

RIVM rapport 607604005 / 2003

Ecologische kwaliteit van de bodem

A.M. Breure¹, M. Rutgers¹, J. Bloem²,
L. Brussaard², W. Didden², G. Jagers op
Akkerhuis², Ch. Mulder¹, A.J. Schouten¹,
H.J. van Wijnen¹

- 1) Laboratorium voor Ecologische Risicobeoordeling, RIVM
- 2) Wageningen Universiteit en Researchcentrum

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van de Directoraat Generaal Milieubeheer, Afdeling Bodem, Water en Landelijk Gebied, in het kader van project Bodemecosystemen.

RIVM, Postbus 1, 3720 BA Bilthoven, telefoon: 030 - 274 91 11; fax:
030 - 274 29 71

Abstract

This report describes what the ecological quality of soil means and two ways to quantify such quality. A high number of processes takes place in the soil. These processes are important for mankind (ecosystem services) as they contribute to, e.g., food production, the quality and type of nature and the production of clean groundwater (for the drinking water production). The role of soil organisms is important in these processes. For a sustainable use of the soil it is important to use and manage the soil organisms in a way that these processes are secured for the future. Also a change in soil use must always be possible.

To facilitate a sustainability policy for the soil a biological indicator for soil quality (BISQ) is being developed, which is designed for application on a national scale. Therefore ecological data are collected on species diversity, species abundance and activity of soil organisms. For environmental policy making a system must be developed to characterise the ecological quality of soil as 'good' or 'bad', or in a sense of 'desired' and 'undesired'.

Two ways to derive quality criteria for soil based on interpretation of the collected data are described.

The mechanistic or functional method: In this method the wanted combination of ecosystem services on a certain place is determined and subsequently the optimal biodiversity within such an ecosystem is deduced by statistic interpretation of soil ecological data that have been collected.

The statistic method: In this method for a certain combination of land-use and soil type data are collected from a group of reference locations that have been classified on beforehand as 'good'. Based on these data, a statistically derived optimal composition of an ecosystem type is given, with the label 'good quality'.

In the application of the indicator, in both approaches it is possible to formulate how far a present local quality satisfies the desired state.

Because of the complexity of the subject it is proposed to use both approaches independently in further development according to the 'multiple lines of evidence' principle. Ideally both approaches will lead to corresponding results.

Finally the further development of the indicator for application on both international and local scale is discussed.

Voorwoord

Dit rapport is geschreven in opdracht van de Directie Bodem, Water en Landelijk Gebied van het Ministerie van VROM in het kader van het project Bodemecosystemen. Het is geschreven ter ondersteuning van de productie van een beleidsnotitie door DGM over het toekomstige bodembeleid. Het is het resultaat van discussies over het belang en de kwantificering van ecologische bodemkwaliteit ten behoeve van een duurzaam bodemgebruik. Verder is aangegeven welk type ontwikkelingsactiviteiten moet worden uitgevoerd voor een optimale inzet van bodem-ecologische kennis voor de onderbouwing van het bodembeleid.

De discussies hebben plaatsgevonden binnen het projectteam van RIVM en WUR dat zich bezig houdt met de ontwikkeling van de Bodembiologische Indicator en tussen individuele leden van dit team met beleidsmedewerkers van BWL en andere deskundigen.

Inhoud

Samenvatting 5

1. Inleiding 6

- 1.1 *Duurzaam bodemgebruik* 6
- 1.2 *Waarvoor is de bodem belangrijk* 6
- 1.3 *Nutsfuncties van de bodem voor de mens* 6
- 1.4 *Welke rol spelen organismen in de bodem?* 7
- 1.5 *Het belang van de bodembiodiversiteit* 7
- 1.6 *Dynamiek van veranderingen in de bodem* 8
- 1.7 *Wat is een goede bodemkwaliteit* 8

2. Ecologische karakterisering van de bodem 10

- 2.1 *Ontwikkeling van de bodembiologische indicator* 10
- 2.2 *Eisen aan een indicator (set):* 10
- 2.3 *Welke ecologische informatie dient de indicator te geven?* 11

3. Distance to target indicator 12

4. Bij welke beleidsvragen kan de indicator een rol spelen 15

- 4.1 *Nieuwe beleidsvragen waarbij de indicator een rol kan spelen* 16

5. Wat hebben we nu en wat kunnen we nu 18

6. Wat moeten we verder doen 19

- 6.1 *Dataverzameling* 19
 - 6.1.1 *Plaatsen van bemonstering* 19
 - 6.1.2 *Type metingen* 19

7. Vaststelling kwaliteitscriteria 20

- 7.1 *De mechanistische of functionele benadering voor de afleiding van kwaliteitscriteria* 20
 - 7.1.1 *Relatie biodiversiteit – functionaliteit* 21
 - 7.1.2 *Indiceren van veerkracht en stressgevoeligheid* 22
 - 7.1.3 *Indiceren van duurzaamheid.* 23

- 7.2 *De statistische benadering voor de afleiding van kwaliteitscriteria* 23

8. Toepasbaar maken van indicatoren voor verschillende doelgroepen 26

- 8.1 *Productie van integrale landsdekkende beelden* 26
- 8.2 *Toepasbaar maken van de indicatoren voor lokaal gebruik* 26
- 8.3 *Toepasbaar maken van de uitkomsten van de indicator voor het internationaal beleid* 27

9. Tenslotte 28

Literatuur 29

Bijlage 1 Lijst met afkortingen 31

Bijlage 2 Verzendlijst 32

Samenvatting

In dit rapport wordt beschreven wat ecologische kwaliteit van bodem is, en op welke wijze deze gekwantificeerd kan worden.

In bodem vinden een groot aantal processen plaats, die van belang zijn voor de mens (nutsfuncties), omdat ze bijdragen aan bijvoorbeeld de voedselvoorziening, het type en de kwaliteit van de natuur en de levering van schoon grondwater (voor de productie van drinkwater). Bodemorganismen spelen een belangrijke rol in die processen. Bij een duurzaam gebruik van de bodem is het van belang, om de bodemorganismen zodanig te gebruiken en te beheren, dat deze processen ook voor de toekomst gewaarborgd zijn. Hierbij moet ook de mogelijkheid beschikbaar blijven om het bodemgebruik te veranderen.

Ter onderbouwing van het duurzaamheidsbeleid van de bodem wordt gewerkt aan de ontwikkeling van een bodembioologische indicator (BoBI) voor gebruik op nationale schaal. Daarvoor worden ecologische gegevens over de soortdiversiteit, het aantal organismen per soort en de activiteit van de organismen verzameld.

Ten behoeve van het beleid moet een karakteriseringssysteem van de bodem worden ontwikkeld in de termen van 'goed' en 'slecht'.

In dit rapport worden twee benaderingen beschreven om tot dergelijke kwaliteitscriteria te komen op basis van de tot dusver verzamelde data.

1) De mechanistische of functionele methode. Hierbij wordt nagegaan welke combinatie van nutsfuncties op een bepaalde plek gewenst is en vervolgens wordt de samenstelling van het daarbij behorende 'goede' bodemecosysteem beschreven met behulp van statistische interpretatie van de verzamelde bodemecologische data.

2) De statistische methode. Bij deze methode wordt voor een bepaalde combinatie van grondsoort en bodemgebruik bodemecologische data van een groep van geografische referenties verzameld en op basis daarvan wordt dan aangegeven wat de optimale samenstelling van het bodemecosysteem type is.

Bij de toepassing van de indicator zou dan, in beide benaderingen, moeten worden aangegeven, in hoeverre de huidige kwaliteit voldoet aan de criteria van de gewenste kwaliteit.

Vanwege de complexiteit van de materie wordt voorgesteld beide benaderingen onafhankelijk van elkaar te ontwikkelen volgens het principe van *multiple lines of evidence*.

Idealiter zullen beide benaderingen uiteindelijk tot een overeenkomend resultaat leiden.

Tenslotte wordt een verdere ontwikkeling van de indicator, voor toepassing op internationale en lokale schaal besproken.

1. Inleiding

1.1 Duurzaam bodemgebruik

Het milieubeleid is in toenemende mate gericht op een duurzaam gebruik van de bodem. Dat wil zeggen dat het huidig gebruik van de bodem geen beperkingen mag opleggen aan het toekomstige gebruik, of aan het gebruik van bodem elders. Bodem is een schaars goed, zeker in een land als Nederland, waar geen plaats is om grond ongebruikt te laten. Goed rentmeesterschap stelt eisen in de vorm van duurzaam bodemgebruik, zodat rooibouw op de bodem niet op toekomstige generaties wordt afgewenteld en gewenst (ander) gebruik van de bodem ook in de toekomst mogelijk is. In Nederland wisselt het bodemgebruik relatief vaak: landbouwgebied wordt natuurgebied, landbouw wordt geëxtensiveerd, nieuwe natuur wordt gepland. Om die veranderingen op een duurzame manier (dat wil zeggen met een minimum aan fysieke ingrepen zoals grondverzet, plaggen etc.) mogelijk te maken worden eisen gesteld aan het functioneren, de veerkracht van de bodem en de mogelijkheid om het type gebruik van de bodem te veranderen.

1.2 Waarvoor is de bodem belangrijk

In de bodem speelt zich een aantal processen af: afbraak van organische stof, kringlopen van nutriënten (stikstof, koolstof, zwavel, fosfaat) en afbraak van verontreinigingen (van groot belang voor de grondwaterkwaliteit). Bovendien speelt de bodem een belangrijke rol bij de waterhuishouding, hij draagt de gebouwen en infrastructuur en is het substratum voor landbouw en natuur. Tenslotte bevat de bodem een groot aantal organismen met een hoge biodiversiteit, die een belangrijke rol spelen bij de vervulling van bovenstaande functies en processen, die in nauwe interactie leven met de bovengrondse levende natuur en grote invloed hebben op bijvoorbeeld plantengroei in natuur en landbouw en het vóórkomen en voorkómen van ziekten in bijvoorbeeld landbouwgewassen.

