

RIJKSINSTITUUT VOOR VOLKSGEZONDHEID EN MILIEU
BILTHOVEN

RIVM-rapportnr. 607601003

**Life support functies van de bodem: operationalisering
t.b.v. het biodiversiteitsbeleid**

A.J. Schouten, A.M. Breure, J. Bloem², W. Didden¹,
P.C. de Ruiter², H. Siepel³

februari 1999

¹ Bodembiologie, LUW

² AB-DLO

³ IBN-DLO

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het Directoraat-Generaal Milieubeheer, Directie
Stoffen Veiligheid en Straling, onder projectnummer 607601.

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Postbus 1, 3720 BA Bilthoven
telefoon 030-274 91 11; fax 030-274 29 71**

Verzendlijst

- 1 Directeur van de directie Stoffen, Veiligheid en Straling, VROM-DGM,
Dr. C.M. Plug
- 2 Plv. DG Milieubeheer, Dr. Ir. B.C.J. Zoeteman
- 3 Dr. M. Berg, Vrije Universiteit, Amsterdam
- 4 Dr. T. Bongers, Landbouwniversiteit Wageningen
- 5 Prof. Dr. L. Brussaard, Landbouwniversiteit Wageningen
- 6 Drs. C. Denneman, VROM-DGM-Bo, Den Haag
- 7 Drs. A.W.M. Eijs, VROM-DGM-SVS, Den Haag
- 8 Dr. C.A.M. van Gestel, Vrije Universiteit Amsterdam
- 9 Dr. R.G.M. de Goede, Biologisch Station Wijster
- 10 Dr. G. Hekstra, VROM-DGM-SVS, Den Haag
- 11 Ir. G. Hof, Directie Wetenschap en Kennisoverdracht LNV, Den Haag
- 12 Mr. A.B. Holtkamp, VROM-DGM-Bo, Den Haag
- 13 Drs. J.J.C. Karres, Directie Natuurbeheer LNV, Den Haag
- 14 Ir. H. Keidel, BLGG, Oosterbeek
- 15 Dr. F. Klijn, Waterloopkundig Laboratorium, Delft.
- 16 Mw. Drs. M.J.M. Knops, VROM-DGM-SVS.
- 17 Dr. G. Korthals, NIOO, Heteren
- 18 Dr. Th. W. Kuyper, Biologisch Station Wijster
- 19 Dr. E. van Klink, IKC-Landbouw, Wageningen
- 20 Ir. A.G. Klink, Aquasense Wageningen
- 21 Dr. P. Kuikman, AB-DLO, Wageningen
- 22 Drs. Ir. J.B. Latour, Apeldoorn
- 23 Dr. E.J. van Nieuwerkerke, Nationaal Natuurhistorisch Museum. EIS-Nederland,
Leiden
- 24 Ir. M.P.M. Nagtzaam, afdeling Landbouw LNV
- 25 Dr. W. van der Putten, NIOO, Heteren
- 26 Prof. Dr. N.M. van Straalen, Vrije Universiteit, Amsterdam
- 27 Dr. A.J. van Strien, CBS, Voorburg
- 28 Drs W. Tamis, Centrum voor Milieukunde Leiden
- 29 Drs. J. Thissen, IKC-Natuurbeheer, Wageningen
- 30 Dr. J.J. Vegter, Technische Commissie Bodembescherming, Den Haag
- 31 Ir. J.F.M. van Vliet, DGM-DWL, Den Haag
- 32 Dr. H.A. Verhoef, Vrije Universiteit, Amsterdam
- 33 Mw. Dr. E. van der Voet, Centrum voor Milieukunde Leiden
- 34 Drs. N. de Wit, VROM-DGM-Bo, Den Haag
- 35 Depot Nederlandse Publicaties en Nederlandse Bibliografie
- 36 Directie van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
- 37 Ir. F. Langeweg, SB5/RIVM

38	Dr. R. Alkemade, LBG/RIVM
39	Ir. R. van den Berg, LBG/RIVM
40	Drs. B.J.E. ten Brink, LBG/RIVM
41	Drs J.J. Bogte, ECO/RIVM
42	Dr. Ir. J.J.B. Bronswijk, LBG/RIVM
43	Ir. W. van Duijvenbouden, LBG/RIVM
44	Prof. Dr. H. Eijsackers, ECO/RIVM
45	Mw. M.L.P. van Esbroek, LBG/RIVM
46	Dr. Ir. H. van Grinsven, LBG/RIVM
47	Dr. J.A. Hoekstra, MNV/RIVM
48	Prof. dr. H.A.M. de Kruijf, BIS/RIVM
49	Ir. W. Ligtoet, LWD/RIVM
50	Dr. Ir. J. Notenboom, ECO/RIVM
51	Dr. L. Posthuma, ECO/RIVM
52	Drs. R. Reiling, MNV/RIVM
53	Dr M. Rutgers, ECO/RIVM
54	Dr. W. Slooff, MNV/RIVM
55	Drs. T. Traas, ECO/RIVM
56	Drs. J. Wiertz, LBG/RIVM
57	Drs. W.J. Willems, LBG/RIVM
58	Drs. D. de Zwart, ECO/RIVM
59-69	Auteurs
70	SBD/Voorlichting & Public Relations
71	Bureau Rapporten Registratie
72-73	Bibliotheek RIVM
74-93	Bureau Rapporten Beheer
94-110	Reserve exemplaren LBG.

Voorwoord

Als vervolg op een bureaustudie naar de mogelijkheden om een indicatorsysteem voor de Life Support Functies (LSF) van de bodem op te zetten, is in 1997/98 een pilot-project uitgevoerd om het voorgestelde systeem in de praktijk te testen. Het onderzoek is gedaan in opdracht van VROM-DGM-SVS. De rapportage over de pilot is opgesplitst in een beleidsgerichte notitie en een onderzoeksverslag. Het voorliggende rapport is het beleidsgerichte rapport. Hierin wordt de aanleiding tot het onderzoek toegelicht, een korte samenvatting van de resultaten gegeven in een geaggregeerde indicator, mogelijkheden voor de toekomst beschreven en noodzakelijk onderbouwend onderzoek op een rij gezet. Qua terminologie is er aangesloten op de voorgaande bureaustudie. In recent gevoerde discussies is gebleken dat er bij de auteurs een eigen vertrouwd begrippenkader is ontstaan. In hoofdstuk 1.4 wordt daarom een nadere toelichting en afbakening gegeven.

