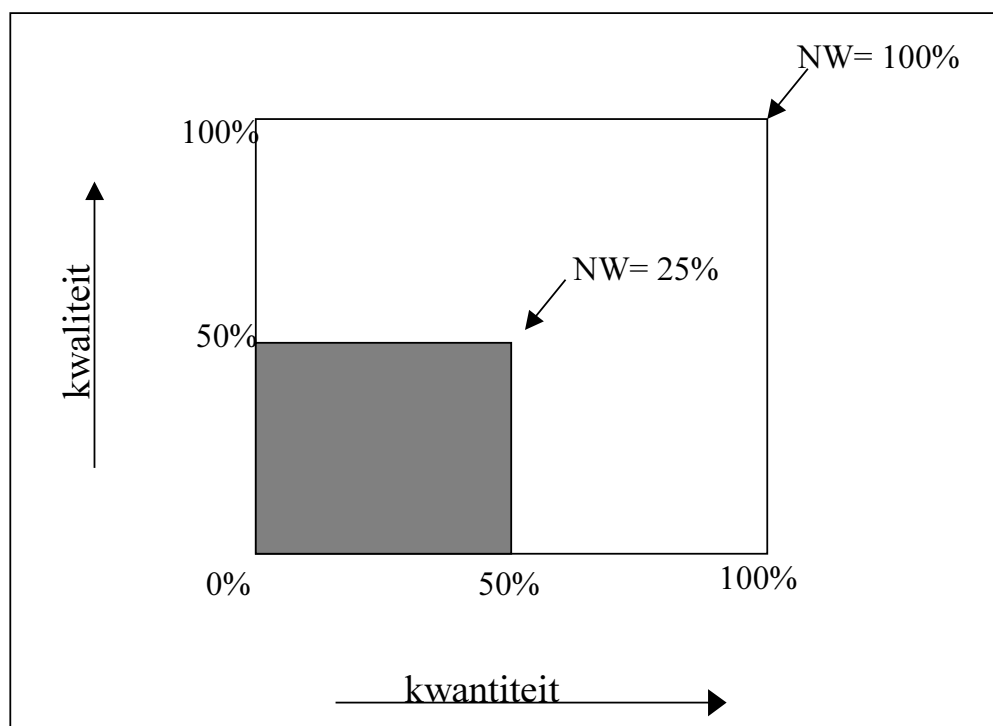
De meeste indicatoren bleken significante verschillen te vertonen tussen de twee bodemtypen c.q. bodemgebruikscategorieën. Het aantal referentielocaties was te klein en te divers om duidelijke verschillen aan te tonen. Als voorbeeld voor een mogelijke ecologische bodemkwaliteitsbeoordeling is een z.g. AMOEBE (figuur 3) en een kwaliteitsindex gemaakt voor de graslanden op zeelei.



Figuur 3: AMOEBE van graslanden op zeelei, uit de BoBI-pilot van 1997. De cirkel is de (gekozen) referentie (= 100%). De indicatorwaarden van 20 bedrijven uit het LMB zijn naar de gekozen referentie geschaald. De meeste vallen binnen de cirkel, d.w.z. zijn lager dan de referentie. Indicatoren op basis van verschillende groepen zijn door kleuren onderscheiden: roze= microbiologisch; oranje= regenwormen; geel= potwormen; blauw= nematoden. Bodemkwaliteitsindex (BKI)= 0.59

De Bodemkwaliteitsindex sluit conceptueel aan bij de Natuurwaarde Index (NWI; Ten Brink, 2000; Ten Brink et al., 2001). In de NWI wordt de bodemkwaliteit vermenigvuldigd met het oppervlak waarvoor dit geldt (zie figuur 4). Beide grootheden worden uitgedrukt als fractie van een gekozen referentie. De NWI van gebieden is eventueel te sommeren tot een landelijk beeld.

Op basis van de ervaringen met de pilot werd besloten om vanaf 1999 van start te gaan met de aangepaste BoBI in de tweede 5-jaren-cyclus van het LMB.



Figuur 4: Schematische voorstelling van de graadmeter Ecologisch Kapitaal (Natuurwaarde). De graadmeter is een product van kwaliteit en areaal. Wanneer zowel de omvang als de kwaliteit van een ecosysteem gereduceerd worden met de helft, blijft 25% van de oorspronkelijke Natuurwaarde intact (naar Ten Brink, 2000).

Fase 4: Optimaliseren van de indicatorset

Aan de hand van de ervaringen uit de pilot werden twee directe proces-metingen (C- en N-mineralisatie) opgenomen in de BoBI. Tevens werden metingen aan mijten en springstaarten opgenomen in het programma, in tegenstelling tot de selectie die tijdens de pilot gemaakt werd. Vooral bodemmijten vormen een diverse groep waar binnen meerdere functionele eenheden te onderscheiden zijn. Complete voedselweb analyses worden niet op grote schaal uitgevoerd vanwege de kosten en de benodigde onderzoekscapaciteit.

Optimalisering in financiële zin heeft plaatsgevonden door de biologische metingen uit te voeren op de locaties van het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB). Hierbij kan gebruik gemaakt worden van de bestaande infrastructuur, de mengmonsters die reeds op de locaties worden verzameld, en de chemische analyses voor het LMB.

Het onderzoek maakt via de samenwerking met Alterra tevens deel uit van het LNV-programma Agrobiodiversiteit. De bijdrage van Alterra wordt hierdoor voor 50% als 'eigen onderzoek' gefinancierd.

In de pilot zijn de metingen aan regen- en potwormen uitgevoerd bij de sectie Bodemkwaliteit van Wageningen UR. Deze taak werd in 1999 overgenomen door Blgg, dat beter toegerust is op het routinematig verwerken van grote series monsters. Wageningen UR blijft betrokken bij de inhoudelijke begeleiding en uitwerking van de resultaten.

Fase 5: Keuze van meetlocaties en potentiële referenties

De oorspronkelijke opdracht voor de ontwikkeling van BoBI was er op gericht om te komen tot diversiteitsdoelstellingen voor landbodems buiten de Ecologisch Hoofdstructuur (EHS). Hierdoor lag integratie met het LMB voor de hand. Het LMB richt zich op het landelijk gebied met proportionele dekking van de (dominante) bodemgebruiksvormen. De meetpunten zijn in te delen naar 10 categorieën van bodemtype en bodemgebruikscombinaties. Hieronder zijn ze op een rij gezet, met tussen haakjes het (beoogde) monsterjaar:

- 1) Graslanden op zandgrond, veehouderij extensief (1999)
- 2) Graslanden op zandgrond, veehouderij intensief (1999)
- 3) Graslanden op zandgrond, veehouderij intensief + varkens (2000)
- 4) Boslocaties op zandgrond (2000)
- 5) Akkerbouwbedrijven op zandgrond (2001)
- 6) Graslanden op veen (2001)
- 7) Akkerbouw op zeeklei (2002)
- 8) Graslanden op rivierklei (2002)
- 9) Graslanden op zeeklei (2003)
- 10) Vollegrondstuinbouw- en bloembollenbedrijven (gemengde grondsoort); 2003

De ligging van de 200 locaties is weergegeven in figuur 5.

Bemonsteringslocaties LMB

Figuur 5: Ligging van ca. 200 LMB-locaties in Nederland

Er bestaan nog geen (of slechts algemene) ecologische doelen voor gebieden buiten de EHS, in termen van vegetatie of landschap. De keuze van ecologische kwaliteitsdoelstellingen voor bodems is bovendien lastig door het ontbreken van bruikbare historische gegevens. Het bodemecologische streefbeeld moet daarom vastgesteld worden als onderdeel van het meetprogramma, en is afhankelijk van de (beleidsmatige) invalshoek of de bestemming van een gebied.

Bij natuurontwikkeling zijn natuurdoeltypen gedefinieerd als referentie voor de beoordeling en inrichting van gebieden. Analoot aan deze werkwijze zouden waarden van bodembioologische indicatoren in dergelijke gebieden kunnen worden bepaald. Het is echter de vraag of het reëel is dat bijvoorbeeld agrarisch grondgebruik wordt vergeleken met een natuurgebied. Ongetwijfeld zal een verschil vast te stellen zijn, maar wat is de waarde van een dergelijke beoordeling? De situatie ligt anders voor agrarische gronden die uit productie zullen worden genomen, en de bestemming natuur krijgen.

Tijdens de pilot (fase 3) werd besloten om in eerste instantie aan te haken bij het beleidsvoornemen te streven naar duurzame vormen van landbouw en vergroting van het areaal met biologische landbouw tot 10% (Platteland-ontwikkelingsprogramma 2000-2006). Vanaf 1999 is daarom gestreefd naar minimaal 10 biologische bedrijven als referentielocaties, naast de 40 die in het landelijk meetnet onderzocht worden. Voor de beoordeling van een gebied zouden meerdere varianten van referenties beschikbaar moeten zijn. Referenties in natuurgebieden moeten aanvullend of aansluitend op het lopende onderzoek worden verzameld. Dit is te realiseren door extra inspanningen binnen het project, of in aansluitende projecten vanaf 2003 waarin verdieping en uitbreiding kan plaatsvinden.

Fase 6: Verzamelen van bodembioologische basisgegevens en potentiële referentiegegevens.

In 1999 werd begonnen met een min of meer landsdekkend meetprogramma, gekoppeld aan de tweede ronde van het LMB (200 locaties) en aangevuld met 100 potentiële referentielocaties. De volgorde komt overeen met het overzicht in de vorige paragraaf.

Als eerste werden in 1999 twee categorieën graslanden op zand bemonsterd (40 locaties). In samenwerking met het Louis Bolk Instituut werden tevens acht biologische veeteeltbedrijven gekozen. Vijf hiervan maken ook deel uit van het BIOVEEM-project. Tevens werd gebruik gemaakt van twee bedrijven uit het bestand van het RIVM-Mestmeetnet

In het jaar 2000 onderzocht het LMB een derde categorie van melkveehouderijbedrijven op zandgrond. In overleg met de opdrachtgever is besloten om wat specifieker te kijken op proefboerderijen die deelnemen aan voorbeeldprojecten in het kader van de nieuwe MINAS-normering. Hierbij is de keuze gevallen op vijf bedrijven uit het Koeien & Kansen project, drie bedrijven uit de groep van FIR-boeren, en twee bedrijven uit de VEL/VANLA coöperatie.

De resultaten uit 1999 en 2000 zijn samengevat in bijlage 3. Voor de overzichtelijkheid is slechts een deel van de (mogelijke) indicatoren opgenomen. In het kader van deze tussentijdse evaluatie wordt alleen op een aantal hoofdlijnen in de resultaten gewezen. De gegevens zullen in detail beschreven worden in de achtergrondrapportages over de verschillende meetjaren. Binnen de graslanden op zand bestaat er een gradiënt in gebruiksdruk door veebezetting. Naast de biologische bedrijven zijn er extensieve (reguliere) bedrijven, intensieve en intensief⁺ bedrijven (volgens LMB/LEI-indeling). Dit maakt het extra interessant om de verschillen in indicatorwaarden tussen categorieën te vergelijken. Het geeft tevens een beeld van de gevoeligheid van het systeem, anders dan de heel verschillende gronden die tijdens de pilot zijn onderzocht.