1.3 Nutsfuncties van de bodem voor de mens

De (ecologische) functies van de bodem vanuit een antropocentrisch gezichtspunt, de zogenaamde nutsfuncties (of ecologische diensten, (TCB, 2003)), zijn afgeleid van de hierboven genoemde processen:

- structuur (van belang voor doorworteling, transport van water en lucht en daardoor ruimte en niches voor bodemorganismen)
- levering van voedingsstoffen voor plant en dier (afbraak van organische stof)
- levering schoon ondiep grondwater (zelfreinigend vermogen)
- levering van schoon diep grondwater
- ziektewerendheid in de landbouw
- geschiktheid voor verandering in het bodemgebruik
- stressgevoeligheid (resistance) / herstelmogelijkheid na verstoring (resilience)
- waterregulatie (doorlatendheid voor water en watervasthoudend vermogen)
- het bieden van een habitat voor organismen
- draagkracht (de mogelijkheid om gebouwen en infrastructuur te dragen)

1.4 Welke rol spelen organismen in de bodem?

Bij een groot aantal van de bovengenoemde nutsfuncties zijn organismen betrokken. Hierboven is aangegeven bij welke processen het bodemecosysteem betrokken is. In de bodem bevindt zich een complexe levensgemeenschap van organismen. Deze organismen zijn met het blote oog niet of nauwelijks zichtbaar en worden daarom als geheel cryptobiota genoemd. In één hectare Nederlands landbouwgrond bevinden zich in de bouwvoor (de bovenste 25 cm) ongeveer 3000 kg (vers gewicht) bacteriën, schimmels, aaltjes, regen- en potwormen, protozoën, springstaarten, mijten en andere arthropoden en insecten, overeenkomend met het gewicht van twee koeien. Deze organismen zorgen er gezamenlijk voor dat allerlei processen in stand blijven. Zij hebben invloed op elkaar via het voedselweb waarvan ze deel uitmaken. Elk type organisme heeft zijn eigen specifieke functie: versnipperen van dood plantaardig en dierlijk materiaal tot grote stukken organische stof, afbraak van stukken organische stof tot grote moleculen, afbraak van grote moleculen tot kleine moleculen en tenslotte het vrijmaken daaruit van nutriënten (koolstof, stikstof, zwavel etc.). Bij de omzetting van organische stof komen tussenproducten en nutriënten vrij. De tussenproducten dienen als voedsel voor de organismen in het voedselweb die de omzettingen uitvoeren. De nutriënten dienen als voedingsstoffen voor planten. Daarnaast dienen bodemorganismen onderling ook elkaar tot voedsel, waarbij ze zeer kieskeurig kunnen zijn: er zijn bijvoorbeeld bacterie-etende nematoden, schimmel-etende nematoden, vlees-etende nematoden, planten-etende nematoden, nematoden-etende schimmels, roofmijten, etc. Daarnaast wordt een deel van de organische stof die op de grond gebracht wordt na omzetting ingebouwd in de organische stof van de bodem, ter verbetering van de structuur ter bevordering van vochtretentie en doorluchting. Regenwormen spelen hierin een belangrijke rol, omdat zij voor een belangrijk deel de porositeit van de bodem verzorgen door het vormen van aggregaten en gangen. Schimmels en bacteriën hebben hierbij een aanvullende rol, omdat zij de kleefstof leveren die van belang is voor de vorming van aggregaten van bodemdeeltjes, de microstructuur. Alle omzettingen gebeuren door specifieke groepen van organismen: schimmels die alleen resten van bepaalde planten kunnen omzetten, bacteriën die alleen specifieke moleculen kunnen gebruiken, tussenproducten, die alleen door specifieke organismen kunnen worden gemaakt.

Het is voorstelbaar, dat gezien het grote aantal omzettingen dat moet plaatsvinden om het geheel aan processen van onder meer structuurvorming, afbraak van organische stof en van de nutriëntenhuishouding in de bodem stabiel te laten verlopen en gezien het grote aantal omgevingsfluctuaties dat optreedt in de loop van de tijd (temperatuurveranderingen over de dag en door het jaar, tijden van vochtigheid en tijden van droogte), een grote diversiteit aan organismen nodig is.

1.5 Het belang van de bodembiodiversiteit

Een duurzaam gebruik van de bodem betekent onder meer, dat op een optimale wijze gebruik wordt gemaakt van de organismen in de bodem om de functie op een zodanige wijze uit te voeren, dat een minimale toevoeging van energie (grondverzet, ploegen) en een minimale toevoeging van chemicaliën (bestrijdingsmiddelen, kunstmest, bekalking) nodig is voor de functies die de bodem moet uitoefenen. Een duurzaam gebruik van de bodem impliceert, dat een zodanige biodiversiteit wordt gehandhaafd, dat die functies ook op de lange termijn kunnen worden uitgevoerd.

In de Wet Bodembescherming wordt aangegeven, dat bodemorganismen een integraal onderdeel van de bodem vormen. Het belang van de bescherming van de bodem bestaat uit het belang van het voorkomen, beperken of ongedaan maken van veranderingen van hoedanigheden van de bodem, die een vermindering of bedreiging betekenen van de functionele eigenschappen die de bodem voor mens, plant of dier heeft. Hieruit spreekt de beschermwaardigheid van de bodem(organismen) vanuit een functionele invalshoek. De belangrijkste reden om biodiversiteit in de bodem te beschermen, die in het verdrag van Rio wordt genoemd naast die van het duurzaam gebruik, is de bescherming vanwege de intrinsieke waarde van biodiversiteit (UNCED, 1992). Het verdient aanbeveling, deze reden van beschermwaardigheid ook in het Nederlandse bodembeleid op te nemen.

1.6 Dynamiek van veranderingen in de bodem

Een belangrijk aspect bij het beheer van de bodem zijn de trage ecologische aanpassings- en herstelmogelijkheden en de veel snellere maatschappelijke dynamiek. Veranderingen van bodemgebruik kunnen in enkele jaren worden gerealiseerd; natuurlijke bodemvorming neemt zeker meer dan 10 jaar in beslag en voor sommige componenten moet meer dan 100 jaar worden gerekend. Het duurt erg lang voordat biologische, chemische en fysische factoren zich ontwikkelen tot een stabiel bodemsysteem. Dit aspect speelt ook de andere kant op: wanneer op dit moment een niet duurzame ingreep wordt gedaan om de bodem op een op dit moment gewenste manier te gebruiken, dan zal de schade zich pas veel later manifesteren en daardoor voor rekening van een ander komen. Dit probleem zou een belangrijke motivatie kunnen zijn voor een 'no-regret' beleid, op basis van het voorzorgprincipe. Dit houdt in dat geen ontwikkelingen in gang worden gezet of worden gedoogd, die op een later tijdstip niet meer ongedaan kunnen worden gemaakt. Ook in beleidsnotities over biodiversiteit wordt gewag gedaan van het voorzorgprincipe ten behoeve van een duurzaam gebruik van ecosystemen. Op dit moment wordt veel onderzoek gedaan om een dergelijk beleid te onderbouwen en een concrete invulling te geven.

1.7 Wat is een goede bodemkwaliteit

Bodemkwaliteit kan worden gedefinieerd als 'de capaciteit van bodem om binnen ecosysteemgrenzen zodanig te functioneren dat productiviteit en milieukwaliteit gehandhaafd worden, en dat plant- en diergezondheid worden bevorderd' (Doran en Parkin, 1994; Stenberg, 1999). 'Binnen ecosysteemgrenzen' betekent dat er rekening wordt gehouden met verschillen tussen bodemtypen en verschillende bodemgebruiksvormen. Bovenstaande definitie is vooral gericht op bodemfuncties en het nut voor de mens. Ook hier ontbreekt het argument van behoud van biodiversiteit.

Hiermee zij gezegd dat de bodemkwaliteit te maken heeft met de mate waarin de functies (duurzaam) (kunnen) worden uitgevoerd. Deze functies omvatten zowel de ecologische functies (bijvoorbeeld de processen in het kader van de mondiale element- en watercycli), als de nutsfuncties voor de mens, zoals de rol in het kader van de voedselvoorziening, de levering van schoon grondwater, en de rol in de waterhuishouding. De bodemkwaliteit wordt gekenmerkt door chemische, fysische en biologische parameters.

Een belangrijke kwestie is de vaststelling van een goede of slechte kwaliteit (Lancaster, 2000). In gradiënten van verontreinigingen is het mogelijk een lokale, schone referentie te gebruiken. Voor andere milieudrukfactoren is zo'n lokale referentie vaak niet aanwezig en is het van belang om over specifieke kennis te beschikken, of over een groot aantal meetgegevens. Combinatie van alle gegevens levert het inzicht in de relatie tussen een

milieudrukfactor en de bodemkwaliteit, of tussen het bodemgebruik en de bodemkwaliteit. De kwaliteit (goed of slecht) van iedere bodem moet worden bepaald in relatie tot natuurlijke variatie in bodemtype, bodemgebruik en klimaat. Daarom kunnen kwaliteitskenmerken alleen afgeleid worden van veldwaarnemingen, gecombineerd met een gewenst functioneren. Uitgebreide monitoring over een langere periode is waarschijnlijk de beste methode om objectieve informatie te verzamelen met betrekking tot verschillen tussen ruimtelijke en tijdsafhankelijke veranderingen door menselijk handelen op het bodemecosysteem.

2. Ecologische karakterisering van de bodem

2.1 Ontwikkeling van de bodembioologische indicator

De mate van duurzaamheid van het gebruik van de bodem moet worden gekarakteriseerd en gekwantificeerd, om de effectiviteit van beleid en beheer vast te kunnen stellen. Een ecologische karakterisering van bodem levert een maat voor de duurzaamheid van het gebruik van de bodem. In de afgelopen jaren is door het RIVM in samenwerking met Alterra en de sectie Bodemkwaliteit van Wageningen Universiteit en Researchcentrum (WUR) onderzoek gedaan om een bodembioologische indicator te ontwikkelen.