Evenals in de voorafgaande definitiefase is dit multidisciplinaire en beleidsgerichte product tot stand gekomen door nauwe samenwerking tussen meerdere instituten. Parallel daaraan is er in opdracht van het IKC-Natuurbeheer een deskstudy gedaan naar de relatie tussen "Biodiversiteit en duurzaam gebruik van graslanden" Dit (laatste) project is door het AB-DLO uitgevoerd (projectleider: P. Kuikman). Beide projecten vullen elkaar aan doordat de literatuurstudie uitgevoerd in het 'graslandenproject' ook een nadere theoretische onderbouwing oplevert van de resultaten uit het veldonderzoek. Gedurende de looptijd van beide projecten heeft afstemming plaats gevonden, o.a. door informatie-uitwisseling binnen de begeleidingscommissie-vergaderingen. In deze cover-notitie is gebruik gemaakt van de conclusies uit beide projecten om tot een overzicht van de stand van zaken te komen. Tevens wordt een beeld gegeven van de wijze waarop een beleidsinstrument voor de LSF van de bodem tot stand kan komen in termen van tijd, onderzoek, modelinstrumentarium en kosten. Voor gesignaleerde hiaten in de kennis zijn onderzoeksvragen geformuleerd die inpasbaar zijn binnen verschillende thema's van het NWO Stimuleringsprogramma Biodiversiteit.

Behalve de samenstellers van dit rapport waren een groot aantal mensen van verschillende instituten betrokken bij de uitvoering van het onderzoek en de bewerking van de gegevens. Mariëtte van Esbroek zorgde voor nabewerking van de resultaten en het samenstellen van de LSF-AMOEBE. Wij willen daarnaast de begeleidingscommissieleden danken voor de aandacht die ze aan de pilot hebben willen schenken. De begeleidingscommissie bestond uit: A. Eijs (DGM-SVS, voorzitter), M. Knops (DGM-SVS), C. Denneman (DGM-Bo), L. Brussaard (LUW), N. van Straalen (VU), J. v. Baalen (LNV-DWK, agenda-lid), J. Karres (LNV-N), J. Thissen (IKC-N), en M. Nagtzaam (LNV-L, agendalid). Ad hoc waren in de begeleidingscommissie aanwezig: G. Hof (LNV-DWK), E. v. Klink (IKC-L), P. Kuikman (AB-DLO).

Inhoud

	blz.
Verzendlijst	2
Voorwoord	4
Abstract	6
Samenvatting	7
1. Waarom een bodembiologische indicatorsysteem in relatie tot LSF?	10
1.1 Inleiding in de LSF	10
1.2 Probleemanalyse	11
1.3 Een indicatorsysteem voor biodiversiteit van de bodem in relatie tot LSF	14
1.4 Afbakening, concrete vraagstellingen van het pilot-onderzoek en indeling van het rapport	16
2. Resultaten	19
2.1 LSF-AMOEBE	19
2.2 Bodemkwaliteitsindex	21
3. Evaluatie van de pilot, keuzen en kosten	23
3.1 Keuzen	23
3.2 Kosten	26
3.3 Hoe nu verder	28
4. Naar een instrument voor diagnose en prognose van biodiversiteit in de bodem	29
5. Lijnen voor nader onderzoek	32
6. Antwoorden op de vragen	35
7. literatuur	41
Bijlage 1. Samenvatting pilotproject bodembiologische indicator voor LSF	43
Bijlage 2. Samenvatting resultaten van de pilot	45
Bijlage 3. Toelichting op de deelindicatoren en onderzoeksresultaten	48
Bijlage 4. Kostenraming meetnet LSF-bodem	55

Abstract

In 1994 the Dutch government ratified the treaty of the Convention on Biodiversity held in Rio de Janeiro, 1992. Subsequently a 'Strategic Action Plan' was made to fill several gaps in knowledge and (policy) areas without proper protection of biodiversity.

One of the omissions in (the Dutch) biodiversity policy is a lack of biodiversity goals for small organisms like bacteria, fungi, or insects. These organisms, with an invisible or hidden way of living, play important roles in ecosystem regulation functions, also referred to as life support functions (LSF). In a previous study Schouten et al. (1997) proposed an bio-indicator system for LSF of the soil. Next a pilot project was carried out to test the indicator system within the infrastructure of the National Soil Quality Network (LMB). The pragmatic research questions were:

- can the measurements, necessary for the bio-indicator system, be carried out in the Soil Quality Network ?
- do the indicators distinguish between soil-use and soil-types ?
- can the results be used in diagnostic and prognostic instruments (decision support systems like Nature-planner or Ecological Capital Index) of the RIVM?

Results of the pilot are summarised in this report in a policy oriented manner. In a separate report research results will be described in more detail.

The pilot has shown that the selected indicators often differ significantly between the LMB land-use categories "grasslands on sea clay" and "horticulture farms". As an example of ecological soil quality assessment, an 'AMOEBE-presentation' was made of the grasslands with a biological farm used as a reference. Deviations of the indicator values from the reference were also aggregated in a soil quality index (BKX). The AMOEBE-presentation is a relative (qualitative) way to judge biodiversity changes against a functional background.

The quantitative relation between biodiversity and LSF is not known. A few essential soil processes can be calculated with a food-web model. It is a method to link structural diversity to functions. The model needs data on structure and biomass of functional groups during a year cycle. The input for model calculations requires therefore more field research and is less practical on a large scale.

Structural participation of biomonitoring in the Soil Quality Network (40 sites a year during 5 years) results in a database that permits response modelling of the indicators on abiotic factors. In this way the same strategy for prognostic instruments can be used as for flora, birds or butterflies.

Policy objectives for soil biodiversity related to functions can be obtained by: a) formulation of references, b) systematic biomonitoring and building of a database, in order to collect enough data for response models, c) fundamental research on the relation between diversity and functions.

Samenvatting

Ter uitvoering van actiepunt NMW1a uit het Strategisch Plan van Aanpak biodiversiteit (SPA; LNV, VROM, V&W, OCW, EZ, BZ, 1995) en als onderdeel van actie N59 uit het NMP-2, is eerder een studie uitgevoerd naar de mogelijkheden om een indicatorsysteem op te stellen voor biodiversiteit van de bodem in relatie tot Life support functies (LSF).

In een pilotproject is het indicatorsysteem vervolgens getest binnen de infrastructuur van het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB). Het indicatorsysteem, en de daaruit af te leiden bodembioologische indicator, bestaat uit een aantal deelindicatoren.

De vragen van het onderzoek waren:

- kan de gekozen indicatorset worden toegepast in een meetnet;
- hebben de deelindicatoren van de set voldoende onderscheidend vermogen;
- kunnen de resultaten worden ingepast in de huidige diagnostische en prognostische gereedschappen van het RIVM (Natuurplanner en EKI).

De resultaten en conclusies uit de pilot zijn in dit beleidsgerichte rapport kort beschreven. Een meer gedetailleerde uitwerking van de onderzoeksresultaten verschijnt in het achtergrondrapport. De conclusies uit de pilot zijn tevens gecombineerd met de uitkomst van een deskstudy die door AB-DLO in opdracht van het IKC-Natuur is uitgevoerd. Hierdoor wordt een bredere kijk verkregen op het onderwerp LSF-bodem, de mogelijkheden tot het formuleren van beleidsdoelstellingen en de resterende onderzoeksvragen.