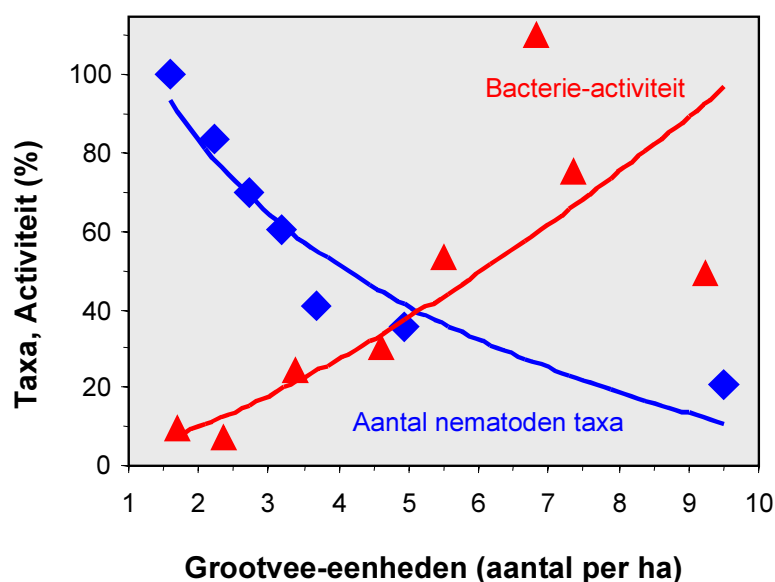
De ontwikkeling van streefbeelden (referenties) door bemonstering van locaties buiten het LMB is onderschat. Er is een aanzienlijke onderzoeksinspanning mee gemoeid. Ook binnen een set 'homogene' referentielocaties bestaat een zekere variatie of bandbreedte van

indicatorwaarden; mogelijk is deze zelfs breder dan voor het relatief homogene bodemgebruik bij de intensieve landbouw en veeveelt in Nederland.

De resultaten uit het meetprogramma van 1999 en 2000 zijn verder bewerkt voor het Natuurcompendium 2001. Er is een voorbeeld uitgewerkt van effecten van milieudruk (gebruiksintensiteit) op biodiversiteit en processen in de bodem. Hiervoor zijn kleinere klassen van veebezetting gekozen. Dit is gedaan om de overlap die tussen de categorieën bestaat te voorkomen. De spreiding in Groot Vee Eenheden per ha. was in de oorspronkelijke dataset als volgt: biologische bedrijven 1 - 2,7 GVE; extensief 1 - 4,7; intensief 1,9 - 8,1; intensief+ 1,7 - 15. Deze overlap is ontstaan door inconsistentie tussen het boekjaar waarop de indeling door het LEI is gebaseerd en de bedrijfsgegevens die op het moment van monsternamen verzameld zijn. De dataset bevatte 65 waarnemingen. Er is afgestapt van de oorspronkelijke categorie-indeling en verder gerekend met gemiddelde waarden van GVE's per nieuwe klasse. Hierdoor werd een regressiebenadering mogelijk. De gekozen breedte van de klassen is afhankelijk gemaakt van het beschikbare aantal gegevens. Bijvoorbeeld: het aantal waarnemingen met GVE >5 was laag. Voor het berekenen van gemiddelden zijn daardoor bedrijven uit een bredere range genomen (zie figuur 6).

Vervolgens is het verband met de diversiteit aan nematodentaxa en bacterie-activiteit in beeld gebracht (zie figuur 6). De gemiddelde waarden van de bodemkwaliteitsindex (een geïntegreerde indicator) waren 0.80, 0.73 en 0.69, voor respectievelijk, extensieve, intensieve en intensief-plus veehouderij, wanneer de indicatorwaarden van biologische bedrijven op 1 (100%) worden gesteld.

Nematoden biodiversiteit en bacterie-activiteit



Figuur 6: Verband tussen veebezetting (melkveehouderijbedrijven op zandgrond), diversiteit van de nematodenfauna en bacteriële activiteit.

Eind februari 2001 startte het derde BoBI-meetjaar met monsternamen op de LMB-akkerbouwbedrijven. Deze categorie wordt heel vroeg in het jaar bemonsterd omdat kort daarop bemesting, grondbewerking en inzaai van gewassen plaats vindt. De aanvullende locaties werden opnieuw in overleg met het Louis Bolk Instituut en het DLO instituut Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (voormalig PAV-Lelystad) geselecteerd. De 20 LMB-

locaties zijn nog juist bemonsterd voordat de MKZ-crisis ernstige vormen begon aan te nemen. Van de referentielocaties konden er echter niet meer dan vier worden bezocht. Na de afloop van de MKZ-crisis was het te laat in het seizoen om het veldwerk voort te zetten. De beste oplossing lijkt deze serie in het voorjaar van 2002 te over doen. De graslanden op veen zijn komen te vervallen. De MKZ-crisis veroorzaakt mogelijk een uitloop van het project of een extra inhaalslag in het tweede deel van de looptijd.

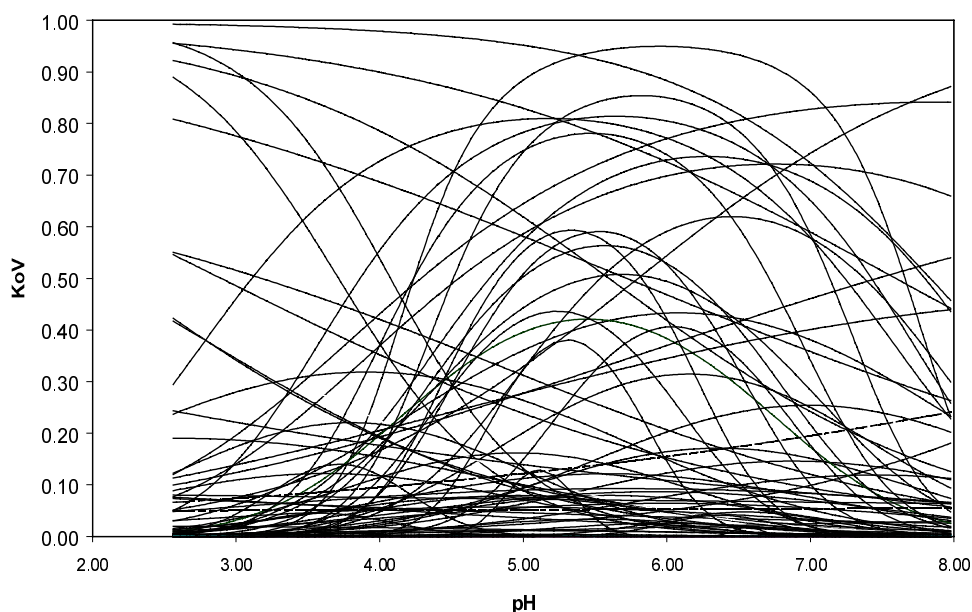
Fase 7: Database voor de opslag van gegevens en het afleiden van habitat-respons relaties.

Deze fase moet nog van start gaan. Tot op heden worden de aangeleverde bestanden (meestal Excel-spreadsheets) met gegevens overzichtelijk opgeslagen en voor tussentijdse bewerkingen en rapportages gebruikt. Het totaal wordt te omvangrijk voor een spreadsheet. De resultaten kunnen daarom beter in een database programma worden opgeslagen. De bouw van een database, met opslag en beheer van de gegevens is een tamelijk omvangrijke activiteit. Het is daarom ondergebracht in een apart deelproject. Samenvoeging van meetgegevens uit verschillende jaren is een noodzakelijke voorbereiding voordat habitat-respons relaties kunnen worden berekend.

Habitat-respons relaties vormen de basis voor een prognostisch instrument. De methode is ontwikkeld voor, en toegepast op, gegevens over het voorkomen van plantengemeenschappen (MOVE-model; sensu De Heer et al., 2000). Het principe is als volgt: veldopnames over het voorkomen van soorten en abiotische standplaatsfactoren worden met statistische technieken gekoppeld tot een respons-model. Hiervoor moeten veel combinaties van abiotische omstandigheden aanwezig zijn.

Van enkele groepen bodemorganismen zijn er inmiddels voldoende gegevens om habitat-respons-relaties te berekenen. Eén daarvan is de groep van nematoden. De database is gebruikt om de mogelijkheden van responsmodellering te onderzoeken. Hieronder volgt een voorbeeld om dit te illustreren.

Uit de dataset van 377 locaties en 203 soorten (inclusief de gegevens uit de pilot) zijn 133 significante responsmodellen afgeleid met één of meer bodemeigenschappen. Figuur 7 geeft een indruk van responscurven die verkregen worden voor 87 soorten en bodem-pH.



Figuur 7: Kans op voorkomen (KoV) van 87 nematodentaxa in relatie tot de pH van de bodem. Gegevens gebaseerd op 377 opnames met 203 soorten uit de NEMABASE.

In figuur 7 is te zien dat er soorten zijn met een optimum, een afnemende, of een toenemende kans op voorkomen met het stijgen van de bodem-pH. Daarnaast zijn er indifferente soorten. Soorten met een smalle optimumcurve zijn in principe goed bruikbaar als biologische indicator. Bij de onderzochte nematodensoorten is er dus een duidelijke ecologische differentiatie ten opzichte van de abiotische omstandigheden (in figuur 7 weergegeven voor pH) in het milieu.

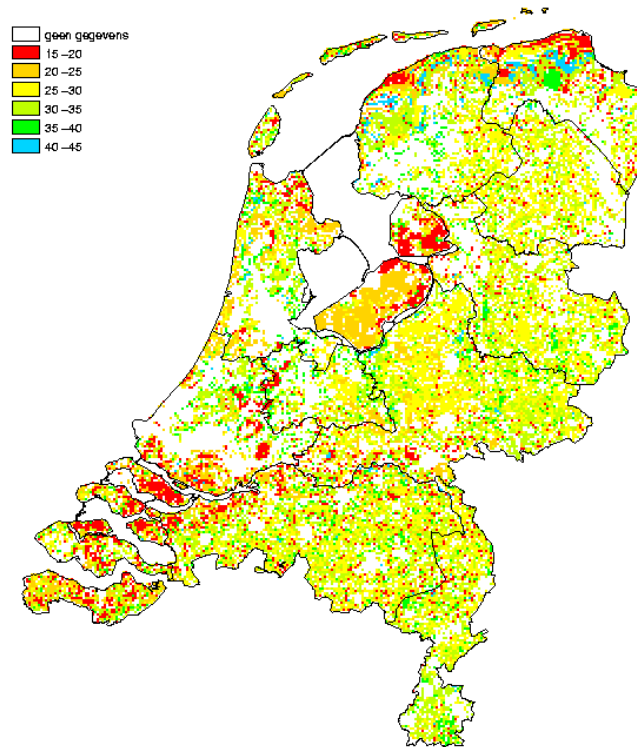
Vooraf is niet exact aan te geven hoeveel bemonsteringen nodig zijn voordat bruikbare habitat-responsmodellen kunnen worden afgeleid. Dit varieert per dier- of plantengroep en hangt mede af van de abiotische gradiënt die in de gegevens aanwezig is. Proefondervindelijk is vastgesteld dat 300 tot 400 nematodenopnames in diverse habitats reeds tot een flink aantal (60-70) significante responsmodellen kan leiden. Er wordt van uitgegaan dat hetzelfde ook voor andere soortenrijke groepen van bodemorganismen zal gelden. De benodigde verspreidingsgegevens van andere indicatoren worden momenteel in het BoBI-meetprogramma verzameld. Na 5 jaar zouden ook de datasets voor micro-organismen, potwormen, wormen, springstaarten en mijten voldoende omvang gekregen moeten hebben om habitat-responsrelaties af te leiden.