Om na te gaan wat de ecologische kwaliteit van de bodem is, worden chemische en biologische gegevens verzameld, die geselecteerd zijn op basis van de organismen in het voedselweb in de bodem. Een beschrijving wordt gegeven in Schouten *et al.* (1997).

De gegevens omvatten:

- voorkomen van soorten (welke soorten komen voor)
- dichtheden van soorten (hoeveel organismen van welke soort)
- activiteiten / processnelheden
- bodemtype en abiotische omstandigheden
- type bodemgebruik

De metingen worden uitgevoerd in het kader van het landelijk meetnet bodemkwaliteit (LMB) van het RIVM. Het overgrote deel van de meetpunten in dit meetnet bestaat uit agrarische bedrijven (180 van de 200) en de bemonstering is op bedrijfsniveau. Deze bemonsteringen worden aangevuld met een aantal referentielocaties in de vorm van biologische bedrijven en natuurgebieden. Op deze wijze worden jaarlijks in totaal 50 à 60 locaties geïnventariseerd en bodembioologisch gekarakteriseerd. (bijvoorbeeld Schouten *et al.*, 2001a, 2002)

2.2 Eisen aan een indicator (set):

De volgende algemene eisen kunnen aan de indicator (set) worden gesteld:

aanwezigheid en beschikbaarheid van kennis en data:

Zijn data aanwezig en toegankelijk en is er kennis die het mogelijk maakt de data te interpreteren zodanig dat er beleidsrelevante informatie uit kan worden afgeleid. Bij de start van de studie bleek geen systematisch overzicht voorhanden van de biodiversiteit in de bodem. Deze informatie wordt momenteel verzameld.

indicatieve waarde / representativiteit

Een indicatoruitslag is nooit een complete beschrijving van een systeem. Daarom moet de vraag beantwoord worden in hoeverre de indicatoruitslag representatief is voor de kwaliteit van het systeem.

aansprekendheid voor politiek en maatschappij

Er is draagvlak nodig zodat politiek en maatschappij betekenis hechten aan de uitslag van de indicator.

stuurbaarheid

Een indicatoruitslag is alleen van nut, als het mogelijk is om deze via bodembeheer te beïnvloeden. Als de indicatoruitslag een niet gewenste situatie aanduidt, moet het mogelijk zijn om ‘aan een knop te draaien’ zodat de bodemkwaliteit verbetert.

meetbaarheid en kosten van meten

De gegevens voor de indicator moeten relatief makkelijk te meten en niet te duur zijn

stabiliteit / bruikbaarheid over een langere periode

De indicatoruitslag moet zodanig robuust zijn, dat een herhaalde meting hetzelfde resultaat oplevert. Daarnaast moet de indicator ook bruikbaar zijn om over een langere periode toe te passen

relatie met menselijk handelen

Er dient een relatie te zijn tussen de indicatoruitslag en het menselijk handelen of het bodembeheer. Dit heeft ook te maken met de stuurbaarheid van de indicator die hierboven is beschreven.

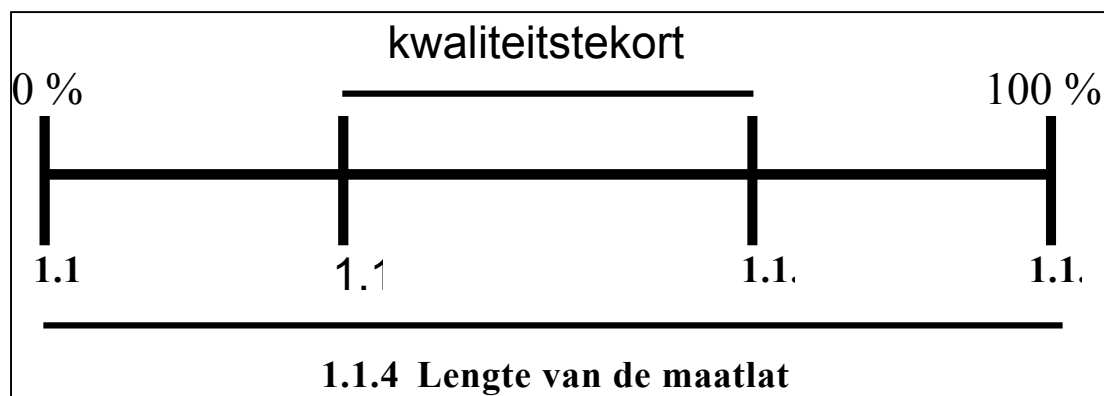
2.3 Welke ecologische informatie dient de indicator te geven?

Van de indicator wordt verwacht, dat deze de huidige toestand (diagnostische waarde) en de gevolgen van veranderingen in bodemgebruik en –beheer (prognostische waarde) aangeeft. Het indicatorsysteem zou uiteindelijk een integraal beeld van de ecologische toestand van de bodem in relatie tot een gewenste of optimale situatie moeten geven. Vanuit het gezichtspunt van het duurzaam functioneren van de bodem zou de indicator gebaseerd kunnen zijn op de meting van bodemprocessen, zoals de stofkringlopen zelf. Bodemprocessen fluctueren echter sterk in tijd en ruimte. Vaststelling van een gemiddelde omzetting over het jaar vraagt een intensieve bemonstering en kan om praktische redenen niet op landelijke schaal worden uitgevoerd. Bovendien treden veranderingen in het voorkomen van organismen vaak veel eerder op dan veranderingen in processen (early warning). Daarom is de indicator gebaseerd op aantallen organismen (biomassa), activiteit (met name microbiële) en de soortensamenstelling (met name fauna), geaggregeerd in functionele groepen, als maat voor de capaciteit van processen. Functionele groepen van bodemorganismen zijn groepen van organismen, die een gelijksoortige functie vervullen in het ecosysteem, bijvoorbeeld de groep van schimmel-etende nematoden, eiwitafbreekende bacteriën, en predatore mijten. Wanneer een soort binnen een functionele groep verdwijnt, kan een andere soort de taak overnemen (redundantie). Bij bodemverontreiniging of verstoring treedt dominantie op van enkele resistente soorten, neemt het aantal soorten per functionele groep af, wordt de basis van het ecosysteem smaller en wordt het ecosysteem instabieler. Daarom is de indicator opgebouwd rond de volgende werkhypothese:

Bedreiging van vitale bodemprocessen kan worden bepaald door de soortensamenstelling binnen een functionele groep in een bepaald gebied te vergelijken met die in een ongestoorde situatie.

Wanneer de soortenrijkdom binnen een functionele groep afneemt, wordt daarmee de ecologische kwaliteit minder, omdat de redundantie afneemt: als een soort uitvalt zijn er minder mogelijkheden om de taak over te nemen.

3. Distance to target indicator

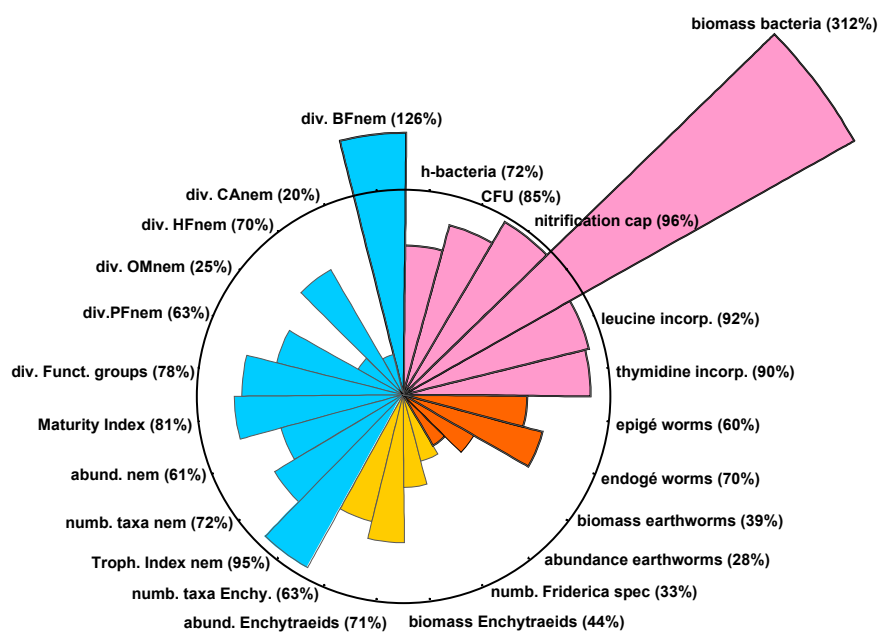


Figuur 1: Opbouw van een distance to target indicator. A = negatieve referentie, B = actuele situatie, C = gekozen kwaliteitsdoel, D is positieve referentie.