De wijze waarop invulling gegeven wordt aan een beleidsinstrument voor LSF van de bodem hangt sterk af van de visie op, het schaalniveau en de invulling van het LSF-concept.

- Life Support Functies van ecosystemen kunnen beschouwd worden als geïntegreerde processen die resulteren uit de activiteiten/interacties van organismen (bijv. afbraak, bodemstructuurvorming). Het integratieniveau en de dynamiek maakt ze lastig kwantificeerbaar. De functies zijn voornamelijk uit te drukken in processnelheden. Bescherming hiervan is het best terug te voeren naar soorten of functionele groepen van organismen.
- LSF kan ook gezien worden als ecologische functies die van nut zijn voor de mens, bijv. N-mineralisatie in de wortellaag, CO₂-vastlegging door bossen, waterbergend vermogen van rivierdalen. Bescherming van de kwaliteit wordt nu volledig bepaald door het nut voor de mens en wordt eerder uitgedrukt in (grootschalige) fysische en chemische eigenschappen van het milieu. De kwaliteit van LSF voor de mens is per definitie strijdig met de kwaliteit voor een andere soort, en daarmee met het doel 'behoud van de totale biodiversiteit'.
- LSF kan tot slot gezien worden als globale aanduiding van het besef dat er een zekere soortenrijkdom of redundatie in ecosystemen moet zijn om stabiliteit te behouden. De benodigde stabiliteit verschilt per ecosysteemtype en per soort. Welk ecosysteem of welke soorten gewenst zijn wordt echter weer bepaald door de mens of wordt (door de mens)

overgelaten aan de natuur. In het laatste geval is het accent weer verlegd naar de intrinsieke waarde van organismen i.p.v. de nuts-functie.

Voor de keuze van indicatoren is het dus essentieel steeds helder te maken waarop de nagestreefde LSF-kwaliteit gericht is.

In de voorgaande definitiestudie en de daarop volgende pilot is uitgegaan van de (boven beschreven) eerste benadering van LSF.

De pilot heeft aangetoond dat de geselecteerde deelindicatoren gevoelig en onderscheidend zijn voor verschillende combinaties van bodemtype en landgebruik. Als een mogelijke vorm voor het weergeven van de resultaten van de bodembioologische indicator, is een AMOEBA gemaakt voor de steekproef uit 'graslanden op zeelei'. Hierbij is gebruik gemaakt van een gekozen (voorlopige) referentie. De gegevens zijn verder geaggregeerd tot een Bodemkwaliteitsindex (BKX). Op deze wijze zou aan een ecologische bodembeoordeling vorm gegeven kunnen worden.

In de literatuur zijn aanwijzingen gevonden voor verbanden tussen boven- en ondergrondse diversiteit. Ook effecten van diversiteit op ecologische functies van de bodem zijn beschreven. Er zijn echter nog verschillende hypothesen die nader getoetst dienen te worden. Een duidelijke kwantitatieve relatie tussen bodembiodiversiteit en functies is nog niet te geven. Het is wel reeds mogelijk om via een indeling naar functionele eenheden (soortengroepen) en gebruik van een voedselwebmodel, veranderingen in ecosysteemprocessen te berekenen zoals stikstof- en koolstof-mineralisatiesnelheden. Deze modelmatige link tussen structuur en functies maakt onderdeel uit van het indicatorsysteem. De methode is in de pilot op beperkte schaal onderzocht. De input voor het model vraagt intensiever onderzoek dan voor de (kwalitatieve en semi-kwantitatieve) deelindicatoren nodig is. Toepassing van voedselwebanalyse op grote schaal is mogelijk maar ligt niet voor de hand vanwege de hoeveelheid veldonderzoek en kosten die hiermee gemoeid zijn.

Door systematisch onderzoek aan deelindicatoren in het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (40 locaties per jaar) kan in 5 jaar een database opgebouwd worden waarmee responsrelaties voor bodemeigenschappen, systeemeigen- en systeemvreemde stoffen zijn af te leiden. Hiermee kan een bodembioologische-module (prognostisch instrument) worden opgesteld voor eventuele opname in een decision support systeem als de Natuurplanner.

Het LSF-indicatorsysteem en de hieruit voortkomende kwaliteitsbeoordeling sluit qua methodiek aan bij de wijze waarop de kwaliteit van de leefomgeving gekwantificeerd kan gaan worden (Leefomgevingsbalans). Toepassing van de BKX maakt het mogelijk de ecologische bodemkwaliteit op te nemen in de Ecologisch KapitaalIndex (EKI). De EKI-methode is gebaseerd op graadmeters waarvan zowel de kwantiteit (oppervlak) als kwaliteit, steekproefsgewijs wordt bepaald. De kwaliteit wordt uitgedrukt als percentage afwijking van de referentie.

Los van de discussie over de relatie tussen biodiversiteit en functies of diversiteit en stabiliteit, is het van belang om inzicht te hebben in mogelijke veranderingen in de soortensamenstelling van (bodem)ecosystemen, bijv. door intensieve landbouwmethoden. Een bodembologisch meetnet, zoals uitgetoet in de pilot, is technisch haalbaar gebleken. De benodigde tijd en geld hangt uiteraard af van de vraag voor welke ingrepen effecten voorspeld moeten worden en welke nauwkeurigheid/betrouwbaarheid gewenst is. Voorgesteld wordt om in eerste instantie uit te gaan van een beperkte en kosteneffectieve variant door het indicatorsysteem te integreren in het LMB.

1. Waarom een bodembologisch indicatorsysteem in relatie tot LSF ?

1.1 Inleiding in de LSF

Biodiversiteit wordt beleidsmatig gerekend tot één van de drie strategische (schaarse) voorraden die de milieugebruiks-ruimte bepalen. In aansluiting op de verplichtingen voortgekomen uit de ratificatie van het biodiversiteits-verdrag van Rio de Janeiro, is het Nederlandse beleid inzake behoud van biologische diversiteit geanalyseerd en uitgewerkt in een Strategisch Plan van Aanpak (SPA; LNV, VROM, V&W, EZ, 1995).

De rijks overheid heeft, naast bescherming vanwege de intrinsieke waarde van organismen, de volgende functionele motieven voor het behoud van biodiversiteit in Nederland geformuleerd:

- de informatiefunctie (recreatie, inspiratie, educatie en wetenschap);
- de productiefunctie (visserij, bosbouw, landbouw/voedselproductie, medicijnen, overige non-food (katoen, hennep, bouwmaterialen));
- de life support/regulatiefunctie (instandhouding vernieuwbare voorraden, - kraamkamer, bestuiving, zaadverspreiding -, bodemregeneratie, tegengaan erosie, waterzuivering, biologische bestrijding, klimaatregulatie).