Fase 8: Bouw van een beslissingsondersteunend systeem voor de evaluatie van beleidscenario's

Een verzameling regressievergelijkingen (zie figuur 7) vormt nog geen makkelijk toegankelijk rekensysteem. Analoog aan de Natuurplanner (Latour et al., 1997) kan een beslissingsondersteunend systeem gebouwd worden voor de ecologische bodemkwaliteit. Hiermee kan bijvoorbeeld output geleverd worden in de vorm van kaartbeelden zoals weergegeven in figuur 8.

Een tweede toekomstige ontwikkeling is die van het 'dynamische voedselwebmodel'. In het kort komt het er op neer dat het huidige voedselwebmodel voorzien wordt van aangrijpingspunten voor milieuscenario's. Door een koppeling tot stand te brengen tussen de habitat-responsmodellen en het voedselwebmodel is een effectketen te maken. Scenario's resulteren in abiotische veranderingen welke via responsrelaties omgezet worden in effecten op biodiversiteit van functionele groepen. Deze beïnvloeden de snelheid van mineralisatieprocessen in de bodem.

Aantal nematodengenera
voorspeld op basis van bodemeigenschappen



Figuur 8: Kaart van de potentiële diversiteit van nematodengenera op basis van de waarden van abiotische factoren in de bodemkaart van Nederland en responsrelaties hiervoor.

2.2 Conclusies

In deze paragraaf worden ‘bullet-gewijs’ uit het voorgaande conclusies getrokken m.b.t. het vervolg, de knelpunten en noodzakelijke bijsturing van de projectuitvoering.

- De ontwikkeling van de Bodembioologische indicator (BoBI) is afhankelijk van het verzamelen van ecologische basisgegevens over de Nederlandse bodem. Op basis hiervan en de keuze van kwaliteitsdoelstellingen is de biologische kwaliteit voor een aantal bodemgebruiksvormen vast te stellen (AMOEBE/BKX). Hierbij zijn de indicatorwaarden voor potentiële referenties het meest kritiek. Enerzijds is er nog geen duidelijke beleidsmatige keuze voor kwaliteitsdoelstellingen, anderzijds is het budget niet toerijkend om voldoende referentiesystemen te onderzoeken. Een mogelijke financieringsbron zijn de ‘intensiveringsgelden voor monitoring’. Hier uit is de afgelopen jaren 100 kf bijgedragen. Verhoging van het aanvullende bedrag tot 250 à 300 kf is nodig om alle noodzakelijke aspecten van het BoBI-project uit te kunnen voeren.
- In de huidige opzet en met de financiële ruimte kan jaarlijks één beperkte set van potentiële referentielocaties (10 stuks) worden onderzocht. Dit zouden er eigenlijk 40 moeten zijn. Een oplossing kan eventueel gevonden worden in een aansluitend project waarin het accent gelegd wordt op de ontwikkeling van referentiebeelden, bijvoorbeeld door onderzoek in natuurgebieden, veldexperimenten of praktijkproeven en op verontreinigde locaties (vaststellen lengte maatlat).

- Voortzetting van het onderzoek langs de prognoselijns is afhankelijk van voldoende veldwaarnemingen en lange gradiënten in abiotische factoren. Achteraf kan pas blijken of de ervaringen opgedaan met gegevens over nematoden ook gelden voor andere groepen bodemorganismen. Wel is reeds te voorzien dat een aantal abiotische factoren (bijv. pH) in het landelijk meetnet te weinig variatie vertonen om een goede responsrelatie af te leiden. Ook vanuit dit gezichtspunt is het dus noodzakelijk om de waarnemingen uit te breiden naar natuurgebieden en meer extreme situaties (uiteinden van de gradiënt).
- De snelheid waarmee resultaten beschikbaar komen is zeer verschillend gebleken. De grootste problemen zijn opgetreden bij de mijten en potwormen. Inmiddels zijn maatregelen getroffen om de verwerking en analyse van de gegevens te verbeteren. Binnen de gekozen indicatororganismen blijven het echter de meest arbeidsintensieve en dus tijdrovende bepalingen.
- De regelmaat in de opbouw van veldgegevens is verstoord door de MKZ-crisis in 2001. De referenties voor de akkerbouwbedrijven op zandgrond dienen in het vroege voorjaar van 2002 opnieuw te worden bemonsterd. Er zal naar aanvullende financiering gezocht dienen te worden om de categorie grasland op veen alsnog te bemonsteren.
- Wanneer de LMB-cyclus is afgerond (einde 2003) verdient het, in verband met het onderzoek naar de trendmatige ontwikkeling van de bodemkwaliteit in Nederland, aanbeveling om te vervolgen met de volgende meetronde (LMB2004 en verder). Voor een consistente aanpak hierin dient de prioriteit bij de LMB-bodemgebruikscategorieën te liggen en niet bij andere typen van bodemgebruik.
- Het LMB omvat 200 locaties, voornamelijk in agrarische gebieden. Hierdoor is het slechts mogelijk om de effecten van verschillende typen agrarisch bodemgebruik in beeld te brengen. Het bodembeleid ontwikkelt zich naar verdergaande integratie van de afzonderlijke bodemthema's (de V-thema's) en heeft als centraal uitgangspunt de verschillende vormen van bodemgebruik. Het is dus noodzakelijk om in de toekomst ook locaties te analyseren met andere typen bodemgebruik dan opgenomen zijn in het LMB. Het bodembologisch meetnet zou uitgebreid moeten worden naar: natuur en andere groenvoorzieningen, en stedelijk en industriegebied.
- Afgezien van de wensen ten aanzien van de uitbreiding van het bestand van potentiële referentiegegevens, en meerdere typen bodemgebruik, is er vooralsnog geen aanleiding om grote wijzigingen aan te brengen in de projectopzet. Een aantal van de bovengenoemde knelpunten verdienen aandacht, teneinde een maximaal rendement te halen uit de onderzoeksinspanning.

3. Antwoorden op de vragen

In dit hoofdstuk wordt kort ingegaan op de specifieke vragen die ten grondslag lagen aan deze evaluatienotitie (zie hoofdstuk 1).

3.1 Meetbaarheid van bodembioologische parameters

De meetbaarheid van bodembioologische parameters valt uiteen in een aantal aspecten, namelijk:

- Alle type metingen worden gekenmerkt door variatie. Soms wordt de bruikbaarheid van biologische metingen voor beleid of besluitvorming laag ingeschat vanwege een veronderstelde grote variatie en geringe reproduceerbaarheid. De ervaringen met de BoBI tot nu toe laten zien dat er inderdaad variatie is tussen indicatorwaarden op verschillende locaties, maar dat ook significante patronen herkenbaar zijn. Met andere woorden, metingen aan bodembioologische parameters zijn voldoende robuust om (kwantitatief) onderscheid en overeenstemming tussen locaties te geven.
Er moet echter duidelijk onderscheid gemaakt worden tussen variatie en onzekerheid in het te kwantificeren eindpunt, maar dit geldt in dezelfde mate voor bodembioologische als voor bodemchemische parameters (zie bijv: Kelly & Campbell, 2000).
- Ervaringen met het op routinematige basis produceren van bodembioologische gegevens zijn gering als men dit vergelijkt met bodemchemische parameters. Dit heeft gevolgen voor de inspanning die voorlopig nog nodig is om bodemecologische gegevens te verzamelen. Nieuwe ontwikkelingen gaan snel en worden relatief makkelijk geïncorporeerd. Uiteindelijk moeten meetprotocollen geëvalueerd worden of tot standaard worden verheven. De kunde die nodig is voor bodembioologische analyses is bij een beperkt groep deskundigen, instituten en adviesbureaus aanwezig. Wanneer steeds vaker gebruik wordt gemaakt van bodembioologische parameters, kunnen deze een volwaardige positie krijgen naast de bodemchemische analyses en zal de relatieve achterstand snel worden ingelopen. Naar verwachting ontstaat er dan binnen een relatief korte tijd (< 10 jaar) een kwalitatief hoogwaardig en breed toepasbaar instrumentarium.
- De technische meetbaarheid van de parameters in het huidige monitoringprogramma is toereikend. Dit mag ook verwacht worden aangezien de groepen hier op geselecteerd waren. Na de pilot heeft bovendien nog een beperkte optimalisatie plaatsgevonden. De verwerkingssnelheid van potwormenmonsters en mijten heeft de grootste problemen opgeleverd. Aangezien de monsters van bodemmijten direct verwerkt en gefixeerd worden, doet de lengte van de opslagperiode geen afbreuk aan de kwaliteit. Voor potwormen is de verwerkingsmethodiek aangepast. Het effect van langdurige opslag wordt momenteel nader onderzocht.

3.2 Zeggingskracht en betekenis van bodembioologische parameters voor de regulatiefuncties

Het bodemleven speelt zich grotendeels buiten ons gezichtsveld af; het betreft kleine en zeer kleine organismen die (diep) in de grond leven. Toch rekent men impliciet op het bodemleven bij het gebruik van de bodem voor productie (landbouw, veeteelt, moestuin), voor het herbergen van (doel)soorten ten behoeve van natuurontwikkeling en groen, voor decompositie van organisch materiaal en het zelfreinigende vermogen (infrastructuur, stedelijk gebied, belasting met stoffen). Daarnaast is de omvang van het bodemleven in termen van diversiteit en biomassa groter dan van de zichtbare bovengrondse natuur. De paradox is dat de betekenis van het bodemecosysteem voor de regulatiefuncties onomstreden is, maar dat de maatschappelijke belangstelling voor het bodemleven als gevolg van de geringe 'aibaarheid' gering is. Recent werd voor Ir. Reij, oud-voorzitter van de TCB, een afscheidssymposium georganiseerd (Verloop, 2001). Dit symposium was geheel gewijd aan aspecten van het bodemleven. De betekenis van het bodemleven voor het functioneren van het ecosysteem werd van verschillende kanten belicht. De aanwezigen maakten kennis maken met de vele intrigerende facetten van het bodemleven. Deze en andere typen voorlichting kunnen bijdragen aan een betere waardering van het bodemleven.

Niet voor iedereen geldt dat het bodemleven buiten het gezichtsveld valt. Tijdens het BoBI-onderzoek is bij biologische boeren een grote interesse gebleken voor informatie over de bodembioologische aspecten op hun bedrijf. Gangbare bodemanalyses strekken niet verder dan een controle op enkele plaagorganismen en een chemische karakterisering, gevolgd door een bemestingsadvies. De meeste biologische boeren blijken echter een uitgesproken beeld te hebben van de bodembioologische rijkdom en de relatie met de productie van hun land ('in dat perceel zitten veel wormen, dat zie je aan de structuur en de productie'). Zij zouden daar graag objectieve waarnemingen naast leggen.

Een andere mogelijkheid is om een uitwerking te zoeken in de richting van de 'nutsfuncties' van het ecosysteem. Hierbij gaat de aandacht niet uit naar het bodemecosysteem als zodanig, maar naar een geïntegreerd kenmerk, zoals: agrarische productie, onderlegger voor groen- en natuurfuncties, bodemstructuurverbetering, kringlopen en zelfreinigend vermogen, en mogelijkheden voor veranderingen van bodemgebruik. Deze geïntegreerde kenmerken zijn van belang voor het duurzaam gebruik van de bodem en koppelbaar aan stofkringlopen en biodiversiteit.