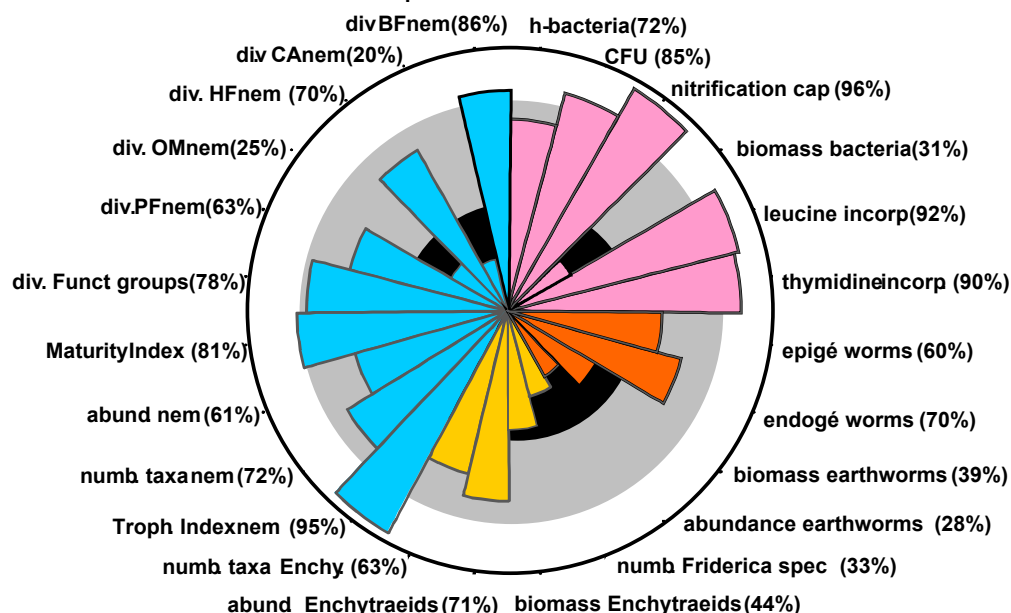
Om een indicator te kunnen inrichten is het noodzakelijk een maatlat te definiëren. De lengte van een maatlat kan gedefinieerd worden met behulp van een aantal positieve en negatieve referenties. Het verschil tussen de actuele en de gewenste situatie is dan het kwaliteitstekort (Fig. 1).

Referenties kunnen geografische referenties zijn, of historische referenties, of zelfs theoretische referenties.

In de loop van het onderzoek naar de ontwikkeling hebben we de distance to target indicator weergegeven als een amoëbe-figuur, waarbij we als referentie voor een categorie agrarische bedrijven het biologisch bedrijf hebben gekozen. Daarbij hebben we voor het gemak ook de referentie gelijk gesteld aan het beoogde kwaliteitsdoel. Het resultaat is weergegeven in figuur 2.



Figuur 2: Weergave van de meetresultaten van een specifieke groep bedrijven als een amoebe-figuur. De referentie (biologische bedrijven) is op 100 % gesteld (de cirkel) en de uitslagen van de verschillende metingen op de reguliere bedrijven zijn in de verschillende staven weergegeven.



Figuur 3: Een weergave van een distance to target indicator, waarbij een optimaal gebied is gedefinieerd (de buitenste witte cirkel), een tussengebied (de grijze cirkel) en een minimum kwaliteit (de zwarte cirkel).

De indicator zou ook kunnen worden opgebouwd op een wijze dat een optimale en een minimale kwaliteit zijn gedefinieerd. Die zou dan kunnen worden weergegeven als in figuur 3. Een dergelijke opbouw van de indicator zou aansluiten bij de ideeën zoals die nu bij DGM leven.

4. Bij welke beleidsvragen kan de indicator een rol spelen

Bij de beleidsontwikkeling voor duurzaam bodemgebruik zijn in eerste instantie de volgende vragen gesteld:

Wat is de huidige toestand van de bodem?

Welke eisen stelt het bodemgebruik aan het bodemecosysteem?

Wat is de invloed van beheersmaatregelen op het functioneren van de bodem?

Wat is een goede ecologische kwaliteit van de bodem?

Ad 1. Op deze vraag wordt een antwoord gezocht via inventarisatie van bodembioologische gegevens in Nederland. In een meetprogramma worden gegevens verzameld over het voorkomen en de dichtheden van bodemorganismen, gemeten processnelheden, bodemkenmerken zoals pH, fosfaatgehalte, gehalten organische stof en lutum, concentraties van zware metalen en bodemgebruik. Er wordt verder rekening gehouden met de monsterdatum en de coördinaten van elke bemonsterde locatie. Met behulp van statistische technieken worden relaties afgeleid tussen abiotische omstandigheden, bodemgebruik en voorkomen van soorten (habitat – respons relaties). Berekeningen tonen aan, dat verschillende soorten verschillende gevoeligheden hebben voor verschillende typen milieudruk (Breure *et al.*, 2002; Mulder *et al.*, 2003a). Dat betekent, dat bij toenemende milieudruk niet alleen soorten verdwijnen, maar ook competitieve soorten kunnen verschijnen. Gegevens over de abiotische omstandigheden van de Nederlandse bodem, weergegeven in GIS bestanden, in combinatie met de habitat – respons relaties bieden de mogelijkheid om landsdekkende uitspraken te doen over de samenstelling en de toestand van het bodemecosysteem (Breure *et al.*, 2002).

Ad. 2. Deze vraag is momenteel nog niet compleet te beantwoorden, omdat nog maar weinig kwantitatieve relaties gelegd zijn tussen bodemgebruik en de bijbehorende nutsfuncties van het bodemecosysteem. Voor de hand liggende aanknopingspunten zijn: nutriëntenvoorziening voor plantengroei, stabiele wormengemeenschappen voor een goede bodemstructuur en als voedsel voor zoogdieren en vogels, afbraak van organische stof (bijvoorbeeld plantenresten), goede bodemstructuur voor plantengroei, waterdoorlatend vermogen, etc.

Een andere overweging is dat het systeem voldoende veerkracht moet bezitten om verandering van bodemgebruik, mogelijk te maken, bijvoorbeeld conversie van reguliere landbouw naar natuur. Veerkracht lijkt één van de maten waaruit de functie van biodiversiteit blijkt. Een afleiding van een maat voor veerkracht uit de huidige dataset vereist nog veel ecologisch onderzoek, maar daar wordt op verschillende plaatsen aan gewerkt, onder andere binnen het onderzoeksprogramma van SSEO, het Stimuleringsprogramma Biodiversiteit en het strategisch onderzoek van het RIVM en Alterra.

Ad 3. Uit het databestand kan bijvoorbeeld het effect van extensivering van de veeteelt worden afgeleid (Breure *et al.*, 2002; Rutgers *et al.*, 2002; Mulder *et al.*, 2003b). Bij extensivering zal de bodembiodiversiteit toenemen. De habitat - respons relaties (zie ad 1) bieden ook de mogelijkheid om het effect van veranderingen in bijvoorbeeld de zuurgraad of de grondwaterstand te berekenen. Op basis van de huidige dataset is het niet mogelijk om trends in de tijd aan te geven, omdat iedere locatie nog slecht één keer bemonsterd is. Eind 2003 ontstaat voor de eerste keer de mogelijkheid om met de bodembioologische indicator (BoBI) een vergelijking in de tijd te maken; grasland op zeeklei is een categorie waar twee volledige sets gegevens over verzameld zijn, namelijk in 1997 en in 2003.

Ad 4. Bodemleven kan gevoelig en reproduceerbaar worden gemeten en wordt door milieudruk of bodemgebruik beïnvloed. In Nederland is ongestoorde natuur een zeldzaamheid, evenals ongestoorde ecosystemen. Met andere woorden, impliciet accepteren we (beleid, gebruikers) dat het bodemecosysteem door de mens wordt beïnvloed. Hierdoor is het moeilijk vanuit historisch perspectief de vraag te beantwoorden aan welke voorwaarden een gezond of kwalitatief goed bodemecosysteem moet voldoen. In feite is deze vraag niet meer objectief te beantwoorden en moeten maatschappelijke keuzes worden gemaakt (zie ook Breure, 2002 en Rutgers *et al.*, 2002).

Het milieubeleid, dat is gericht op duurzaam gebruik van de bodem, stelt, dat het huidig gebruik van de bodem geen beperkingen mag opleggen aan toekomstig gebruik van de bodem, of aan het gebruik van de bodem elders. Verder moet een keuze voor een beleidsdoel gemaakt worden op basis van de afweging tussen een zo min mogelijk verstoord systeem (nu en in de toekomst) en de gewenste ecologische nutsfuncties van de bodem voor het betreffende bodemgebruik. Voor agrarische ecosystemen zou als referentie de situatie van vóór 1950 gebruikt kunnen worden, analoog aan de aanpak binnen het natuurbeleid. Een andere mogelijkheid is de situatie op biologische bedrijven of in oorspronkelijke natuurgebieden als 'duurzaam' of 'goed' te kwalificeren. Een consequentie is, dat referenties moeten worden gekozen, voor verschillende combinaties van grondsoort en bodemgebruik. Andere opties zijn referenties die theoretisch worden afgeleid van het gewenst functioneren van de bodem met betrekking tot C- en N-mineralisatie capaciteit, stabiliteit van het voedselweb, en / of diversiteit binnen functionele groepen van bodemorganismen. Een eerste (minimale) optie is het voorkomen van (verdere) achteruitgang van de biodiversiteit binnen een categorie van bodemsoort en bodemgebruik.

4.1 Nieuwe beleidsvragen waarbij de indicator een rol kan spelen

Tijdens de evaluerende workshop 'Bodemleven, Bodemkwaliteit en Duurzaam bodemgebruik' van 3 oktober 2002 (Rutgers *et al.*, 2002) kwam een aantal nieuwe vragen naar voren.

Lokaal:

- Op welke wijze kan de boer op zijn bedrijf optimaal gebruik maken van de bodemecologie, bodemvruchtbaarheid, ziekten- en plaagonderdrukking. Welk handelingsperspectief kan aan boeren worden geboden
- Op welke wijze kan de bodembioologische indicator een rol spelen in het gebiedsgericht beleid

Nationaal:

- Hoe ligt de relatie tussen bodembiodiversiteit en duurzaamheid van bodemgebruik
- Wat zegt de samenstelling van de bodembiodiversiteit over de veranderbaarheid van het bodemgebruik
-

Internationaal:

- Welke rol speelt bodembiodiversiteit bij gebruikduurzaamheid van de bodem (EU)
- relatie bodembiodiversiteit – bodemvruchtbaarheid – voedselzekerheid (FAO)

- productieondersteunende biodiversiteit (OECD)
- rol van de bodembiodiversiteit in de totale habitatfunctie van een (agro)ecosysteem voor 'wilde' natuur (bijvoorbeeld weidevogels) (OECD)
- bodemgebruik in relatie tot eerlijk delen in de vruchten van biodiversiteit (UN/CBD)

Tijdens een recente workshop over indicatoren voor bodembiodiversiteit van de OECD werd vanuit de EU benadrukt, dat bodembiodiversiteit net zo belangrijk is als bovengrondse biodiversiteit en dat daarom data verzameld moesten worden over die grootheid (OECD 2003), niet alleen vanuit de functionele, maar ook vanuit de intrinsieke waarde.