In de verschillende programmeringsstudies die de afgelopen jaren door adviesraden zijn uitgebracht, worden de functionele betekenis van biodiversiteit en de rol van lagere organismen in de LSF steeds als belangrijke thema's voor nader onderzoek genoemd. (RMNO/NRLO/RMb/RNb, 1995: thema 3; RIVM/IKC-N/DLO/RIZA/RIKZ, 1997: cluster 2; RMNO, 1997^{a,b} LNV/VROM/V&W, 1997).

Kenmerkend voor Life Support Functies van biodiversiteit is de rol van verscheidenheid aan organismen, ecologische processen en structuren. Deze houden de aarde leefbaar door de biosfeer in stand te houden. De biosfeer kan worden opgevat als een pomp (Van de Voet et al. 1997) die bestaat uit biomassa en draait op zonne-energie. De pomp (biomassa) bestaat uit heel veel min of meer specialistische onderdelen: organismen in verschillende functionele eenheden.

De pomp zorgt voor het transport en de beschikbaarstelling van verschillende essentiële stoffen, zoals schoon water, koolstof, stikstof fosfor en zwavel. Dat gebeurt door productie en afbraak van organisch materiaal, waarin deze stoffen worden opgenomen. Zonder de beschikbaarheid van deze stoffen is geen opbouw van leven mogelijk en zonder afbraak van dood organische materiaal komen deze stoffen niet beschikbaar. In de processen als de opbouw en afbraak van organisch materiaal spelen organismen in de vorm van functionele eenheden een belangrijke rol.

Biota als motor van de biosfeerpomp levert mens en natuur dus een aantal diensten: instandhouding van een leefbaar klimaat (CO₂ en O₂-huishouding, regulatie van temperatuur en luchtvochtigheid; bodemvruchtbaarheid (N-binding, P-binding, bodemstructuur);

bescherming tegen overstromingen, erosie en wind; instandhouding van vernieuwbare voorraden (kraamkamerfunctie, bestuiving, zaadverspreiding); waterzuivering; biologische regulatie van ziekten en plagen.

De doelstellingen (verplichtingen) van het biodiversiteitsbehoud gaan verder dan bescherming van soorten die vanuit natuurbeleid worden gewaardeerd. De betekenis voor het in stand houden van LSF voor mens en ecosystemen is daar een belangrijk aspect van.

Op dit moment zijn de milieubeleidsdoelstellingen v.w.b. LSF gericht op instandhouding, robuustheid en duurzaam gebruik. Voor het formuleren van een meer gericht beleid, en kwantitatieve doelstellingen, heeft de overheid de ontwikkeling van verschillende LSF indicatoren in gang gezet, waarmee het mogelijk moet zijn de kwaliteit van LSF te meten en doelen te formuleren. Dit heeft o.a. geleid tot een concept voor een indicatorsysteem voor LSF van de bodem in relatie tot biodiversiteit (Schouten et al., 1997), en een studie naar de rol van biodiversiteit in duurzaam gebruik van graslandecosystemen (Kuikman et al., 1998). Een uitvoerig overzicht van de te onderscheiden regulatiefuncties en de huidige stand van kennis is gegeven in Van der Voet et al. (1997).

Momenteel lopen ook studies voor de formulering van indicatoren voor de LSF: ziekten- en plaagregulatie van de bodem en zelfreinigend vermogen van oppervlaktewater. Hierin wordt eenzelfde benadering gevolgd als voor LSF-bodem.

LSF zijn voor het milieubeleied een vertrekpunt voor behoud en duurzaam gebruik van biodiversiteit buiten de EHS. Dat wil niet zeggen dat ze binnen de EHS niet belangrijk zijn. Juist 'self-supporting' ecosystemen zijn afhankelijk van natuurlijke bodemvruchtbaarheid, weerstand tegen plagen en gesloten stofkringlopen. Behoud van LSF is één van de centrale thema's in het milieubeleid en speelt een rol in het natuurbeleid. Op dit ogenblik ontbreken echter nog grotendeels de kennis en instrumenten om beleid te formuleren, te concretiseren, en te controleren.

1.2 Probleemanalyse

Onderdelen van het milieu- en natuurbeleid worden in de regel geformuleerd naar aanleiding van een probleem van voldoende ernst en omvang. Na de implementatie van maatregelen kunnen (biotische en abiotische) indicatoren worden gekozen om de effecten hiervan te monitoren. Deze gegevens worden momenteel bijvoorbeeld gebruikt in de Milieubalans, Natuurbalans en (komende) Leefomgevingsbalans, om een beeld van de huidige stand van zaken te schetsen.

Wanneer een analoge benadering voor LSF-bodem wordt gevolgd, kan ook hier naar de ernst en omvang van het probleem gevraagd worden. Op dit punt wijkt de situatie voor LSF echter af van andere milieu- of natuurbeleidsthema's. Er is slechts zeer beperkt informatie over veranderingen in processen of functies sinds de toegenomen industrialisatie, c.q. intensivering van de landbouw sinds de 50-er jaren. Door een gebrek aan referentie-materiaal zijn er ook

nog geen doelstellingen geformuleerd. Het probleem is dus eigenlijk dat we de omvang van het probleem nog niet goed genoeg kennen.

De regulatiefunctie (LSF) van de biosfeer zorgt voor het verloop van processen die noodzakelijk zijn voor het behoud van de leefomgeving en dienen veilig gesteld te worden. In het ruimtelijk-, milieu- en natuurbeleid worden hiervoor stappen ondernomen (VROM/LNV /V&W, 1997). Om de functies van ecosystemen veilig te kunnen stellen, is het noodzakelijk dat ze: a) gemeten kunnen worden, en b) bepaald wordt op welk niveau ze dienen te verlopen in gewenste ecosystemen (bijv. referenties voor verschillende landbouwsystemen, natuurgebieden etc.).

Op basis van (nog te verzamelen) referentiegegevens kunnen doelen worden gesteld voor processen, of de diversiteit aan organismen die hier bij betrokken zijn. Vervolgens kan ook worden nagegaan welke invloed milieustressoren en vorm van beheer hebben op het verloop van de functies.

Het indicatorsysteem voor LSF-bodem is ontworpen om in concreto iets aan de achterstand in kennis en implementatie van beleid te kunnen gaan doen. Met de set aan deelindicatoren en een systematische aanpak in meetnetverband, kan begonnen worden aan het verzamelen van de noodzakelijke gegevens voor referentiebeelden en het vastleggen van de huidige situatie.

Voorbeelden van verstoorde LSF in de bodem

Hoewel de omvang van effecten op de LSF-bodem niet goed bekend is, zijn er legio (experimentele) onderzoeksresultaten die laten zien dat verontreinigingen (verzuring, vermesting, zware metalen) en grondbewerking van invloed zijn op het aantal soorten en de functionele samenstelling van bodemorganismen. Aangezien deze soorten uitvoerders zijn van onderdelen in de processen, kan verwacht worden dat veranderingen in de soorten-samenstelling zullen doorwerken tot in de functies van het bodemecosysteem. Of dit ook werkelijk tot uiting komt hangt mede af van de z.g. functionele redundantie. De aanvaardbaarheid van veranderingen in het bodemecosysteem hangt af van de gekozen referentie en het gewenste grondgebruik.