Beide sporen, verhoging van de aibaarheid van het bodemleven door voorlichting, en aandacht voor de functies van het bodemecosysteem, zullen bijdragen aan een verbetering van de zeggingskracht van bodembioologie voor de bepaling van de bodemkwaliteit. De voorgenomen uitwerking in het bodembeleid volgens het NMP4 (2001) en de adviezen van de TCB (bijv. TCB, 2000) dragen hieraan bij met concrete aanknopingspunten voor onderzoek en beleidsontwikkeling en (op termijn) -implementatie.

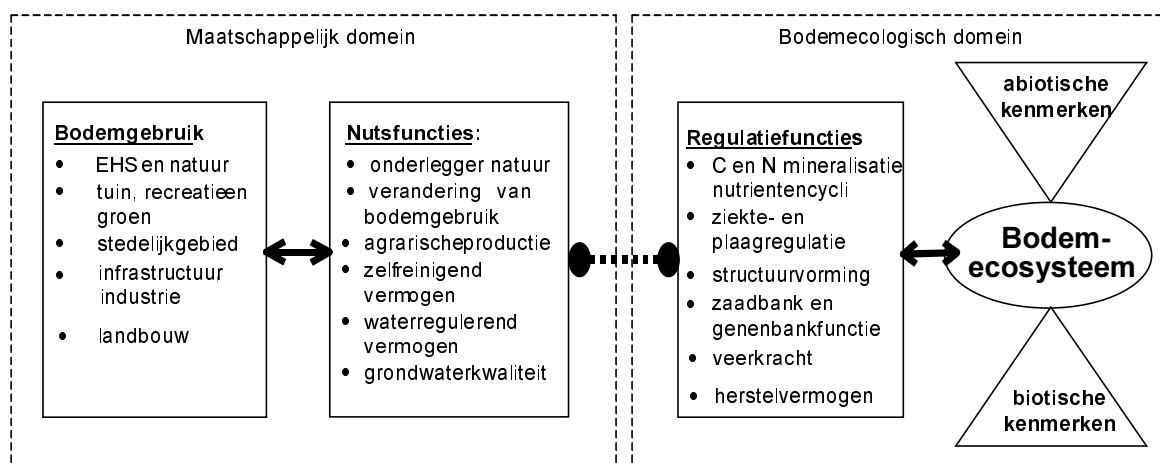
Bij (bijna) alle vormen van bodemgebruik worden één of meer nutsfuncties van het bodemecosysteem aangesproken. Als gevolg van te zware milieudruk, bijvoorbeeld bij hoge concentraties verontreinigende stoffen, of bij intensief beheer, kan het bodemgebruik in gevaar komen door verstoring van de regulatiefuncties. Ook toekomstige veranderingen van bodemgebruik kunnen beperkt worden als gevolg van een geringe bodembioologische kwaliteit, bijvoorbeeld bij natuurontwikkeling in het geval van uit productie genomen landbouwterreinen.

3.3 Afleiding van kwaliteitsdoelstellingen

Het afleiden van kwaliteitsdoelstellingen voor gebieden buiten de Ecologische Hoofdstructuur was één van de actiepunten in het Strategische Plan van Aanpak Biodiversiteit (SPA). De ontwikkeling van de Bodembioologische Indicator heeft hierin z'n oorsprong. Rond de begrippen kwaliteitsdoelstellingen en referenties heerst enige verwarring omdat ze vaak als synoniemen gebruikt worden. Een referentie kan slaan op een situatie in het verleden, of een ideaalbeeld voor een bepaald gebied. Deze benadering wordt veel in het natuurbeleid gevolgd. Kwaliteitsdoelstellingen zijn in principe een keuzepunt ('target') op de weg tussen de huidige situatie en de (historische) referentie. Ze kunnen daarmee samenvallen maar dat hoeft niet. Kwaliteitsdoelstellingen hangen dus af van keuzes en praktische mogelijkheden om een bepaald gebiedstype, bodemgebruik, soortensamenstelling of natuurdoeltype te realiseren.

Historische gegevens over bodembioologische aspecten (diversiteit en processen) zijn niet of nauwelijks beschikbaar. Referentiegegevens moeten dus afgeleid worden van de huidige bodemecologische situatie met een gewenste (duurzame) vorm van bodemgebruik, of van een theoretisch beeld gebaseerd op een berekende situatie (via extrapolatie of bodembioologische modellen).

In het huidige bodembeleid worden verschillende typen bodemgebruik onderscheiden. Het is de uitdaging om kwaliteitsdoelstellingen te ontwikkelen op een zodanige wijze dat er een koppeling tot stand komt tussen bodemgebruik en ecologische aspecten. Deze koppeling kan worden gemaakt door een brug te slaan tussen gebruiksfuncties (nutsfuncties) en regulatiefuncties (zie figuur 8). De nutsfuncties zijn onderdeel van het maatschappelijke domein. De regulatiefuncties zijn gekoppeld aan het bodembioologische domein. Bij elke (hoofd)vorm van bodemgebruik zijn een aantal specifieke nutsfuncties te benoemen. Deze zijn vervolgens te koppelen aan de ecologische functies die hiervoor van belang zijn. Dit is verder terug te voeren op de samenstelling en diversiteit van het bodemecosysteem en de abiotische randvoorwaarden die hiervoor gelden.



Figuur 8: Schematische koppeling tussen bodemgebruik en bodemecosystemen. Het bodemgebruik wordt uitgedrukt in zogenaamde nutsfuncties. Vervolgens kan de koppeling met de regulatiefuncties worden gemaakt. Karakterisering van het bodemecosysteem geschiedt met een combinatie van abiotische en biotische kenmerken. Abiotische kenmerken zijn bijvoorbeeld bodemeigenschappen, (pH, organische stof, lutum, bemesting), atmosferische depositie, en waterhuishouding. Biotische kenmerken zijn bijvoorbeeld biomassa, biodiversiteit, voedselwebkarakteristieken en -dynamiek.

De bovenstaande methodiek is vergelijkbaar met die van Rutgers et al. (1998) en Faber (1997) voor de beoordeling van de risico's van bodemverontreiniging. De koppeling van nutsfuncties en het bodemecosysteem bij diverse vormen van bodemgebruik is nog niet uitgewerkt, maar kan op korte termijn ter hand worden genomen.

Het leggen van een relatie tussen bodemgebruik en bodemecosysteem via de functies lijkt een omslachtige weg. Nuts- en regulatiefuncties zijn echter abstracte begrippen of geaggregeerde eigenschappen. Ze spreken tot de verbeelding maar zijn moeilijk te meten of te kwantificeren. Eventueel kan een typische overall-indicator gekozen worden die iets zegt over een functie, wanneer veel systeemkennis of referentiegegevens beschikbaar zijn. Dit is een indicator in de trend van 'de zalm terug in de Rijn'. In feite is de kwaliteitsdoelstelling tevens indicator geworden. Voor bodemfuncties is dit soort indicatoren mogelijk te bedenken ('de roofnematode terug in de Nederlandse bossen'), maar ze zullen waarschijnlijk weinig aanspreken en daarom niet van praktische waarde zijn.

Zoals in het voorgaande is toegelicht, wordt daarom voorgesteld om bodemgebruik te koppelen aan regulatiefuncties en deze te ontrafelen in onderliggende processen en organismen die erbij betrokken zijn. Zo zijn op pragmatische manier meetbare indicatoren te kiezen, en kwaliteitsdoelstellingen te formuleren. De laatste werkwijze is gevolgd bij de opzet van de Bodembioologische Indicator, voor de regulatiefuncties 'C- en N-mineralisatie, nutriëntencycli' en 'bodemstructuurvorming' (Schouten et al., 1997).

De ontwikkeling van ecologische kwaliteitsdoelstellingen voor bodem staat nog in de kinderschoenen. Wanneer volledige onderbouwing en validatie wordt nagestreefd, zal implementatie in het beleid enige tijd in beslag nemen. Dat wil echter niet zeggen dat er geen voorlopige, of stapsgewijze, invulling mogelijk is. In dit verband kan worden gewezen op de totstandkoming van het normenstelsel ter bescherming van het ecosysteem tegen verontreiniging met toxische stoffen. De ecologische kwaliteitsdoelstellingen (risicoschatting), de HC5 en HC50-waarden, zijn gebaseerd op de toepassing van een model waarbij experimentele laboratoriumgegevens gebruikt worden (uit de wetenschappelijke literatuur) om ecologische effecten te schatten. Met het model wordt berekend welke fractie van de soorten is blootgesteld boven een no-effect-level, onder de aanname dat de gebruikte toetsgegevens een steekproef zijn uit het ecosysteem. Met behulp van deze benadering was het mogelijk om op een termijn van enkele jaren milieubeleid te ontwikkelen voor de ecologische effecten van toxische stoffen. Strikt genomen is het beleid voor bodemverontreiniging gebaseerd op onvolledige onderbouwde beschermingsniveaus (Swartjes, 1999). De HC5 en HC50 waarden worden verondersteld representatief te zijn voor een bepaalde mate van bescherming van het ecosysteem, maar de onderliggende aannames zijn niet, of slechts steekproefsgewijs getoetst (Posthuma et al., 1998).

Het is algemeen bekend dat de regulatiefuncties als gevolg van stress door intensief bodemgebruik uiteindelijk aangetast worden, maar ook dat als gevolg van ecologische redundantie die aantasting pas na verloop van tijd, of pas bij hoge stress, zichtbaar wordt. Wanneer de relatie tussen de intensiteit van stressfactoren en de regulatiefuncties bekend is, kunnen kwaliteitsdoelstellingen afgeleid worden op basis van risico's of beschermingsniveaus. In tegenstelling tot effecten van zware metalen op soorten, zijn effecten op nuts- of regulatiefuncties niet eenvoudig in laboratoriumtoetsen vast te stellen. Hiervoor is experimenteel veldonderzoek of onderzoek langs een gradiënt van een bepaalde stressfactor nodig. De ecologische risico's van deze stressfactoren kunnen volgens een zelfde statistische extrapolatietechniek worden afgeleid.

3.4 Stuurbaarheid

Bodembioologische parameters lijken, in tegenstelling tot bodemchemische parameters, moeilijk stuurbaar (voor het beleid en voor de gebruiker), omdat het lastig voor te stellen is hoe gemanipuleerd zou kunnen worden met bodemorganismen of processen. Toch is dit voornamelijk schijn, omdat het bodemleven en de abiotische omstandigheden niet los van elkaar beschouwd kunnen worden. Bij elke ingreep is er een kans op een samenhangend effect op het bodemleven én op de abiotische eigenschappen van de bodem (zie ook bijlage 5).

De stuurbaarheid van het bodemleven is dus a priori niet groter of kleiner dan van de bodemchemische en -fysische parameters. De klassieke aangrijpingspunten voor het beleid richten zich op de milieuthema's, zoals verzuring en vermisting. Soms leidt vermindering van de belasting van het milieu niet snel tot een gewenste verbetering van de milieukwaliteit, als gevolg van nalevering en uitgestelde en neveneffecten. Het vrijkomen van fosfaat bij vernatting van vermistte natuur is een voorbeeld. De maatregelen hebben dan schijnbaar geen effect, of negatieve bijeffecten. Het betrekken van bodembioologische parameters bij de inrichting van beleid en maatregelen maakt het mogelijk om realistische doelen te stellen. Tevens kan kennis van het bodemleven gebruikt worden voor de oplossing van bodem- en milieuproblemen, zoals bij oxidatie van veen in veenweidegebieden waarbij metalen beschikbaar komen, of bij de afbraak van milieuvreemde verbindingen (in situ bioremediatie), etc..