5. Wat hebben we nu en wat kunnen we nu

In de afgelopen jaren is een infrastructuur opgebouwd door RIVM en WUR in opdracht van DGM en LNV waarbinnen gegevens kunnen worden verzameld over het voorkomen en de diversiteit van soorten in de bodem, in relatie tot bodembeheer, bodemtype en abiotische factoren. Met die data is een database opgebouwd, die gebruikt wordt om op verschillende niveaus informatie te leveren, onder andere aan het project 'Integraal Bodembeheer'. Met behulp van de gegevens kunnen verschillende typen ecosystemen vergeleken worden. In principe kunnen referenties uit de database worden afgeleid. Tevens kunnen trendanalyses worden gedaan over het effect van intensiteit van bodemgebruik op de bodembiodiversiteit (bijvoorbeeld Breure *et al.*, 2002). Ook zijn methoden ontwikkeld om landsdekkende beelden te creëren, met behulp van GIS technologie. Inmiddels wordt gewerkt aan de ontwikkeling van prognostische technieken, die kunnen worden toegepast ter onderbouwing van keuzen die gemaakt worden bij het bodemgebruik. De eerste resultaten daarvan zijn inmiddels verschenen in de internationale literatuur. (Mulder *et al.*, 2003 a,b).

6. Wat moeten we verder doen

6.1 Dataverzameling

6.1.1 Plaatsen van bemonstering

Om een goed inzicht te krijgen in de temporele variatie (trends in de tijd) is het noodzakelijk om de monitoringsactiviteiten voort te zetten. Ontwikkeling van de biodiversiteit en van de duurzaamheid van het gebruik van het bodemecosysteem kan alleen worden nagegaan door in de tijd herhaalde veldmetingen. De structuur en de aanpak van het LMB is op dezelfde grondslag gebaseerd met een regelmatige monitoringscyclus. Daarnaast zal moeten worden geëvalueerd of er meer en andere locaties buiten het LMB zouden moeten worden bemonsterd. Een groot aantal combinaties van bodemtype en bodemgebruik zijn in het LMB niet vertegenwoordigd, bijvoorbeeld waar het gaat over wonen en recreatie. Voor toepassing van BoBI op bijvoorbeeld boerderij of perceelniveau zal de meetstrategie in belangrijke mate moeten worden aangepast.

6.1.2 Type metingen

In de afgelopen jaren hebben de ontwikkelingen niet stil gestaan. Zaken die in 1997 niet routinematig konden worden gemeten kunnen dat nu waarschijnlijk wel. Te denken valt aan de metingen van schimmels en protozoën. Deze organismen spelen een zeer belangrijke rol in de bodem en inmiddels zijn er technieken om die routinematig te meten (Bloem en Breure, 2003; Mulder *et al.*, 2003a). Andere typen metingen zijn wel gedaan, maar blijken bij nadere beschouwing van de resultaten minder bruikbaar te zijn in een monitoringstrategie, op basis van zowel wetenschappelijke als economische argumenten.

In alle gevallen zal het noodzakelijk zijn de verzameling van basisdata op grond waarvan alle hieronder genoemde onderwerpen kunnen worden aangepakt voort te zetten. Voor wat betreft de managementgegevens over de agrarische bedrijven zal de samenwerking met het LEI (Landbouw Economisch Instituut) moeten worden verbeterd, om beter gebruik te kunnen maken van de data.

7. Vaststelling kwaliteitscriteria

Met de data die tot en met 2003 verzameld zijn kunnen we een eerste aanzet geven tot het beschrijven van referentiesystemen, bijvoorbeeld à la de beschrijving van natuurdoeltypen in Bal *et al.* (2001). Hiermee wordt een begin gemaakt met het beantwoorden van een vraag die gesteld werd door De Wit (DGM) over het afleiden van normen tijdens de workshop van 2002 (Rutgers *et al.*, 2002).

Hierbij is het echter wel noodzakelijk, dat er beleidsmatige keuzen worden gedaan over de wenselijkheid van bepaalde typen (bodem)ecosystemen. Er zijn twee mogelijkheden om kwaliteitscriteria af te leiden:

1. Aansluiting zoeken bij de systematiek die gebruikt wordt bij de afleiding van de BodemGebruiksWaarden (Lijzen *et al.*, 1999, 2002). Hierbij worden verschillende combinaties van grondsoorten en bodemgebruik onderscheiden. Daarbij wordt per combinatie het gewenste functioneren gedefinieerd. Op basis van de kennis over de relatie functionaliteit biodiversiteit kunnen dan criteria worden geformuleerd. Dit hoeft niet direct te betekenen dat dit ook wettelijke normen zijn. Deze criteria kunnen gewoon worden afgeleid van het gewenste gebruik door de beheerder. Deze benadering zou de mechanistische of functionele benadering kunnen worden genoemd.
2. Voortgaan op de eerder ingeslagen weg, waarbij een groot aantal waarnemingen wordt gedaan op een als 'gewenst' en 'representatief' gekenmerkte combinatie van grondsoort en bodemgebruik, waarna de gemiddelde waarde van de verschillende deelindicatoren zou kunnen dienen als een soort referentie. Deze benadering zou de statistische benadering kunnen worden genoemd.

Idealiter zijn deze twee benaderingen complementair, ze leiden beide tot numeriek vergelijkbare kwaliteitscriteria voor het bodemecosysteem. Vanwege de complexiteit van de materie is de meest praktische werkwijze beide benaderingen onafhankelijk van elkaar te ontwikkelen volgens het principe van *multiple lines of evidence*. Wanneer beide sporen in redelijke mate bij elkaar komen, dan kan een kwaliteitscriterium worden voorgesteld door de inzichten te combineren. Wanneer beide sporen niet bij elkaar komen, moet naar de achterliggende oorzaken gezocht worden door middel van gericht onderzoek. Daarna kunnen de beide sporen alsnog gecombineerd worden.

7.1 De mechanistische of functionele benadering voor de afleiding van kwaliteitscriteria

Voor deze benadering worden verschillende combinaties van grondsoort en bodemgebruik onderscheiden. Daarbij wordt per combinatie het gewenste functioneren gedefinieerd. Een aantal stappen moet worden gezet. De typen bodemgebruik waarvoor dan referentiebeelden zouden moeten worden geformuleerd zijn:

- Landbouw (akkerbouw)
- Landbouw (grasland)
- Natuur
- Wonen en recreatie in de stad
- Wonen en recreatie in landelijk gebied
- 'verharde bodem'

De referentiebeelden moeten vervolgens worden geformuleerd voor verschillende bodemtypen. Een eerste set te onderscheiden bodemtypen omvat:

- zeeklei

- rivierklei
- zavel
- zand
- veen

Combinatie van de verschillende typen bodemgebruik en grondsoort betekent dat dertig referentiebeelden zouden moeten worden beschreven. Verschillende nutsfuncties stellen verschillende eisen aan het ecologische deel van de bodem. Bijvoorbeeld: voor de structuurvorming zijn regenwormen en micro-organismen erg belangrijk. Voor de regulatie van ziekten en plagen is de aan- of afwezigheid van antagonisten van plantparasitaire nematoden van belang. Sommige nutsfuncties zijn minder belangrijk voor bepaalde typen bodemgebruik. Voor bijvoorbeeld verharde bodem is de ziekteverendheid niet van belang. Dergelijke overwegingen leveren gezamenlijk tabel 1, waarin de nutsfuncties aan verschillende typen bodemgebruik zijn gekoppeld.

Tabel 1: De nutsfuncties van de bodem die bij verschillende typen bodemgebruik relevant zijn.

	levering voeding- stoffen plant en dier	water- regulatie	struc- tuur	levering schoon ondiep grond- water	levering schoon diep grond- water	ziekte- werend- heid in de land- bouw	verander- baarheid van het bodem- gebruik	stress- gevoelig- heid
Grasland	X	X	X	X	X	X	X	X
Akkers	X	X	X	X	X	X	X	X
Natuur	X	X	X	X	X			X
Wonen en recreatie stedelijk	X	X	X	X			X	X
Wonen en recreatie landelijk	X	X	X	X	X			X
Verharde bodem		X	X	X				

7.1.1 Relatie biodiversiteit – functionaliteit

De verzamelde gegevens kunnen worden gebruikt om de modellen over de relaties tussen biodiversiteit en functionaliteit te valideren en worden daarmee toepasbaar voor het beleid. Hiermee komen ook interventiestrategieën ter beschikking om een optimale biodiversiteit te verkrijgen. Het onderzoek dat hiervoor noodzakelijk is wordt voor een belangrijk deel

uitgevoerd binnen het Strategisch onderzoeksprogramma van het RIVM. Een belangrijk aspect dat bij de interpretatie van de monitoringgegevens een rol speelt is de historie van de locatie waarvan de data afkomstig zijn. Voor zover het landbouwbedrijven betreft, zijn dergelijke gegevens beschikbaar bij het LEI. In de toekomst moet een zodanige relatie met het LEI worden aangegaan, dat die gegevens voor de interpretatie van de monitoringgegevens beschikbaar komen.

Inmiddels is wel een richting aan te geven welke ecologische parameters van belang zijn voor verschillende nutsfuncties (Tabel 2).