Minder is bekend over effecten op processen en functies zélf, maar ook hiervoor bestaat voldoende 'circumstantial evidence'.

Hieronder volgen enkele voorbeelden van het belang van LSF van de bodem, en de gevolgen van verstoringen:

- Effecten van zware metalen en bestrijdingsmiddelen zijn uitgebreid onderzocht. De hoeveelheid gegevens is te groot om hier een korte samenvatting te geven. Experimenteel onderzoek aan effecten op soorten is gebruikt voor het afleiden van normen. Crommentuijn et al. (1997) geven een overzicht van de toetsresultaten die hiervoor te gebruiken zijn. Recent onderzoek in het 'Validatieproject' heeft laten zien dat de theoretische afgeleide risicogrenzen ook redelijk overeenkomen met effecten op levensgemeenschappen van micro-organismen en aaltjes onder veldomstandigheden (Posthuma et al., 1998). Ecosysteemeffecten van metalen, als gevolg van verstoorte LSF, worden meestal pas

zichtbaar bij ernstige verontreiniging. Mogelijke effecten zijn: remming van de afbraak van organisch materiaal (decompositie) en verlaagde primaire productie (tot geheel verdwijnen van de vegetatie). Daaraan vooraf zijn echter al een groot aantal effecten opgetreden in de vorm van veranderingen in de microbiële samenstelling en bodemfauna.

- In het oog springende effecten op ecosystemen zijn ook bekend als gevolg van ernstige verzuring van bossen in Oost-Europa. Doordat het afbraakproces (LSF decompositie) in de bodem geremd is, vindt strooiselophoping plaats en komen voedingsstoffen niet terug in de kringloop. Bomen sterven in deze situatie doordat voedingsstoffen opgeslagen blijven in het dode organische materiaal.
- Een heel ander voorbeeld van het effect van bodemorganismen op Life Support Functies is de aanwezigheid van regenwormen in nieuwe polders. Natuurlijke kolonisatie verloopt uiterst langzaam, zodat aanwezigheid vaak afhankelijk is van toevallige of opzettelijke introductie. Op plekken waar regenwormen voorkomen, verbeteren de bodemfysische eigenschappen en het nutriëntenleverend-vermogen van de grond. De plantenproductie gaat hierdoor aantoonbaar omhoog (Hoogerkamp et al., 1983). Regenwormactiviteit heeft ook effect op de biodiversiteit van planten en andere bodemdieren in dit soort graslanden (Reest & Rogaar, 1988; Marinissen & Bok, 1988).
- Zeer sprekende voorbeelden van de relatie tussen bodemorganismen en LSF komen uit de tropen. Door het kappen van bossen en overbegrazing spoelen vruchtbare gronden af en ontstaan volledig onbruikbare bodems. De verloren gegane productiviteit is te herstellen door de introductie van termieten. Deze breken korstgronden open, brengen het proces van bodemvorming op gang en maken plantengroei c.q. herstel van bovengrondse biodiversiteit opnieuw mogelijk (Mando et al., 1996).
- Een voorbeeld van beperkte herstelmogelijkheden van landbouwgronden die uit productie genomen worden, komt uit het onderzoek van Siepel (1991). Door intensieve grondbewerking voor landbouwdoeleinden verandert de dichtheid en samenstelling van de bodemfauna aanzienlijk. Schimmelende mijten zijn van groot belang voor de natuurlijke afbraakcyclus van organisch materiaal. Door hun beperkte kolonisationscapaciteit blijken ze echter niet terug te keren nadat landbouwgrond uit productie genomen is. Er ontstaan terreinen met een strooiselophoping, bijv. in de vorm van een vervilte grasmat. Natuurontwikkeling kan hierdoor aanzienlijk in mogelijkheden en snelheid geremd kan worden. In het algemeen geldt dat bodemorganismen een gering natuurlijk verspreidingsvermogen hebben. 'Key functional groups' onder de bodemorganismen zouden daarom onder bepaalde omstandigheden geïntroduceerd kunnen worden voor het volledig herstel van ecosysteem-functioneren. Tot op heden is het gebruikelijk eenvoudige eenmalige inrichtingsmaatregelen te treffen. Uit verschillende praktijkvoorbeelden is echter gebleken dat het beoogde doel niet altijd kan worden behaald.
- Effecten van grondgebruik op ecosysteemfuncties blijken uit het vergelijkend onderzoek tussen gangbare en z.g. geïntegreerde landbouwsystemen. Hierbij is gebruik gemaakt van een voedselwebmodel om processen te kwantificeren op basis van de dichtheid en samenstelling van functionele groepen (De Ruiter et al., 1993). Doel van het project was

mede, te komen tot optimalisatie van de productie, door gebruik te maken van de natuurlijke hulpbronnen.

De akkers die volgens de geïntegreerde methode bewerkt werden, hadden een hoger organische-stofgehalte en ontvingen ook meer oogstresten. Dit had een positieve invloed op de dichtheid en biomassa van alle groepen bodemorganismen (Brussaard et al., 1990).

De bijdrage aan de stikstofmineralisatie in de bovenste 10 cm van de bouwvoor van de geïntegreerde percelen bedroeg $80 \text{ kg N. ha}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$, tegen 39 kg stikstof in de conventioneel bewerkte plots. Deze resultaten laten zien dat de natuurlijke bodemvruchtbaarheid ernstig lijdt onder intensieve grondbewerking. In die zin is de life support functie 'recycling voedingsstoffen' potentieel bedreigd over een groot oppervlak, namelijk ca. 7500 km^2 intensief beheerde graslanden en akkerbouwgronden. Door het ontbreken van een ecologisch evenwicht wordt het systeem kwetsbaar en staat bloot aan fluctuaties. Herstel van de natuurlijke LSF kan lange tijd in beslag nemen zoals bleek in het voorbeeld over mijten en regenwormen.

Samenvattend mag gesteld worden dat bodemecosystemen op veel manieren uit het evenwicht gebracht kunnen zijn, bijvoorbeeld door intensief grondgebruik en een overmaat aan verzurende, vermestende of xenobiotische stoffen die de laatste decennia op de bodem terechtgekomen zijn. Hierdoor kan een instabiel systeem ontstaan met toegenomen risico's op ziekten en plagen.