Een nieuw element bij het milieubeleid is de centrale positie van het bodemgebruik. Er lijkt een toenemend besef te ontstaan dat niet elk bodemgebruik overal gerealiseerd kan worden. De maakbaarheid van natuur is beperkt en intensieve agrarische productie heeft negatieve effecten op het milieu. Sommige bodems lenen zich minder goed voor agrarische gebruik en zijn meer geschikt voor natuurontwikkeling (dat is altijd zo geweest; zie bijvoorbeeld woeste gronden op de Veluwe). Soms is het onmogelijk om nieuwe natuur te ontwikkelen op voormalige landbouwgrond, omdat het geschikte bodemleven ontbreekt en de bodem teveel voedingstoffen bevat.

De conclusie is dat de stuurbaarheid van het bodemecosysteem via de gangbare bodembeheerspraktijk kan worden geëffectueerd, nl:

- type bodemgebruik
- intensiteit bodemgebruik
- bodembeheer, zoals
 1. beschermen (bijv. via beheersmaatregelen)
 2. isoleren (afdekkingen, toegangsregelingen, natuurbeheer, etc.)
 3. controleren (passieve en actieve monitoring)
 4. bioremediatie en restauratie (in situ, ex situ, fytoextractie, zelfreinigend vermogen)
 5. bewerken (oogsten, baggeren, ploegen, afplaggen, etc.)
 6. verbeteren (bemesten, bekalken, bestrijdingsmiddelen, etc.)
 7. hydrologie (bijv. grondwaterstand, -stromen, en -kwaliteit)

4. Toekomstig bodembeleid en ecologie

4.1 Stand van zaken

Het milieubeleid werd tot op heden gedomineerd door beleid op afzonderlijke thema's, zoals vermessing, verzuring en verontreiniging (de V-thema's). Praktische kennis en instrumenten over ecologische aspecten van de bodem in relatie tot milieudruk werd ontwikkeld per thema en afzonderlijk in het beleid geïncorporeerd. Op deze wijze konden verschillende ecologische concepten van de bodem hun ingang vinden. Bij het thema verontreiniging was het beleid gericht op het voorkomen of wegnemen van verontreiniging. De rationale hierbij is dat het bij verontreiniging in principe om systeemvreemde stoffen gaat (hoge concentraties; geringe omvang). Dit beleid werd geformuleerd met een centrale plaats voor bodemkwaliteit (het normenstelsel) op basis van risicogrenzen. Bij de thema's verzuring en vermessing werd het beleid gericht op het verminderen van de belasting van het milieu door brongerichte maatregelen (verminderde uitstoot), waardoor de milieudruk op termijn vermindert en de kwaliteit van het systeem verbetert. Grofweg gaat het bij deze thema's om relatief lage concentraties systeemeigen stoffen, die echter als gevolg van bulkuitstoot voor grootschalige problemen zorgen.

De bodem kan worden beschouwd als integrator van alle milieudruk, 'het bezinkputje van het menselijk handelen'. Aandacht op afzonderlijke thema's lijkt steeds minder effectief om het milieu en de bodem op termijn afdoende te beschermen. Daarom wordt in het NMP4 (2001) uitdrukkelijk een aanzet gegeven voor een integrale aanpak; uitgedrukt in 4 zogenaamde 'transities'. Duurzaam gebruik en behoud van biodiversiteit en natuurlijke hulpbronnen wordt bij drie transities van belang geacht. Uitgangspunt is dat het gebruik van bodem door de mens centraal staat; kortweg bodemgebruik genoemd. Uitwerking hiervan in het milieubeleid kan alleen succesvol worden als de afzonderlijke milieuthema's uitgebreid worden met een integrale aanpak, op basis van bodemgebruik.

4.2 Wie hebben belang bij ecologie als onderdeel van het bodembeleid?

Bij de toekomstige formulering van integraal bodembeleid zullen belanghebbenden (globale, nationale, en lokale overheden, milieu- en natuurorganisaties, terreinbeheerders, bodemeigenaren en andere maatschappelijke groeperingen) betrokken moeten worden. Deze kunnen elk vanuit specifieke gezichtspunten aangegeven welke aspecten van het ecosysteem aandacht behoeven. Een speciale positie moet overwogen worden voor het ecosysteem zelf, omdat deze haar belangen niet actief kan verdedigen.

- De globale en nationale overheid zullen oog moeten houden op het duurzaam gebruik van de bodem op de lange termijn, waarbij verandering van bodemgebruik in de verre toekomst, bijdragen aan het klimaat, behoud van biodiversiteit, niet alles overal - maar toch ergens wel maximale omgevingskwaliteit en bescherming van het ecosysteem, elementen kunnen zijn.
- De lokale overheden zullen zich moeten richten op duurzaam gebruik van de bodem op de middenlange termijn, waarbij meer afwegingen worden gemaakt tussen de nutsfuncties van het ecosysteem (natuur, landschapselementen, en life support functies), lokale economische factoren en de te voorziene bodemgebruiksveranderingen. Duurzaam bodemgebruik voor de actuele toepassing en potentieel herstelvermogen zijn hierbij sleutelbegrippen.

- De terreinbeheerders en grondeigenaren zullen zich richten op elementen in het ecosysteem waar zij direct belang bij hebben, zoals natuur- en groenelementen, productiemogelijkheden, plaagregulatie en het zelfreinigende vermogen van de bodem.
- Ook met andere groeperingen kan rekening worden gehouden. Zo zal een volledig antropocentrisch invulling van ecologie in het bodembeleid in het beleid weerstand oproepen bij milieuorganisaties. Een focus op ecologische kwaliteit zonder rekening te houden met natuur, kan op verzet rekenen van natuurorganisaties.

Deze verschillende invalshoeken kunnen via integraal bodembeleid worden geadresseerd. Een begin kan worden gemaakt door ze als individuele sporen, onder de noemer 'duurzaam maatschappelijk gebruik van de bodem' te ontwikkelen, eerst als aparte sporen, en pas de integratie op het niveau van de beleidsuitvoering. M.a.w. de uiteindelijke eenheden zijn op het hoogste (integrale) niveau vergelijkbaar, zodat de afzonderlijke sporen zo lang mogelijk zichtbaar blijven. Soms druisen natuurontwikkeling (bijv. bescherming van zeldzame planten en dieren op een vervuilde locatie) en verbetering van ecologische bodemkwaliteit (bijv. bodemsanering bij deze locatie) tegen elkaar in.

4.3 Toekomst voor de bodembiologische indicator?

Kennis van het bodemecosysteem is nodig om het instrumentarium te ontwikkelen en de doelstellingen te formuleren voor integraal bodembeleid. De ruimtelijke gedetailleerdheid van de bodemkennis (c.f. bodemgebruik, bodemtype, ecotype) moet voldoende zijn om het beleid onderscheidend te maken naar lokaal niveau. Het lokale maatschappelijke bodemgebruik is immers als centrale ingang voor duurzaamheid gekozen.

Het milieuonderzoek en het milieubeleid kennen een lange traditie van abiotische milieumonitoring. Deze aanpak heeft geleid tot de ontwikkeling van ecologische inzichten, maar is beperkt vanwege het ontbreken van de biologische kenmerken. Voor een nieuwe impuls zal er daarom meer aandacht moeten komen voor fysische en biologische bodemparameters. Voor deze parameters is er een momenteel een flinke achterstand qua kennis en bruikbare gegevens. Het bodembiologische indicatorsysteem in het LMB is de eerste gestructureerde monitoringsactiviteit van bodembiologische parameters in Nederland en in die zin vormt dit systeem een unieke basis voor kennisontwikkeling en –integratie. De ‘homogene’ aanpak in een meetnet leverde met relatief weinig gegevens reeds een aantal bruikbare resultaten op, c.f. het verband tussen de intensiteit van het bodemgebruik en de kwaliteit van het bodemecosysteem (figuur 8). Inpassing van dit type ecologische aspecten in het bodembeleid kan dus met een relatief (t.o.v. toepassing abiotische gegevens) geringe inspanning plaatsvinden.

De huidige inspanningen met het bodembiologische indicatorsysteem moeten gezien worden als een eerste aanzet. Het project is bedoeld om ervaring op te doen met het op routinematige basis genereren van bodembiologische informatie en met potentiële (beleids)toepassingen ervan. Voor een volledige implementatie van bodemecologische aspecten in een geïntegreerd bodembeleid op basis van bodembiologische gegevens (naast abiotische gegevens) dienen de meetinspanningen en de kennisintegratie geïntensiverd te worden. Tot nu toe was het agrarische bodemgebruik het belangrijkste aandachtspunt en werd er geen speciale aandacht aan milieudruk geschonken. Andere typen bodemgebruik, zoals wonen, recreatief groen en natuur, en geïntegreerde milieudruk (geïntegreerde V-thema's) dienen tevens aan bod te komen.

Ondersteuning van het biodiversiteitsbeleid is de andere rol van bodembiologische metingen in het LMB. Bij de mondiale doelstellingen aangaande biodiversiteitsbeleid wordt veel nadruk gelegd op de bescherming van de dieren en planten. Functionele diversiteit en duurzaam gebruik van ecosystemen kreeg tot nu toe weinig aandacht. De BoBI in het LMB

speelt hierbij een duidelijke rol, en deze zal in de nabije toekomst in de internationale context uitbreiden worden.

4.4 Aanbevelingen

Het traject om te komen tot beleidsvernieuwing voor het compartiment bodem, met als vertrekpunt maatschappelijk duurzaam gebruik van de bodem en niet meer de afzonderlijke milieuthema's is kort geleden ingezet. Het NMP4 (2001) voorziet in aanknopingspunten voor inbedding van ecologische aspecten in het toekomstige geïntegreerde bodembeleid. De BoBI kan bijdragen aan deze ontwikkeling volgens een stappenplan (Rutgers et al., 1998):

1. Organisatie primaire kennis en data, door gegevens te verzamelen, beheren, interpreteren, integreren en toegankelijk te maken.
2. Identificeren van betrokkenen, bijvoorbeeld de mondiale milieuconferenties, nationale overheid, en lokale grondeigenaar (zie ook bijlage 5). Betrokkenen hebben bepaalde belangen bij de inbedding van ecologie in het bodembeleid. Het zichtbaar maken van deze belangen helpt om een duidelijke structuur aan te brengen in de beoordeling van de bodemkwaliteit of bodemgebruiksmogelijkheden.
3. Benoemen en omschrijven van belangen van diverse betrokkenen in kwantificeerbare ecologische eenheden (natuurlijke hulpbronnen), zoals specifieke nutsfuncties van het ecosysteem en het ecosysteem als te beschermen object.
4. Definiëren van referenties, beleidsdoelen, ecologische criteria en duurzame gebruiksmogelijkheden van de bodem bij elk ecologisch aspect (natuurlijke hulpbron).
5. Ontwikkeling van een geïntegreerd instrumentarium voor de kwantificering van de effecten van het bodemgebruik op de ecologische belangen (en vice versa).
Bodemchemische, bodembioïologische, en bodemfysische parameters worden gemeten, berekend en gemodelleerd, en uiteindelijk geïntegreerd tot beleidsrelevante informatie.