Uit de tabel blijkt, dat veel ecologische parameters betrokken zijn bij verschillende nutsfuncties. Bij sommige nutsfuncties zijn volledig dezelfde ecologische parameters genoemd. Afhankelijk van de nutsfunctie zou de waarde van die parameter kunnen verschillen. Verder is het optimum afhankelijk van het bodemtype en van de gebruiksvorm.

Tabel 2: Overzicht van de ecologische parameters die indicatief zijn voor verschillende nutsfuncties

nutsfunctie	belangrijke ecologische parameters
levering voedingstoffen plant en dier	voedselweb incl. Regenwormen primaire productie verhouding bacterien/schimmels (de)nitrificatie
waterregulatie	Regenwormen dichtheden en verhouding bacterien/schimmels zuurgraad (pH); gehalte organische stof (OS); grondwatertrap
structuur	regenwormen, bacterien/schimmels Channel Ratio van nematoden (Yeates 2003) zuurgraad (pH), gehalte organische stof (OS)
levering schoon ondiep grondwater	specifieke activiteit bacterien/schimmels schone bodem mate uitspoeling stikstof (N), fosfaat (P), gehalogeneerde verontreinigingen (EOX) stikstof (N)-cyclus
levering schoon diep grondwater	hoeveelheid en biodiversiteit van bacterien/schimmels schone bodem mate uitspoeling stikstof (N), fosfaat (P), gehalogeneerde verontreinigingen (EOX) stikstof (N)-cyclus
ziekte-werendheid in de landbouw	Plant Parasitaire Index van nematoden dichtheden en verhoudingen bacterien/schimmels mycorrhiza-schimmels
veranderbaarheid van het bodemgebruik	diversiteit van de bodemorganismen concentraties stikstof en fosfaat in de bodem
stressgevoeligheid	Diversiteit

7.1.2 Indiceren van veerkracht en stressgevoeligheid

Een belangrijke vraag die beantwoord moet worden is: wat is de mate van veerkracht van het bodemecosysteem? Beantwoording van die vraag kan alleen met behulp van veel ecologische kennis. De veerkracht is afhankelijk van de (combinatie van) milieudruk(ken) die op het systeem worden uitgeoefend. De vraag zal mogelijk alleen modelmatig kunnen worden

beantwoord in een aantal specifieke gevallen. Over het algemeen kan gezegd worden, dat het functioneren van de bodemprocessen stabiel is bij een toenemende biodiversiteit binnen functionele groepen, omdat in dergelijke gevallen er een maximale mogelijkheid is dat een functie wordt overgenomen door een ander organisme bij verlies van een specifieke soort vanwege stress.

7.1.3 Indiceren van duurzaamheid.

Op dit moment worden de resultaten van de monitoringactiviteiten ingebracht binnen het project Integraal Bodembeheer (zie ook Van Wezel *et al.*, 2003), waarbinnen in het kader van het duurzaamheidsbeleid een inventarisatie wordt gemaakt van het ecologisch kapitaal in de bodem. Daarnaast is er in het kader van het SKB-project 'PERISCOOP' een raamwerk opgesteld voor de ontwikkeling van beleids- en beheersinstrumenten voor duurzaam bodemgebruik, op basis van het bodemecosysteem (Van de Waarde *et al.*, 2003). Het raamwerk bestaat uit zes kaders die dynamisch in elkaar grijpen, zoals bodemgebruik, de 'nutsfuncties' van het bodemecosysteem, en bodemecologische parameters.

7.2 De statistische benadering voor de afleiding van kwaliteitscriteria

Ook voor deze benadering is het noodzakelijk om een aantal combinaties van grondsoort en bodemgebruik te kiezen. Per combinatie zouden dan referenties moeten worden afgeleid, door als referentie voor een bepaald type bodemgebruik op een bepaalde bodemsoort gebruik te maken van een (zo groot mogelijk) aantal locaties / percelen die als representatief (goed) worden beschouwd. De beoordeling van die representativiteit kan komen van de gebruiker van de grond.

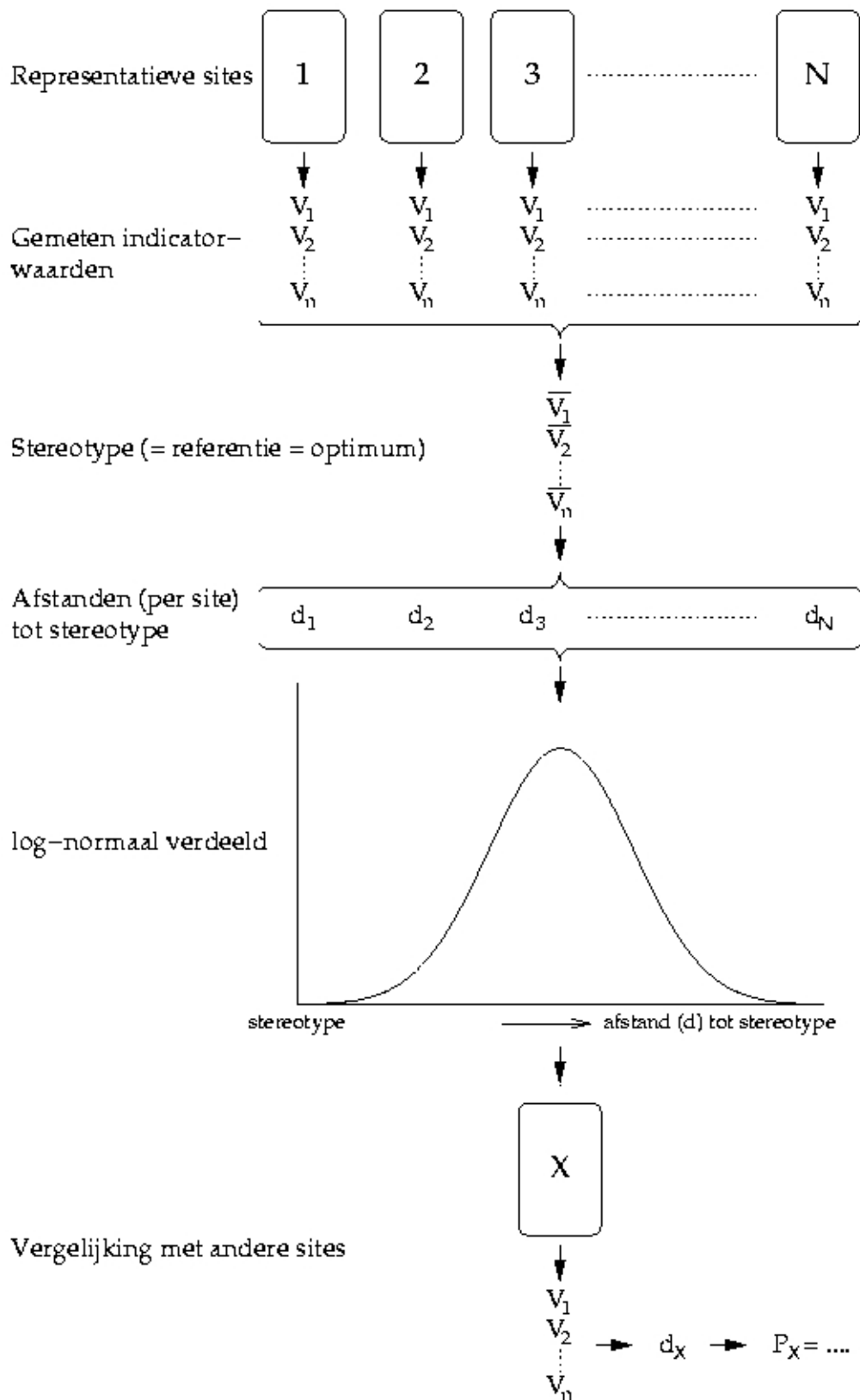
De gemiddelde waarden van de indicatoren binnen een set referenties kan worden gebruikt als algemene referentie (stereotype, ook te omschrijven als de centroïde (het centrum) van een cluster) voor de betreffende functie in het betreffende type bodemgebruik. Dat zou bijvoorbeeld voor de functie waterregulatie in grasland op zeelei resulteren in een set waarden voor bacteriën, schimmels, potwormen, nematoden etc. Een dergelijke referentie is dan dus tegelijkertijd het optimum voor het betreffende type site. Met andere woorden: beter dan de referentie kan niet, je kunt er alleen in meer of mindere mate van afwijken. Voordelen van deze benadering zijn dat de eigenschappen van de referentie worden vastgelegd, en dat de beschrijving desgewenst kan worden gepreciseerd door bijv. nieuwe representatieve sites aan de bestaande set toe te voegen. Een schematische weergave van deze benadering is gegeven in figuur 4.

Een additionele, en bijzonder nuttige, kant van deze benadering is dat voor elke representatieve locatie in een set de afstand kan worden bepaald tot de centroïde, en dat die afstanden log-normaal zijn verdeeld. Een cumulatieve kansverdeling kan zodoende gebruikt worden om de waarschijnlijkheid te berekenen dat een willekeurige andere site deel zou kunnen uitmaken van de referentieset.

De grote voordelen van deze benadering zijn 1) dat er een eenduidig omschreven referentiebeeld voor elk type locatie en 'site-type' op tafel komt, 2) dat per soort indicator kan worden vastgesteld of deze bruikbaar is voor monitoring van een specifieke functie, en 3) dat voor nieuwe locaties eenduidig kan worden vastgesteld in hoeverre ze verwant zijn met het vastgelegde stereotype. Grootste 'nadeel' zou zijn dat wordt afgestapt van een referentiebeeld dat ergens ongrijpbaar achter de horizon zweeft, en dat dat wordt vervangen door een referentie die je ook 'gemiddeld goed' zou kunnen noemen. Anderzijds doen we dan

eindelijk voor de bodembiologie wat vegetatiekundigen meer dan een halve eeuw geleden voor de huidige streefbeelden hebben gedaan.