Effecten op soorten, of levensgemeenschappen van bodemorganismen zijn redelijk goed bekend. De doorwerking naar processen en functies is aangetoond, maar blijft vaak onzichtbaar doordat stappen in een proces worden overgenomen door andere soorten en er geen 'early warning' voor processen bestaat. Het meten van processen is mogelijk, maar in een meetnet en op grote schaal moeilijk uitvoerbaar. Een andere oplossing is gebruik te maken van ecologische modellen om de relatie tussen structuur (biodiversiteit) en functies nader te kwantificeren (b.v. De Ruiter et al. 1993, 1995) en de invloed van verschillende stressoren daarop te onderzoeken (Gezondheidsraad 1997).

1.3 Een indicatorsysteem voor biodiversiteit van de bodem in relatie tot LSF

Aan de bodem kunnen verschillende Life Support Functies onderscheiden worden, zowel van biologische als chemisch-fysische aard. LSF zijn in feite abstracte grootheden. Een LSF is de resultante van een groot aantal processen die op hun beurt weer een gevolg zijn van de activiteit van bodemorganismen. LSF vertegenwoordigen dus een hoog integratieniveau, de waarden voor LSF zelf zijn daarmee ongevoelige indicatoren.

Bij de opzet van een indicatorsysteem is noodzakelijkerwijs een inperking gemaakt. Er is gekozen voor een ecologische invalshoek, en een doorsnede door het bodemecosysteem, op zodanige wijze dat voor alle belangrijke functies één of meer indicatorgroepen aanwezig zijn. De selectie is verder gestoeld op een aantal pragmatische criteria (meetbaarheid,

betaalbaarheid, onderscheidend vermogen etc.), en de mogelijkheid om de gegevens modelmatig te integreren. Het indicatorsysteem is samengevat in het schema hieronder. Een meer gedetailleerde uitwerking is gegeven in Schouten et al. (1997).

De gevolgde benadering is in principe kwalitatief van aard en gestoeld op de soortenrijkdom binnen functionele groepen. Kwantitatieve veranderingen in de grootte van LSF zijn hoofdzakelijk te verkrijgen door gebruik te maken van modellen voor de stikstofmineralisatie (deelindicator 6) en de stabiliteit (deelindicatorindicator 12).

Tabel 1: 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.

<i>Life support functies</i>	<i>Processen</i>	<i>Indicatieve variabele (soortengroep)</i>	<i>Deelindicator</i>
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)	Stikstofproductie (kg N/ha/j) uit voedselweb (modelmatig)
	<i>Deelprocessen:</i>		
	Microbiële activiteit	7. Microorganismen (bacteriën + schimmels)	Aantal, massa, activiteit (thymidine-inbouw).
	Begrazing microflora (bacteriën + schimmels)	8. Protozoën 9. Nematoden 10. Springstaarten 2. Mijten	Actieve/inactieve cysten, DivS/FG, DivF, MI DivS/FG, DivF DivS/FG, DivF
	Wortelvraat	9. Nematoden (+ 2 +10)	DivS/FG, DivF, PPI
	Predatie	2. Mijten (+ 9 + 10)	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 voedselpiramide (modelmatig)

De functionele benadering van Biodiversiteit, gericht op LSF of onderliggende processen, zorgt voor een dilemma bij de operationalisering hiervan. Wanneer de processen doel van onderzoek (en beleid) zijn, wordt niet automatisch informatie verkregen over het behoud van biodiversiteit. Wanneer alleen (resterende) soortenrijkdom wordt vastgesteld is er nog geen beeld van de gevolgen voor processen en LSF. Opheldering van dit verband tussen structuur en functie (a.h.w. het maken van een ijklijn) is een uitdaging voor het biodiversiteitsonderzoek. Met behulp van nieuwe kennis hierover zal concreter invulling gegeven kunnen worden aan de functionele rol van biodiversiteitsbehoud. Het boven-beschreven indicatorsysteem beoogt een praktisch uitvoerbare (midden)weg te bewandelen, o.a. door gebruik te maken van beproefde meetmethoden en modellen. Beleidsdoelstellingen kunnen geformuleerd worden door referentiebeelden op te stellen voor bepaalde ecosysteemttypen of bodemgebruiksvormen. De actuele situatie wordt met de referentie vergeleken en de afwijking per deelindicator bepaald. In feite is dit een 'Amoebebenadering' zoals ook voor watersystemen ontwikkeld is en ter beoordeling van de ecosysteemkwaliteit wordt toegepast (Baptist & Jagtman, 1997; Van Hemelrijk & Laane, 1997). Verdere aggregatie tot een Bodemkwaliteitsindex is mogelijk door de deelindicatoren t.o.v de referentie te indexeren en in één kwaliteitsmaat uit te drukken.

1.4 Afbakening, concrete vraagstellingen van het pilot-onderzoek, en indeling van het rapport

In aansluiting op de doelstellingen van het Verdrag inzake biodiversiteit van Rio de Janeiro, is door de Nederlandse overheid een Strategisch Plan van Aanpak gemaakt om een aantal leemtes te vullen in kennis, instrumentarium en beleidsdoelstellingen.

Na een weloverwogen selectieproces zoals beschreven in Schouten et al. (1997) is een samenhangend geheel van praktisch bruikbare indicatorgroepen voor het functioneren van bodemecosystemen gekozen. Dit concept is vervolgens uitgeprobeerd in een pilotproject. Door beperkte tijd en middelen zijn niet alle deelindicatoren getest. De volgende onderzoeksvragen lagen aan de pilot ten grondslag:

- kan de gekozen indicatorset worden toegepast in een meetnet, zoals het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB)?
- hebben de gekozen deelindicatoren voldoende onderscheidend vermogen om verschillen tussen categorieën bodemecosystemen vast te stellen?
- kunnen de resultaten worden ingepast in de huidige prognostische en diagnostische instrumenten van het RIVM voor ecosysteemkwaliteit (o.a Natuurplanner en EKI)?

De rapportage over de pilot bestaat uit twee gedeeltes. Het onderzoek-technische deel met gedetailleerde resultaten van gemeten indicatorwaarden verschijnt als apart rapport (Schouten et al., 1999). Meer gedetailleerde vragen over methoden, indicatorwaarden en meetgegevens worden daar beantwoord. Het voorliggende rapport is bedoeld als 'covernotitie' waarin alleen een beleidsgerichte samenvatting wordt gegeven met een doorkijk naar mogelijkheden om

doelstellingen uit te werken voor biodiversiteit van lagere organismen (SPA actiepunten NMW 1 en NMW 5). Tevens wordt aangegeven op welke wijze de gegevens gebruikt zouden kunnen worden in de Milieu- en Natuurbalans c.q. -verkenningen.

De pilot had een aantal praktische doelstellingen (zie boven). Verschillende vragenstukken van meer fundamentele aard vielen buiten het bestek van het pilotonderzoek maar dienen wel opgelost te worden om de interpretatiemogelijkheden te verbeteren. Een overzicht van geïdentificeerde onderzoeksvragen wordt gegeven in hoofdstuk 5.