Bij de ontwikkeling van de BoBI wordt tot op heden vooral aandacht besteedt aan onderdeel 1 van dit stappenplan. Onderdeel 4 komt wel aan de orde (zogenaamde potentiële referentielocaties en -gegevens), maar wordt niet volledig afgehandeld. Dat kan ook niet, omdat de finale uitwerking van onderdeel 4 voor een groot deel afhankelijk is van de stappen 2 en 3. Aanbevolen wordt deze te adresseren bij de activiteiten die rondom het thema 'Bodem & Ecologie' naar aanleiding van het TCB advies (2000) en bij aanvullende consensus activiteiten (bijvoorbeeld 'Platform Ecologische Risicobeoordeling' en 'Bodem Breed congres').

Referenties

- De Heer, M., R. Alkemade, M. Bakkenes, M. van Esbroek, A. Hinsberg, D. de Zwart, 2000. MOVE, nationaal model voor de vegetatie, versie 3. De kans op voorkomen van ca. 900 plantensoorten als functie van 7 omgevingsvariabelen. RIVM Rapport 408657002
- Egler, F., 1997. *The Nature of Vegetation: It's Management and Mismanagement*. Aton Forest, Norfolk, CT.
- Faber, J.H., 1997. Ecologische risico's van bodemverontreiniging. Ecologisch bouwstenen. Technische commissie bodembescherming, rapport R07(1997), Den Haag 1997.
- Het Plattelantontwikkelingsprogramma Nederland 2000-2006. Ministerie van landbouw en natuurbeheer en visserij, regiebureau POP, 2000.
- Hinsberg A. van, A.M. Breure, A.J. Schouten, J. Wiertz, A.H.M. Bresser, J. Notenboom, 1999. Nut-noodzaak analyse bodembioologische indicator. Intern RIVM rapport nr. 607601004
- Kelly, E.J., K. Campbell, 2000. Separating variability and uncertainty in environmental risk assessment – making choices. *Hum. Ecol. Risk Assessm.* 6: 1-13.
- Lancaster, J., 2000. The ridiculous notion of assessing ecological health and identifying the useful concepts underneath. *Hum. Ecol. Risk Assessm.* 6: 213-222
- Latour, J.B., I.G. Staritsky, J.R.M. Alkemade, J. Wiertz, 1997. De Natuurplanner; Decision Support Systeem natuur en milieu. Versie 1.1. RIVM rapport 711901019
- NMP4, 2001. Nationaal Milieubeleidsplan; tweede ambtelijk concept; 6 december 2000.
- Posthuma, L., C.A.M van Gestel, C.E. Smit, D.J. Bakker, J.W. Vonk, 1998. Validation of toxicity data and risk limits for soils: final report. RIVM rapport 607505004. Bilthoven.
- Rutgers, M., J. Faber, J. Postma, H. Eijsackers, 1998. Locatiespecifieke ecologische risico's: een basisbenadering voor functiegerichte beoordeling van bodemverontreiniging. Rapporten Programma geïntegreerd Bodemonderzoek deel 16, ISBN 90 73270 308, Programma geïntegreerd Bodemonderzoek, Wageningen, The Netherlands.
- Schouten, A.J., J. Wiertz, J.R.M. Alkemade, M.L.P. van Esbroek, 1995. Ontwikkeling van een biologische indicator voor bodemkwaliteit t.b.v. MB/MV. Verslag van een workshop gehouden op 13 april 1995. RIVM rapport 712910004.
- Schouten, A.J., L. Brussaard, P.C. de Ruiter, H. Siepel, N.M. van Straalen, 1997. Een indicatorsysteem voor life support functies van de bodem in relatie tot biodiversiteit. RIVM rapport 712910005
- Schouten, A.J., A.M. Breure, J. Bloem, W. Didden, P.C. de Ruiter, H. Siepel, 1999. Life support functies van de bodem: operationalisering t.b.v. het biodiversiteitsbeleid. RIVM rapport 607601003
- Schouten, A.J., J. Bloem, A.M. Breure, W.A.M. Didden, M. van Esbroek, P.C. de Ruiter, M. Rutgers, H. Siepel, H. Velvis, 2000. Pilotproject Bodembioologische Indicator voor Life Support Functies van de bodem. RIVM rapport 607604001
- Swartjes, F.A., 1999. Risk-based assessment of soil and groundwater quality in the Netherlands: standards and remediation urgency. *Risk Analysis* 19: 1235-1249.
- TCB, 2000. Raamwerk voor ecologische inbreng op de beleidsterreinen bodembescherming, biodiversiteit en ruimtelijke ordening in relatie tot NMP-4 en de vijfde nota ruimtelijke ordening. TCB report A29, Den Haag.
- TCB, 2001. De bodem leeft, lang leven de bodem, TCB bijeenkomst 16 mei 2001; Tijdschrift Bodem 11(4):157
- Ten Brink, B.J.E., 2000. Biodiversity indicators for the OECD Environmental Outlook and strategy. RIVM rapport 402001014 ; Globo Report Series 25.
- Ten Brink, B.J.E., A. van Strien, A. van Hinsberg, M.J.S.M. Reijnen, J. Wiertz, R.J.M. Alkemade, H.F. van Dobben, L.W.G. Higler, B.J.H. Koolstra, W. Ligtoet, M. van der Peijl, S. Semmekrot, 2001. Natuurgraadmeters voor de behoudoptiek. RIVM rapport 408657005.

- Verloop, J., 2001. Adviezen aan het beleid – De bodem leeft, lang leve de bodem. *Bodem* 11(4): 157.
- VISTA, 1996. Biodiversiteitsdoelstellingen buiten beschermde gebieden. Verkenning van verschillende methoden voor concretisering en verwezenlijking van biodiversiteitsdoelstellingen buiten de beschermde natuurgebieden. VISTA, adviesbureau voor ruimtelijke planning, landschapsarchitectuur en ecologie, Amsterdam

Bijlage 1: Verzendlijst

1. Drs. A.W.M. Eijs, VROM/DGM/BWL, Den Haag
 2. Dr.ir. S. Boekhold, VROM/DGM/BWL, Den Haag
 3. Dr. T. Crommentuijn, VROM/DGM/BWL, Den Haag
 4. Drs. N.H.S.M. de Wit, VROM/DGM/BWL, Den Haag.
 5. Dr. J.M. Roels, VROM/DGM/BWL, Den Haag
 6. Plv. DG Milieubeheer, Dr.ir. B.C.J. Zoeteman
 7. Dr. M. Berg, VU-Amsterdam
 8. Dr. J. Bloem, Alterra, Wageningen
 9. Dr. T. Bongers, Laboratorium voor Nematologie, Wageningen UR
 10. Ing. S.C. Bos, Tauw b.v., Deventer
 11. Dr. T. Brock, Alterra, Wageningen
 12. Prof. dr. L. Brussaard, Bodembioogie en Biologische Bodemkwaliteit, Wageningen UR
 13. Dr. W. Didden, Bodembioogie en Biologische Bodemkwaliteit, Wageningen UR
 14. Dr. N. van Eekeren, Louis Bolk Instituut, Driebergen
 15. Prof. dr. H.J.P. Eijsackers, Alterra, Wageningen
 16. Dr. J.H. Faber, Alterra, Wageningen
 17. Dr. R.G.M. de Goede, Bodembioogie en Biologische Bodemkwaliteit, Wageningen UR
 18. Dr. G. Jagers op Akkerhuis, Alterra, Wageningen
 19. Dr. J. Karres, ministerie LNV, Den Haag
 20. Ir. H. Keidel, Blgg b.v, Oosterbeek
 21. Dr. W.C. Ma, Alterra, Wageningen
 22. Dr. H. Siepel, Alterra, Wageningen
 23. Dr. J.J. Vegter, TCB, Den Haag
 24. Dr. H.A. Verhoef, VU-Amsterdam
 25. A. Vos, Alterra Wageningen
 26. Dr. Ir. W. de Vries, Alterra, Wageningen
 27. Dr. J. van der Waarde, Bioclear Groningen
 28. Dr. J. van Wensum, TCB, Den Haag
 29. Depot Nederlandse Publicaties en Nederlandse Bibliografie, Den Haag
 30. Directie van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
 31. Dr.ir. G. de Mik, RIVM/SB4
 32. Ir. R. van den Berg, RIVM/LBG
 33. Dr.ir. J.J.B. Bronswijk, RIVM/LBG
 34. Drs.ing. J.J. Bogte, RIVM/ECO
 35. Drs. H. Canton, RIVM/ECO
 36. M.S.M Groot, RIVM/LBG
 37. N. Masselink, RIVM/LBG
 38. Dr. Ch. Mulder, RIVM/ECO
 39. Dr.ir. J. Notenboom, RIVM/MNV
 40. Dr. L. Posthuma, RIVM/ECO
 41. Dr. ir. F. Swartjes, RIVM/ECO
 42. Drs. T.P. Traas, RIVM/CSR
 43. Dr. H. van Wijnen, RIVM/LBG
 44. M. Wouterse, RIVM/ECO
 45. Drs. D. de Zwart, RIVM/ECO
- 46-48 auteurs

49 SBD/Voorlichting & Public Relations

50 Bureau Rapporten Registratie

51 Bibliotheek RIVM

52-61 Reserve exemplaren ten behoeve van Bureau Rapporten Beheer

62-70 Reserve exemplaren ECO

Bijlage 2. Schema van het Bodembologisch Indicatorsysteem

Biologisch indicatorsysteem voor Biodiversiteit van de bodem in relatie tot LSF. DivS/FG= aantal soorten per functionele groep, DivF= diversiteit in functies, MI= maturity index, PPI= plant parasite index. Functionele (ecologische) groepen komen tot stand door onderverdeling van de taxonomische eenheden genoemd bij de Indicatieve variabelen.

Life support functies	Processen	Indicatieve variabele (soortengroep)	Deelindicator
Afbraak van organisch Materiaal	Fragmentatie	1. Wormen + potwormen 2. Mijten	DivS/FG, DivF, massa, aantal DivS/FG, DivF
	Organische substraat omzetting	3. Bacteriële afbraakroutes 4. Paddestoelen 5. Genetische. div. microflora	DivF (biologtoets) DivS/FG, DivF Bacterieel DNA-polymorfie
	Recycling voedingsstoffen	Stikstof-mineralisatie	6. Trofische interacties =1 + 2 + 7 + 8 + 9 + 10 (in aantal en biomassa)
<i>Deelprocessen:</i>			
- Microbiële activiteit.		7. Microorganismen (bacteriën + schimmels)	Aantal, massa, activiteit (thymidine-inbouw).
- Begrazing microflora (bacteriën + schimmels).		8. Protozoën 9. Nematoden 10. Springstaarten	Actieve/inactieve cysten, DivS/FG, DivF, MI DivS/FG, DivF
- Wortelvraat		2. Mijten	DivS/FG, DivF
- Predatie		9. Nematoden (+ 2 +10) 2. Mijten (+ 9 + 10)	DivS/FG, DivF, PPI DivS/FG, DivF
Beschikbaarheid voedingsstoffen voor planten	N-, P- en H ₂ O-opname	4. Mycorrhiza paddestoelen	DivS/FG, DivF
	Nitrificatie	11. Nitrificerende bacteriën	Nitraatvorming uit ammonium
Bodemstructuurvorming	Bioturbatie + aggregaatvorming	1. Wormen + potwormen	DivS/FG, DivF, massa, aantal
Stabiliteit Bodemecosysteem	Trofische interacties	12. Opbouw levensgemeenschap =1 + 2 + 7 + 8 + 9 +10 (in aantal en biomassa)	Structuur voedselweb (modelmatig)