Er zijn natuurlijk nog technische vragen op te lossen bij deze benadering. De belangrijkste daarvan zijn 1) hoe om te gaan met verschillende eenheden van indicator-waarden, en 2) wat de beste afstandsmaat zou zijn om in deze benadering te gebruiken. De eerste try-outs van deze benadering (met nematoden en met potwormen) laten bemoedigende resultaten zien.



Figuur 4: Schematische weergave van de statistische benadering om te komen tot referentiebeelden.

8. Toepasbaar maken van indicatoren voor verschillende doelgroepen

8.1 Productie van integrale landsdekkende beelden

De tot op heden gevolgde werkwijze was gericht op de ontwikkeling van een nationaal monitoringsysteem en een set van kwaliteitscriteria voor duurzaam bodemgebruik. Vanuit het databestand dat tot nu toe is opgebouwd, kan een aantal globale landsdekkende beelden worden gegenereerd. Hierbij is, gezien de relatief beperkte omvang van het databestand, de onzekerheid nog erg groot. Op dit moment wordt, ook in het kader van het strategisch onderzoek van het RIVM gewerkt aan de ontwikkeling van statistische technieken, om maximaal gebruik te kunnen maken van de informatie (Schouten *et al.*, 2002). Ook internationaal wordt dit werk getoetst (Mulder *et al.*, 2003a,b).

Om de indicator voor andere doelgroepen (individuele boeren, provincies, internationale organisaties) geschikt te maken is een aantal acties nodig.

8.2 Toepasbaar maken van de indicatoren voor lokaal gebruik

Voor toepassing op lokale schaal dient een apart instrumentarium te worden ontwikkeld, dat qua zeggingskracht vergelijkbare resultaten moet opleveren als de huidige BoBI-indicator. Qua inspanning en kosten moet de indicator aangepast worden aan de economische betekenis van het resultaat, bijvoorbeeld aan de omvang van potentiële aanpassingen in het bodembeheer, of de waarde van de grond. Een aantal denkrichtingen is reeds verkend, zoals een aangepaste monsterstrategie, en een indicatorset gericht op drie niveaus (soorten, biomassa en activiteit) en/of een doorsnede uit het voedselweb (micro-organismen, grazers, predatoren). De toepassingen van bodembioologische bodemkarakterisering in de praktijk kunnen goed in een samenwerkingsverband met LNV gerealiseerd worden. De ontwikkeling van indicatoren voor lokale en regionale toepassingen levert ook voor het landelijk beleid goed bruikbare resultaten. Met het instrumentarium zouden bijvoorbeeld de Provinciale Uitvoeringsplannen (PUP) beoordeeld kunnen worden. Het door Brand (LNV) tijdens de workshop 'Bodemleven, bodemkwaliteit en duurzaam bodemgebruik' genoemde onderzoeksprogramma van LTO kan hiervoor uitstekende mogelijkheid bieden (Rutgers *et al.*, 2002). Op dit moment wordt daarover overleg gevoerd. Ook corporaties van biologische boeren zijn hierin zeer geïnteresseerd bleek uit de voordracht van Van Eekeren (Louis Bolk Instituut) tijdens dezelfde workshop. Concreet kan dit betekenen: de ontwikkeling en het testen van een 'mini-BoBI' of 'lokale-BoBI', samen met WUR, UU, LBI, PRI, PV en LTO; waarbij de financiering gedeeltelijk via de VROM/LNV route loopt en additioneel via LTO. Aansluiting bij LTO-FAB, VEL-VANLA, Bioveem-projecten, etc. moet daarbij worden nagestreefd. Essentieel is de beschikbaarheid van managementgegevens (bijvoorbeeld via het LEI). Met behulp van managementgegevens kunnen ook de bestaande gegevens in de BoBI database ingezet worden voor de ontwikkeling van een lokaal toepasbaar instrumentarium. Met behulp van een goede opzet van meetinspanningen (proeflocaties, specifiek geselecteerde locaties) kunnen specifieke hulpmiddelen voor duurzaam bodembeheer verkregen worden.

8.3 Toepasbaar maken van de uitkomsten van de indicator voor het internationaal beleid

EU (2002), OECD (2003) en FAO (2002) en aanleverende internationale organisaties zoals EEA en European Soil Bureau (Ispra) staan aan het begin van een ontwikkeltraject voor de toepassing van 'bodembioologische indicatoren' en monitoring van bodemkwaliteit. In de vorig jaar uitgegeven strategienota over de route naar een duurzaam bodembeheer in de EU (2002) staat aangegeven dat bijvoorbeeld organische stof, bodemfuncties, en bodembiodiversiteit aandacht behoeven. Er zijn contacten met de drie internationale kaders en Nederland kan daarin een actieve rol spelen. In andere landen blijken verschillende ideeën te bestaan over de opzet van dergelijke programma's. Nederland is wat betreft de ontwikkeling van een landsdekkend bodemmonitoringsysteem een voorloper. Het European Soil Bureau in Ispra heeft gevraagd naar onze protocollen om deze te gebruiken bij de opzet van een Europees monitoring netwerk.

Op dit moment wordt ook samen met Duitsland gewerkt aan een afstemming van bodemmonitoringsystemen (onder andere Römcke *et al.*, in voorbereiding). Verder zijn de activiteiten ingebracht in het onderzoeksprogramma LANDSCAPE vanuit het 6e kaderprogramma van de EU en in de voorbereidende activiteiten voor de invulling van de European Soil Directive.

9. Tenslotte

In de afgelopen periode is een schat aan gegevens verzameld. Deze periode heeft ook geleerd, dat het onderwerp bodemecologie in het beleid, nationaal (zie onder andere Chemielinco, 2002; TCB, 2000a,b, 2003), maar ook internationaal aan belangstelling gewonnen heeft. De ervaring die tot nu toe is opgedaan kan in Nederland al in beperkte mate worden aangewend om verschillende combinaties van grondsoort en bodemgebruik met elkaar te vergelijken. Dat kan bij keuzemogelijkheden van belang zijn. Verder zijn nu de technieken aanwezig en voor een deel ook de data om trendanalyses te doen en te voorspellen wat het effect van beheersmaatregelen is op de ecologische kwaliteit van de bodem (Mulder *et al.*, 2003a,b). Op basis van de tot nu toe verzamelde gegevens is het slechts in beperkte mate mogelijk om aan te geven hoe snel de effecten van beheersmaatregelen zullen verlopen. Wanneer ruimere mogelijkheden ontstaan om historische gegevens van de locaties waar de data verzameld zijn bij de analyses te betrekken, kan nauwkeuriger worden aangegeven hoe de ontwikkelingen zullen verlopen en wat de beleidsopties zijn om die ontwikkelingen te sturen. Voor wat betreft de agrarische locaties waarover data zijn verzameld, zal daarom in het vervolg nauwe samenwerking met het LEI noodzakelijk zijn. Concreet betekent dit, dat monitoringactiviteiten in het kader van het landelijk meetnet bodemkwaliteit (LMB), inclusief referentielocaties moeten worden voortgezet. Daarnaast zullen aanvullende monitoringactiviteiten moeten worden uitgevoerd, voor die combinaties van grondsoort en bodemgebruik, die niet vertegenwoordigd zijn in het LMB. Hiermee worden de basiskennisinfrastructuur verder opgebouwd, referentiedata gegenereerd, trends in de tijd vastgelegd. De relaties tussen milieustress, bodemgebruik, bodemecologie en ecologische diensten kunnen daardoor met een grotere zekerheid worden afgeleid. Verder kunnen voorstellen worden gedaan voor generieke kwaliteitsdoelstellingen voor beleidsontwikkeling op nationaal niveau (zie NMP4) en Europees niveau (EU, 2003)

We staan op dit moment voor de uitdaging om samen met LNV, regionale en lokale overheden, en praktische bodembeheerders (LTO, boeren, natuurbeheerders) de inzichten bruikbaar te maken voor boeren en andere lokale bodembeheerders, om hun handelingsperspectief uit te breiden, het draagvlak voor duurzaam bodemgebruik (in termen van ecologische diensten, bodemecologie, en functionele diversiteit) te vergroten en de potentie voor toepassing van bodemecologische kennis te verhogen.

Daarnaast kan Nederland internationaal een rol spelen bij de opzet van monitoringprogramma's en de ontwikkeling van indicatorsets voor duurzaam bodembeheer. Verder zullen nationaal discussies en onderzoek moeten plaatsvinden voor het ontwikkelen van normen en/of kwaliteitskenmerken en instrumenten voor duurzaam bodemgebruik.