De noodzaak voor beleidsmaatregelen voor LSF-bodem hangt samen met de vraag naar de omvang en mate waarin LSF van de bodem verstoord is door veranderingen in samenstelling van functionele groepen. Zoals in 1.2 is aangegeven zijn er verschillende voorbeelden die er op wijzen dat bodemecosystemen niet optimaal functioneren. Een meer systematisch en landsdekkend overzicht wordt pas verkeken na indicatoren voor LSF-bodem opgenomen te hebben in meetnetten. In dit rapport wordt voorgesteld om de probleeminventarisatie samen te laten gaan met het verzamelen van gegevens die nodig zijn voor MB/MV toepassingen (zie hfdst. 4).

De relatie tussen biodiversiteit en functies is niet goed bekend. Hierdoor is het functionele aspect van biodiversiteit nog lastig kwantificeren of (getalsmatig) van doelstellingen te voorzien. Door het abstractieniveau van LSF is dat ook niet goed mogelijk. In Hoofdstuk 5 worden aanbevelingen gedaan om dit te verbeteren.

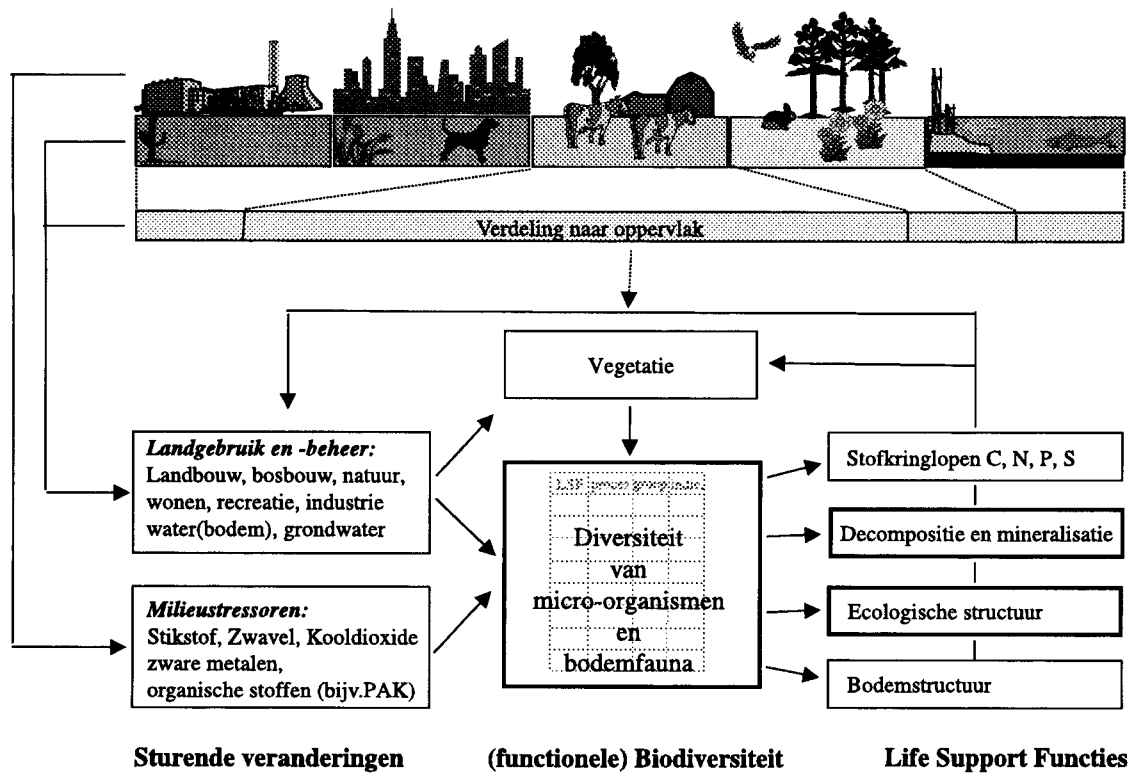
De modelmatige benadering die onderdeel vormt van het indicatorsysteem geeft wél de mogelijkheid om een kwantitatieve relatie te leggen met een aantal bodemprocessen. In dit verband kan het taalgebruik in dit rapport mogelijk verwarrend zijn. Met het indicatorsysteem voor LSF worden géén Life Support Functies rechtstreeks gemeten. Met behulp van het indicatorsysteem kunnen er wel twee onderdelen van functies worden berekend via modellering van het voedselweb. Verder doen de deelindicatoren hun naam eer aan doordat ze 'slechts' indicatief zijn voor het verloop van een deel van een proces, dat op zijn beurt een onderdeel is van een Life Support Functie. Met deze benadering wordt overigens een stap verder gegaan dan in het natuur-beschermingsbeleid gebruikelijk is. De intrinsieke waarde van soorten wordt daar wel geaccepteerd en leidt niet naar een 'so-what-vraag' of de noodzaak om veranderingen in verlies van ecosysteemfuncties uit te drukken.

Analoog aan de werkwijze in het natuurbeschermingsbeleid kan de waarde van een deelindicator worden beoordeeld op basis van een vergelijking met een gekozen referentie. Voor bodemecosystemen en processen zijn nog geen referentiebeelden beschikbaar. Deze kunnen gemaakt worden door het samenbrengen van onderzoeksgegevens en op dit doel gericht onderzoek.

Ondanks de bovenstaande beperkingen zijn de auteurs van mening dat er in principe methoden beschikbaar zijn om biodiversiteit van de bodem in een functionele context

meetbaar te maken. Door referenties te kiezen zijn er doelstellingen te formuleren. Als voorbeeld zijn in het volgende hoofdstuk de resultaten van de pilot zodanig bewerkt dat via een AMOEBA-benadering een hanteerbare index (BKX) voor bodembioologische diversiteit kan worden afgeleid.

In figuur 1 is de context weergegeven waarbinnen het indicatorsysteem is ontwikkeld. Het systeem richt zich op het compartiment ‘Micro-organismen en Bodemfauna’. Deelindicatoren zijn gemaakt op de diversiteit binnen functionele groepen die betrokken zijn bij belangrijke processen. De opzet is in principe kwalitatief en deels kwantitatief door integratie van gegevens m.b.v. een voedselwebmodel.



Figuur 1: Plaats van het Bodembioologisch indicatorsysteem voor LSF binnen de keten (kringloop) bodemgebruik - bodembiodiversiteit - ecologische processen (LSF).

2. RESULTATEN

In de pilot “Bodembioologische indicator LSF” is een praktische benadering gevolgd waarmee LSF van de bodem geconcretiseerd, en beoordeeld kunnen worden. Dit is gedaan op basis van de samenstelling van functionele groepen en modellering van het bodemvoedselweb (kwantificering functies). Een selectie van deelindicatoren uit Tabel 1 is gemeten op 37 locaties van het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB). Dit betrof meetpunten uit de gebruikscategorieën ‘grasland op zeelei’ en ‘tuinbouw- + bloembollen bedrijven’. Als (voorlopige) referentie zijn twee ecologische bedrijven bemonsterd.