Bijlage 3. Producten: rapporten, publicaties, posters en presentaties gerangschikt per jaar

1997:

- Breure, A.M., Wind, B.S., Crum, S.J.H., Rutgers, M., 1997. Naar een indicator voor functionele diversiteit van microbiële gemeenschappen. RIVM rapport 607601001
- Schouten, A.J., Brussaard, L., Ruiters, P.C. de, Siepel, H., Straalen, N.M. van, 1997. Een indicatorsysteem voor life support functies van de bodem in relatie tot biodiversiteit. RIVM rapport 712910005
- Schouten, A.J., Brussaard, L., Ruiters, P.C. de, Siepel, H., Straalen, N.M. van, Breure, A.M., 1997. Indicatorsysteem voor life support functies in de bodem. Bodembreed, 10-11 november, Luntenen pp. 85-86, The Netherlands Integrated Soil Research Programme, Wageningen, The Netherlands

1998:

- Breure, A.M., 1998. Ecologische instrumenten voor het biodiversiteitsbeleid. In: Ecologische instrumenten voor de beoordeling van de milieukwaliteit. Symposium van NvT-MT, KNCV-MC en NEVECOL, 15 december 1998, De Reehorst Ede
- Breure, A.M., Ruiters, P.C. de, Didden, W., Siepel, H., Schouten, A.J., 1998. De bodembioologische indicator. Resultaten van het eerste pilotonderzoek. In: M.J. Lexmond (ed.) Bodem Breed '98 30 november -1 december 1998, De Blije Wereld Luntenen, p. 132-133, Programmabureau Bodemonderzoek, Wageningen
- Breure, A.M., Rutgers, M., 1998. The application of Biolog plates to characterise microbial communities. In Cost Action 831, joint Wgs Meeting Biotechnology of Soil: Monitoring, Conservation and Remediation, Book of Abstracts, Roma, 10-11 december 1998, p. 21
- Breure, A.M., Wind, B., Bogte, J.J., Rutgers, M., 1998. Development of an indicator for the functional diversity of microbial populations. In: Interfaces in environmental chemistry and toxicology, 8th annual meeting of SETAC-Europe, 14-18 April 1998, Bordeaux, France p. 199
- Breure, A.M., Wind, B., Rutgers, M., 1998. An indicator for the functional diversity of microbial populations. In: Eight International Symposium on Microbial Ecology (ISME-8), 9-14 August 1998, pp. 111, Halifax, Canada
- Rutgers, M., Bloem, J., Breure, A.M., 1998. Bodembioologische karakterisering van microbiële gemeenschappen met behulp van Biologplaten. In: M.J. Lexmond (ed.) Bodem Breed '98 30 november -1 december 1998, De Blije Wereld Luntenen, p 54-55, Programmabureau Bodemonderzoek, Wageningen

1999:

- Breure, A.M., Bloem, J., Didden, W., Rutgers, M., Siepel, H., Schouten, A.J. (1999) The biological indicator for soil quality: results of the first pilot project. 9th annual meeting of SETAC Europe, 25-29 may 1999, Leipzig, Germany, p. 138
- Rutgers, M., Breure, A.M., 1999. Risk assessment, microbial communities, and pollution induced community tolerance. Human and Ecological Risk Assessment 5, 661-670
- Rutgers, M., Mulder, H., Bogte, J.J., Breure, A.M., 1999. The functional diversity of microbial populations as indicator for environmental stress. 9th annual meeting of SETAC Europe, 25-29 may 1999, Leipzig, Germany, p. 26
- Schouten, A.J., Breure, A.M., Bloem, J., Didden, W., Ruiters, P.C. de, Siepel, H., 1999. Life support functies van de bodem: operationalisering t.b.v. het biodiversiteitsbeleid. RIVM rapport 607601 003

2000:

- Breure, A.M., Bogte, J.J., Wouterse, M., Rutgers, M., 2000. Ecological indicators for environmental quality based on analysis of microbial communities using Biolog plates. In: Ecology: Achievement & Challenge, BES and ESA meeting April 10-13 Orlando, Florida, USA, p. 19
- Breure, A.M., Rutgers, M., 2000. The application of Biolog plates to characterise microbial communities. In: Benedetti, A., Tittarelli, F., de Bertoldi, S., Pinzari, F. (eds.) Biotechnology of soil: Monitoring, conservation and bioremediation. Proceedings of the COST Action 831 joint working group meeting 10 – 11 December 1998, Rome, Italy. (EUR 19548), p. 179-185
- Rutgers, M., Wouterse, M.J., Bogte, J.J., Breure, A.M., 2000. Two ecological indicators for soil quality based on the analysis of microbial communities using Biolog plates. In: Violante, A., Gianfreda, L. (eds) 3rd symposium "Soil mineral-organic matter-microorganism interactions and ecosystem health" (ISMOM 2000) 22-26 May 2000, IUSS, Naples-Capri Italy p. 154
- Schouten, A.J., Breure, A.M., Bloem, J., Didden, W., Rutgers, M., Siepel, H., 2000. A biological indicator system for soil quality: results of application in a monitoring network. 10th annual meeting of SETAC Europe, 21-25 may 2000, Brighton, U.K., p. 235
- Schouten, T., Bloem, J., Didden, W.A.M., Rutgers, M., Siepel, H., Posthuma, L., Breure, A.M., 2000. Development of a Biological Indicator for Soil Quality. SETAC Globe 1, (4), 30-32
- Schouten, A.J., Bloem, J., Breure, A.M., Didden, W.A.M., Esbroek, M. van, Ruiter, P.C. de, Rutgers, M., Siepel, H., Velvis, H., 2000. Pilotproject Bodembioologische Indicator voor Life Support Functies van de bodem. RIVM rapport 607604001

2001:

- Bogte, J., Schouten, T., De Zwart, D., Breure, T., 2001. The use of cryptobiota as indicator organisms for ecological soil quality. 11th annual meeting of SETAC Europe, 6-10 may 2001, Madrid, Spain, p. 240
- Didden, W.A.M., 2001. Earthworm communities in grasslands and horticultural soils. *Biology and Fertility of Soils* 33, 111-117
- Schouten, A.J., Breure A.M., 2001. Meten van ecologische kwaliteit van bodem. *Tijdschrift Bodem* 11:3 96-99
- Schouten, A.J., Breure, A.M., 2001. Ontwikkeling van de bodembioologische indicator: met van ecologische kwaliteit van Bodem. *Bodem* 8 (3) 96-98
- Schouten, T., Bogte J., de Zwart D., Mulder C., Breure T. The use of soil organisms as indicator for ecological soil quality. Poster Bodembreed symposium Lunteren, november 2001
- Schouten, T., Rutgers M., Bloem J., Didden W., Jagers op Akkerhuis G., Keidel H. Ecologische Bodemkwaliteit is te meten. Poster Bodembreed symposium Lunteren, november 2001

Bijlage 4: Resultaten van BoBI1999 en BoBI2000

Gedurende 1999 en 2000 zijn verschillende categorieën melkveehouderijbedrijven op zandgrond bemonsterd. Daarnaast zijn metingen gedaan in bosbodems (categorie natuur in het LMB). In de tabel staan de gemiddelde indicatorwaarden in de 6 onderzochte categorieën. De referenties van 2000 zijn uitgesplitst naar de 3 groepen (projecten) van proefbedrijven, vanwege de verschillen in historie, geografische ligging en bodemsoort. Ter illustratie kan gewezen worden op de lutum-fractie op de Noordhollandse FIR-bedrijven. Deze gronden zijn bevatten veel meer klei dan de overige graslanden.

Voor zover beschikbaar, zijn de gemiddelde veebezettingcijfers op een rij gezet. Er is een duidelijk oplopende lijn van biologische bedrijven naar intensief+. Dit is o.a. terug te vinden in het fosforgehalte (PAL-getal) in de bodem. Deze vertoont een toename lijn met de veebezetting op de bedrijven.

Tabel: Resultaten van BoBI99 en BoBI2000, met een selectie van indicatoren uit verschillende groepen bodemorganismen.

Categorie	Gem. bos (n=20)	Gem. biologisch (n=10)	Gem. extensief (n=20)	Gem. intensief (n=20)	Gem. intensief+ (n=20)	Gem. Ref 2000 (n=10)	Gem. FIR (n=3)	Gem. K&K (n=5)	Gem. VEL VANLA (n=2)
GVE/ha		1,7	2,4	3,2	6,5				
P-AL	3.1	47,5	48,6	54,4	72,7	49,9	45,3	59,8	32,0
Lutum		2,6	2,5	2,6	3,5	8,9	21,0	3,6	4,0
Microbiologie									
Bacteriële activiteit (thymi. inb. pmol/g.h)	6,4	23,6	16,0	17,9	99,1	100,6	243,3	51,0	10,6
Bacterie biomassa (µg C/g droge grond)	46,4	174,3	169,1	140,7	141,3	129,5	71,5	82,2	334,4
DNA banden (aantal)		49,4	48,8	47,5					
Pot. C mineralisatie mg C/kg.wk)	26,4	66,0	86,8	54,2	69,7	86,2	122,7	68,5	75,3
Pot. N mineralisatie (mg C/kg.wk)	2,2	9,6	10,6	6,6	9,1	8,1	8,7	6,7	10,5
µg grond / 50% omzettings. cap.	39711,9	355,0	363,4	594,9	773,1	1131,4	767,3	1545,8	641,3
Nematoden									
Totaal per 100g	729	6061	5464	4487	4075	4031.4	2504.6	3905.3	6636.7
Maturity Index	2.3	2.3	2.0	2.0	1.8	2.2	2.6	2.0	2.3
% bacterie eters	31.6	32.2	45.0	46.1	55.7	42.5	26.5	51.8	43.3
% schimmeleters	28.2	3.2	2.2	1.4	4.1	3.0	3.1	3.3	2.3
% omnivoren	3.5	5.9	5.4	5.2	2.8	6.1	9.4	3.4	8.1
Aantal soorten	24.2	36.4	34.0	32.2	30.9	31.5	29.0	31.8	34.5
Potwormen									
gem. aantal per m²		41377	21433	20003					
biomassa (g fw/m²)		5.2	2.4	1.8					
gem. aantal soorten		2.8	2.9	2.4					
Regenwormen									
gem. aantal per m²	9	246	148	130	182	399	709	201	287
biomassa (g fw/m²)	1.1	41.5	38.4	43	45.6	67.9	92.7	56.4	54.6
gem. aantal soorten	0.7	3.1	2.5	2.2	2.9	3.7	4.7	2.4	4

De biologische indicatoren geven soms verschillende reacties zien in de gradiënt van gebruiksintensiteit die hier is uitgezet. Dit maakt het enerzijds lastig om een overzicht van de tendensen te krijgen, anderzijds benadrukt het de noodzaak om een scala van indicatoren in ogenschouw te nemen. Omdat de resultaten nog niet statistisch zijn getoetst kunnen op dit

moment alleen conclusies verbonden worden aan duidelijke verschillen tussen de categorieën. De bossen steken duidelijk af bij de graslanden. Indicatorwaarden voor aantallen en activiteit zijn hier over het algemeen laag, uitgezonderd een aantal specifieke eigenschappen van deze ecosystemen.