Literatuur

- Bal, D, H.M. Beije, HM, Fellingner, M, Haveman, R, Van Opstal, AJFM, Van Zadelhoff, FJ (2001) Handboek natuurdoeltypen – tweede geheel herziene editie. Rapport 2001/020, Expertisecentrum LNV, ISBN 90-75789-09-2, Wageningen, The Netherlands.
- Bloem, J, Breure, AM (2003) Microbial indicators. In: Markert, BA, Breure, AM, Zechmeister, HG (eds) Bioindicators, Biomonitoring, pp. 259-282. Elsevier, Oxford, UK
- Breure AM (2002) Hoe te komen tot ecologische kwaliteitscriteria voor bodem. Briefrapport 097/02/ECO/TB/kg
- Breure, AM, Schouten, AJ, Rutgers, M (2002) Bodemleven als indicator voor duurzaam bodemgebruik. *Bodem* 12, 149-151
- Breure, AM, Jager, DT, van de Meent, D, Mulder, Ch, Peijnenburg, WJGM, Posthuma, L, Rutgers, M, Schouten, AJ, Sterkenburg, A, Struijs, J, van Beelen, P, Vonk, M, De Zwart, D (2003) Ecological Risk Assessment of Environmental Stress. In: EOLSS, Encyclopedia of Life-Support Systems. UNESCO, Paris / World Summit on Sustainable Development (Rio +10), Johannesburg [<http://www.eolss.net>] laatste bezoek 23-9-2003.
- Chemielinco b.v. (2002) Ecologisch bodemkwaliteit in ruimtelijke ordening en milieubeheer. Verslag van de Quickscan: Bodem en Ecologie.
- Doran JW, Parkin TB (1994) Defining and assessing soil quality. In: Doran JW, Coleman DC, Bezdicek DF, Stewart BA (eds) Defining Soil Quality for a Sustainable Environment, 35, pp. 3-21. American Society of Agronomy Special Publication, Madison, WI.
- EU (Commission of the European Communities) (2002) Towards a Thematic Strategy for Soil Protection 179 final Communication from the Commission to the council, the European Parliament, the Economic and social Committee and the committee of the regions COM (2002) 179 [http://europa.eu.int/eur-lex/en/com/pdf/2002/com2002_0179en01.pdf] laatste bezoek 23-09-2003.
- FAO (United Nations Food and Agriculture Organisation) (2002) Report of the international technical workshop on biological management of soil ecosystems for sustainable agriculture. Organized by EMBRAPA-Soya and FAO, Londrina, Brazil, 24 – 27 June 2002
- Lancaster J (2000) The ridiculous notion of assessing ecological health and identifying the useful concepts underneath. *Human and Ecological Risk Assessment* 6, 213-222.
- Lijzen, JPA, Mesman, M, Aldenberg, T, Mulder, Ch, Otte, PF, Posthumus, R, Roex, E, Swartjes, FA, Versluijs, CW, Van Vlaardingen, P, Van Wezel, AP, Van Wijnen, HJ, (2002) Evaluatie onderbouwing BodemGebruiksWaarden. RIVM rapport 711701029, 171 pp.
- Lijzen, JPA, Swartjes, FA, Otte, P, Willems, WJ (1999) BodemGebruiksWaarden. Methodiek en Uitwerking RIVM rapport 711701 016, 41 pp.
- Mulder, Ch, Breure, AM, Joosten, JHJ (2003a) Fungal functional diversity inferred along Ellenberg's abiotic gradients: Palynological evidence from different soil biota. *Grana* 42, 55-64
- Mulder, Ch, De Zwart, D, Van Wijnen, HJ, Schouten, AJ, Breure, AM (2003b) Observational and simulated evidence of ecological shifts within the soil nematode community of agroecosystems under conventional and organic farming. *Functional Ecology* 17, 516-525
- OECD (2003) OECD Expert meeting on soil erosion and soil biodiversity indicators, 25-28 maart 2003, Rome

- Römbke, J, Breure, AM, Mulder, Ch, Rutgers M (in prep.) Legislation and ecological quality assessment of soil. Implementation of biological indication systems in Europe (submitted)
- Rutgers, M, Bloem, J, Groeneveld, K (2002) Bodemleven, bodemkwaliteit en duurzaam bodemgebruik. Verslag van de workshop op 3 oktober 2002. RIVM rapport 607604004 107pp.
- Schouten AJ, Bloem J, Breure AM, Didden WAM, Van Esbroek M, De Ruiter PC, Rutgers M, Siepel H, Velvis H (2001a) Pilotproject Bodembioologische Indicator voor Life Support Functies van de bodem. RIVM rapport 607604001 102 pp.
- Schouten AJ, Breure AM (2001) Ontwikkeling van de bodembioologische indicator: meten van ecologische kwaliteit van Bodem. Bodem 8, 96-98
- Schouten AJ, Breure AM, Bloem, J, Didden W, De Ruiter PC, Siepel H (1999) Life support functies van de bodem: operationalisering t.b.v. het biodiversiteitsbeleid. RIVM rapport 607601003 54 pp.
- Schouten AJ, Rutgers M, Breure AM (2001b) BoBI op weg. Tussentijdse evaluatie van het project Bodembioologische Indicator. RIVM rapport 607604002, 41 pp.
- Schouten, AJ, Bloem, J, Didden, W, Jagers op Akkerhuis, G, Keidel, H, Rutgers, M (2002) Bodembioologische indicator 1999 Ecologische kwaliteit van graslanden op zandgrond RIVM rapport 607604003 107 pp.
- Schouten, AJ, Brussaard, L, De Ruiter, PC, Siepel, H, Van Straalen, NM (1997) Een indicatorsysteem voor de life support functies van de bodem in relatie tot biodiversiteit. RIVM rapport 712910005 90 pp.
- Stenberg B (1999) Monitoring soil quality of arable land: microbiological indicators. Acta Agric. Scand. 49B,1-24
- TCB (Technische Commissie Bodembescherming) (2000a) Advies rol en betekenis bodemecosystemen in relatie tot NMP-4 en de Vijfde note Ruimtelijke Ordening TCB S33(2000), 7 juni 2000, Den Haag
- TCB (Technische Commissie Bodembescherming) (2000b) Advies raamwerk voor ecologische inbreng op de beleidsterreinen bodembescherming, biodiversiteit en ruimtelijke ordening in relatie tot NMP-4 en de Vijfde nota Ruimtelijke Ordening. TCB A29(2000), Den Haag
- TCB (Technische Commissie Bodembescherming) (2003) Advies duurzaam bodemgebruik op ecologische grondslag. TCB A33(2003), Den Haag
- UNCED (United Nations Conference on Environment and Development) (1992) Agenda 21. Rio de Janeiro
- Van de Waarde *et al.* (2003) PERISCOOP, SKB rapport (in voorbereiding)
- Van Wezel, AP, Van Grinsven, JJM, Breure, AM (2003) Bodemkwaliteit mee aan het stuur in ordening en beheer van het landgebruik. Bodem 13, 8-11
- Yeates, GW (2003) Nematodes as soil indicators: functional and biodiversity aspects. Biology and Fertility of Soils 37, 199-210

Bijlage 1 Lijst met afkortingen

BISQ	Biological Indicator for Soil Quality
BoBI	BodemBiologische Indicator
CBD	United Nations Commission on Biological Diversity
DGM	Directoraat Generaal Milieubeheer
EU	Europese Unie
FAO	United Nations Food and Agriculture Organisation
LBI	Louis Bolk Instituut
LEI	Landbouw Economisch Instituut
LMB	Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit
LNV	Ministerie voor Landbouw, Natuurbeheer en Visserij
LTO	Land en Tuinbouw Organisatie
LTO-FAB	LTO project Functionele Agrobiodiversiteit
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
PRI	Plant Research International
PUP	Provinciale Uitvoeringsplannen
PV	Praktijkonderzoek Veehouderij
SKB	Stichting Kennisontwikkeling en Kennisoverdracht Bodem
SSEO	Stimuleringsprogramma Systeemgericht Ecotoxicologisch Onderzoek
TCB	Technische Commissie Bodembescherming
UN	United Nations
UNCED	United Nations Conference on Environment and Development
UU	Universiteit Utrecht
VEL-VANLA	Vereniging Eastermars Lânsdouwe - Vereniging Agrarisch Natuur- en Landschapsbeheer Achtkarspelen
WUR	Wageningen Universiteit en Research Centrum

Bijlage 2 Verzendlijst

1. Drs. H.G. von Meijenfeldt VROM/DGM/BWL, Den Haag
2. Drs. A.W.M. Eijs VROM/DGM/BWL, Den Haag
3. Dr. J. Roels VROM/DGM/BWL, Den Haag
4. Drs. N.H.S.M. de Wit VROM/DGM/BWL, Den Haag
5. Dr. A. Roos VROM/DGM/BWL, Den Haag
6. Drs. L.E. van Brederode VROM/DGM/BWL, Den Haag
7. Ir. B. van der Wal VROM/DGM/BWL, Den Haag
8. Drs. H. Roorda VROM/DGM/BWL, Den Haag
9. Dr. J. van Baalen LNV-DWK, Den Haag
10. Drs. J.M. Brand LNV-L, Den Haag
11. Dr. J. Karres LNV-N, Den Haag
12. Ing. J. Verhulst LNV-DGR, Den Haag
13. Ir. M. Hopman LNV-DGR, Den Haag
14. Drs. S.M. ten Houte de Lange EC-LNV, Ede
15. Ir. C. Maas Geesteranus EC-LNV, Ede
16. Dr. J.J. Vegter TCB, Den Haag
17. Dr. J. van Wensem TCB, Den Haag
18. Prof. dr. L. Brussaard WUR, Wageningen
19. Dr. W.A.M. Didden WUR, Wageningen
20. Dr. J. Bloem WUR-Alterra, Wageningen
21. Dr. G. Jagers op Akkerhuis WUR-Alterra, Wageningen
22. Dr. H. Siepel WUR-Alterra, Wageningen
23. Dr. B. Vosman WUR-PRI, Wageningen
24. Prof. dr. P.C. de Ruiter UU, Utrecht
25. Prof. dr. H.A. Verhoef VU, Amsterdam
26. Prof. dr. N.M.M. van Straalen VU, Amsterdam
27. Drs J. van de Waarde Bioclear, Groningen
28. Ir. H. Keidel BLGG, Oosterbeek
29. Dr. P. Doelman Doelman Advies, Wageningen
30. Ing. N. van Eekeren LBI, Driebergen
31. Dr. F.W. Smeding LBI, Driebergen
32. Dr. Ir. J.H. van Wenum LTO Nederland, Den Haag
33. Dr. R. Woittiez MEV
34. Drs.ing. J.J. Bogte LER
35. Dr. A.M. Breure LER
36. Drs. J.H. Canton LER
37. Dr. Ch. Mulder LER
38. Dr. M. Rutgers LER
39. Drs A.J. Schouten LER
40. Dr. H.J. van Wijnen LER
41. Drs. D. de Zwart LER
42. Dr. A. Tiktak LDL
43. Depot Nederlandse Publicaties en Nederlandse Bibliografie, Den Haag
44. Directie van het RIVM
45. SBC - Communicatie
46. Bureau Rapportenregistratie
- 47-60 Reserve exemplaren
- 61-65 Bureau Rapportenbeheer