De bacteriële activiteit in de graslandbodems neemt toe bij de hoogste veebezetting, in tegenstelling tot de biomassa die een afnemende trend vertoont. Het lijkt er dus op dat minder bacteriën harder moeten werken in intensief gebruikte gronden. FIR-bedrijven vertonen in dit opzicht een bijzonder beeld. De hoge bacteriële activiteit lijkt meer op die in zeekleigronden (Schouten et al., 2000). Gezien het lutumgehalte zou dat niet verwonderlijk zijn. De biomassa komt hier echter niet mee overeen (71 versus 232 mg C/g). In dit opzicht lijken de FIR-bedrijven hoog intensief, ze hebben echter meer opmerkelijke indicatorwaarden die sterk doorwerken in de groep 'Ref. 2000'.

De genetische diversiteit, voor zover beschikbaar, laat maar kleine verschillen zien, al is er wel een afnemende tendens naar intensievere bedrijven. De diversiteit in afbraakroutes (Biolog-meting) is uitgedrukt in de hoeveelheid grond die nodig is om de helft van de geteste substraten af te breken. Een hoog getal wijst dus op een lage functionele diversiteit. Het aantal nematoden en de Maturity Index laat een dalende trend zien bij hogere veebezettingen. De FIR-bedrijven zijn weer opmerkelijk in dit opzicht. In het algemeen nemen bacterie-etende nematoden toe bij een hogere voedselrijkdom in de bodem. Dit lijkt niet te kloppen met de bacteriële biomassa, tenzij de nematoden hier door vraat de oorzaak van zijn. Schimmel-etters zijn een grote groep in bossen, maar komen in de graslandbodems nauwelijks voor. De graslanden zijn typisch 'bacterie-gedomineerd'. De omnivore nematoden (alles-etters) worden beschouwd als een gevoelige groep. Evenals het aantal soorten is er een afnemende trend bij hogere veebezetting.

Eenzelfde tendens lijkt bespeurbaar bij de potwormen. De reeks is echter nog te kort om al een goed beeld te krijgen. Regenwormen zijn gevoelig voor verstoringen in de vorm van verdichting of ploegen, maar reageren ook sterk op organische bemesting (als voedsel bron) en de manier waarop dit wordt toegediend. Aanvankelijk lijken aantallen en diversiteit af te nemen bij een hogere veebezetting. Dit verandert echter weer bij de intensief+ categorie. Ook hier nemen de FIR-bedrijven een aparte plaats in. Zowel de aantallen, biomassa als gemiddelde soortenrijkdom behoren tot de hoogste die tot nu toe gevonden zijn, en sluiten het best aan bij de waarden uit de categorie grasland op zeeklei.

Bijlage 5: Het ecosysteem; te beschermen object of goed voor nutsfuncties?

Het ecosysteem als onderdeel van het milieu is reeds verankerd in het milieubeleid, maar bij elke thema op een andere wijze. Bij formulering van nieuw beleid volgens de transities is het nuttig stil te staan bij de wijze waarop deze verankering is gerealiseerd. Op deze wijze kan de bestaande inhoudelijke en beleidsmatige kennis optimaal ingezet worden als vertrekpunt voor de transities.

De risicobenadering kent een centrale positie binnen het thema verontreiniging.

Logischerwijs hebben risico's van verontreiniging voor de mens en de volksgezondheid een centrale positie bij de formulering van het milieubeleid. Omdat men zich realiseerde dat ecosystemen niet in staat zijn om voor zichzelf op te komen in een onderhandelings situatie, heeft men deze een aparte (losstaande) status gegeven. Bij verontreinigingssituaties worden dus steeds de vragen gesteld: zijn er risico's voor de mens; zijn er risico's voor het ecosysteem? Deze vragen worden in feite apart behandeld en beantwoord.

Bij de andere V-thema's is deze tweedeling in veel mindere mate vormgegeven. Hier bepalen de waargenomen of te verwachten effecten op natuur(elementen) het beleid. Deze effecten werden dan gebruikt als aanknopingspunt voor brongerichte maatregelen, met de bedoeling de milieubelasting te verminderen. Bij natuur(elementen) staat de antropocentrische benadering centraal; de beleving en het beleid werden afgestemd op 'aaibare' aspecten, bijvoorbeeld de grote diersoorten of planten. We vinden natuur mooi omdat het ongerept is, we vinden natuur mooi omdat bepaalde soorten of levensgemeenschappen aanwezig zijn, of we vinden natuur mooi omdat het door onze (landbouw)cultuur werd bepaald. Impliciet gaat men er van uit dat bij natuurbescherming ook het ecosysteem beschermd wordt. De volgende voorbeelden illustreren dat dit niet het geval hoeft te zijn:

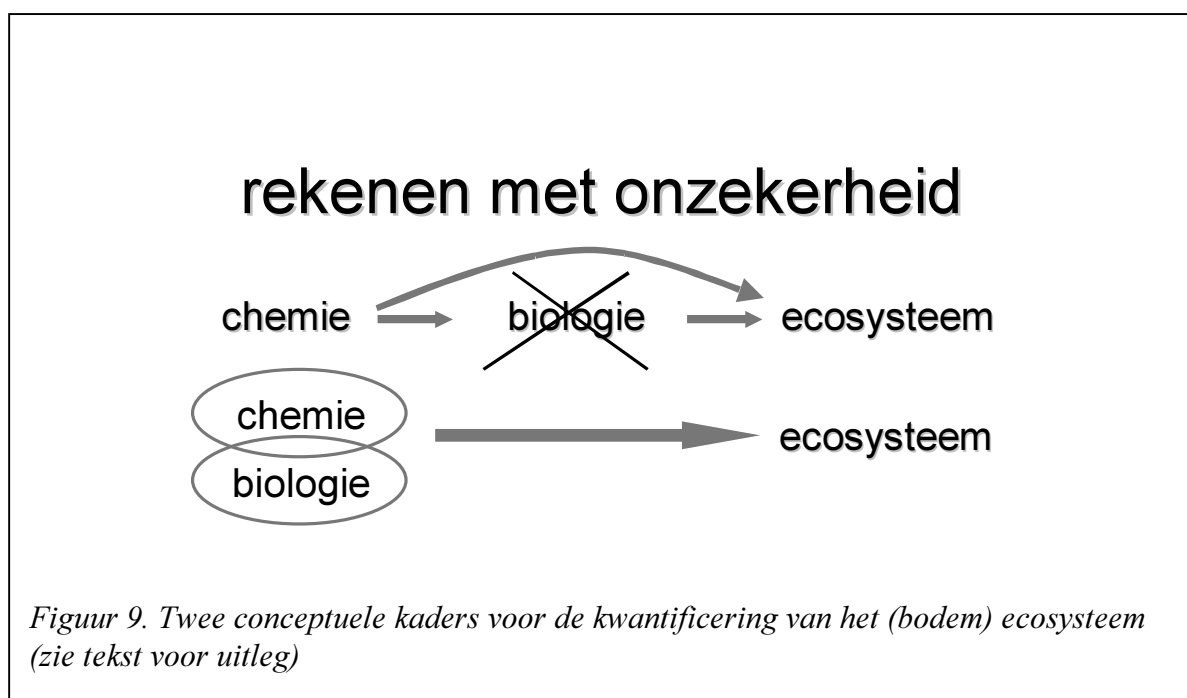
1. Vloevelden trekken in het algemeen veel vogels aan, omdat er veel voedsel aanwezig is. Wanneer wordt overwogen om bevoeiing te stoppen omdat de velden verontreinigd raken, komt de vogelbescherming in actie om op te komen voor het vogelbestand.
2. In het Verenigd Koninkrijk is bodemsanering niet toegestaan wanneer er zeldzame plantensoorten aanwezig zijn op een locatie.

Het ecosysteem en de natuur hebben in deze voorbeelden conflicterende posities in het beleid. Het essentiële verschil is de positie van het ecosysteem: is het een tussenschakel ten behoeve van belangrijk geachte nutsfuncties voor de maatschappij (natuur, duurzame productiviteit, nuttige biodiversiteit en natuurlijke hulpbronnen) of verdient het ecosysteem aandacht als (gedeeltelijk) te beschermen object? De oplossing van dit dilemma is uiteindelijk nodig voor een volledig integraal bodembeleid.

Bijlage 6: Het ecosysteem: rekenen op onzekerheid

Het instrumentarium ten behoeve van het milieubeleid werd sterk geënt op chemische parameters van de bodem; logisch omdat ook milieuthema's zijn gebaseerd op de verschillende bodemchemische parameters (pH, eutrofiering, toxische stoffen, bodemvocht). Vermindering van milieuschade door het verminderen van de druk is lange tijd sturend geweest voor het milieubeleid. Omdat de meeste milieuproblemen hardnekkig bleken, werd de vraag actueel hoe effectief het milieubeleid was in termen van vermindering van schade aan het ecosysteem, aan de natuur, of aan de volksgezondheid. Daarmee ontstond de behoefte om de milieueffecten te kwantificeren. De roep om meer ecologische veldwaarnemingen is hiermee verklaard, maar is deze ook te verdedigen?

Een klassieke gedachtlijn (zie figuur 9) gaat uit van het idee dat bodemchemische en bodemfysische factoren een habitat faciliteren voor het biologische leven. Het (bodem)ecosysteem wordt dan vooral gekenmerkt door de biologische verscheidenheid en de interacties, maar is volledig verklaarbaar uit de abiotische gegevens. Dit idee gaat voorbij aan



het feit dat het biologische leven voor het relevante deel deze abiotische parameters beïnvloedt (voorbeelden; zuurstof en waterstof), zowel op wereldniveau (Mm) als op microniveau (nm). Het gaat ook voorbij aan de overweging dat het ecosysteem niet eenvoudigweg de som is der afzonderlijke delen (molukulen), maar dat een meer holistische beschrijving bijdraagt aan begrip (organismen en levensgemeenschappen).

Een andere klassieke gedachtlijn gaat uit van het idee dat alleen veldbiologische gegevens relevante informatie over het betreffende ecosysteem kunnen opleveren, omdat de chemische en fysische parameters zich 'verder weg' bevinden van het eindpunt. Dit idee gaat voorbij aan het feit dat het ecosysteem dermate gecompliceerd is dat we het nooit kunnen bevatten (vrij naar Egler, 1997: 'ecosystems are not more complex than we think; they are more complex than we can think'). We ontberen een allesomvattende ecosysteemtheorie. Met andere woorden, deskundigen kunnen per definitie niet weten wat belangrijker is: de olifant,

een specifieke groep micro-organismen (of alles wat ertussen zit), of de abiotische parameters.

Een modernere opvatting is dat het biologische leven en de fysische en chemische omgeving niet los beschouwd kunnen worden en dat alle gegevens in principe bijdragen aan de beschrijving van het (eco)systeem (Lancaster, 2000). Echter, de vaststelling van de toestand van een ecosysteem zal altijd subjectief zijn. Voor de beschrijving van een ecosysteem dienen alle gegevens te worden beschouwd en eventueel te worden geïntegreerd; het weglaten of negeren van potentiële gegevens (bijvoorbeeld biologische veldgegevens, of juist de abiotische gegevens) lijdt per definitie tot een onvolledige toestandsbeschrijving. In die zin zijn abiotische en biotische parameters complementair (zie figuur 9); ze leveren allebei unieke informatie. In retrospectief kan bepaald worden welke parameters het sterkste bijdragen aan de toestandsbeschrijving van het ecosysteem, maar op dit moment zijn er onvoldoende gebalanceerde gegevens aanwezig, omdat accent nog te sterk ligt op de abiotische benadering.