In de bijlage wordt een toelichting gegeven op het uitgevoerde onderzoek. Verdere details zijn beschreven in het bijbehorende achtergronddocument (Schouten et al, 1999). De resultaten uit de literatuurstudie naar de betekenis van biodiversiteit voor het functioneren van graslanden worden separaat gerapporteerd (Kuikman et al., 1998).

Tabel 3 van bijlage 2 geeft een overzicht van de deelindicatorwaarden in de onderzochte graslanden op zeelei en de tuinbouw (+bollen) bedrijven. Tevens zijn de significante verschillen tussen LMB-categorieën aangegeven. Voor de meeste van de onderzochte deelindicatoren bestaan er duidelijke (meest zeer significante) verschillen tussen de twee onderzochte grondgebruiks vormen. Dit toont aan dat de deelindicatoren, in ieder geval bij deze twee categorieën, onderscheidend zijn voor grondsoort en/of bodemgebruik.

In de volgende paragraaf wordt een samenvatting gegeven van de resultaten van het pilotproject in de vorm van een LSF-AMOEBE, en een Bodemkwaliteitsindex (BKX) die hier uit af te leiden is.

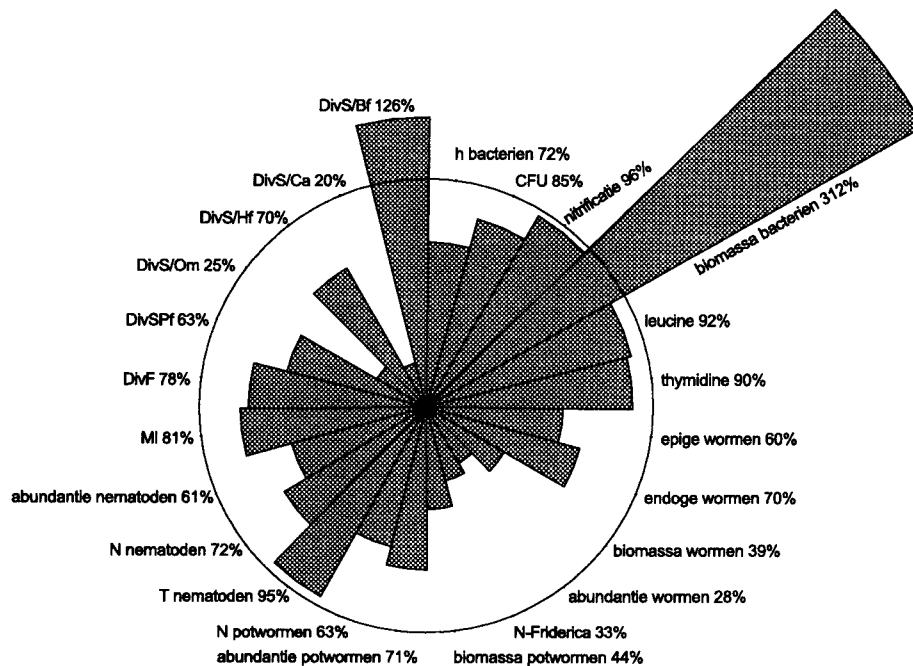
2.1 LSF-AMOEBE

Voor beleidsgerichte toepassing van (veld)meetgegevens is verdere condensatie van de gegevens in een overzichtelijke presentatie-methode noodzakelijk. Bij de opzet van het indicatorsysteem was hier reeds in voorzien. Een kwalitatieve beoordeling van LSF-deelindicatoren vindt plaats door deze te vergelijken met een bepaalde referentie of streefbeeld. Dit kan een historische referentie zijn of een streefbeeld dat is opgesteld aan de hand van kennis over ongestoorde systemen of een gewenste soortensamenstelling. In het natuurbeleid wordt een analoge benadering gehanteerd door middel van het aanwijzen van natuurdoeltypen en doelsoorten.

Voor de biologische kwaliteitsbeoordeling van watersystemen en kustwateren is de z.g AMOEBE-benadering ontwikkeld om de huidige met de gewenste situatie of (tussentijdse) beleidsdoelstellingen te vergelijken. Naast toepassing voor het aquatisch milieu is de AMOEBE-benadering ook gebruikt voor terrestrische ecosystemen. Verschillende varianten

zijn inmiddels gemaakt voor de presentatie van milieu- of natuurkwaliteit-informatie op provinciale en landelijke schaal.

Op basis van de gemeten LSF-deelindicatorwaarden en de beschikbaarheid van een referentie beeld, kan uit de resultaten van de pilot een LSF-AMOEBE voor graslandbedrijven op zeekelegronden gemaakt worden. Het resultaat is te vinden in figuur 2.



Figuur 2. AMOEBE-presentatie van gemeten deelindicatoren voor LSF-bodem.

De AMOEBE laat in één opslag de resultaten van de verschillende deelindicatoren zien. De cirkel wordt gevormd door de deelindicatorwaarden van de referentie. Bij de verschillende segmenten van de cirkel staat aangegeven welke deelindicatoren het betreft en hoe groot de afwijking tot de referentie is. Gegevens die slechts op een beperkt aantal locaties zijn verzameld, zoals de deelindicatoren mijten en modelberekeningen, zijn niet in de AMOEBE opgenomen omdat een vergelijking met de referentie niet mogelijk is. Een nadere toelichting op de gebruikte deelindicatoren wordt gegeven in bijlage 2 en 3.

In de AMOEBE is te zien dat bijna alle deelindicatoren binnen de cirkel liggen. Op basis van de gekozen referentie lijkt de diversiteit van functionele groepen binnen het onderzochte bodemgebruikstype dus te laag. Alleen de bacteriële biomassa springt met een factor 3 ruim boven de cirkel uit. Afgaand op deze inschaling zou de bacteriële biomassa in de onderzochte LMB-graslanden te hoog zijn. Ook het aantal soorten bacterie-etende nematoden is op de LMB-locaties gemiddeld iets hoger dan op het biologische bedrijf. Waarschijnlijk hangt het resultaat van deze twee deelindicatoren samen met de hoeveelheid mest die over de bodem

verspreid wordt. Ook dit kan beoordeeld worden als een effect van verstoring. Verklaringen blijven echter speculatief omdat harde cijfers over de bemestingsintensiteit ontbreken.

De bovenstaande LSF-AMOEBE uit de pilot heeft primair een voorbeeldfunctie. De gegevens zijn nog niet uitgebreid genoeg om op basis hiervan de bodemkwaliteit van graslanden in Nederland te beoordelen. In de eerste plaats is de LMB steekproef uit 20 bedrijven relatief klein, maar daarnaast dient er vooral een betere onderbouwing van de referentie te komen. In dit voorbeeld is die gebaseerd op waarnemingen op één biologisch vee­teelt­bedrijf. Bij voorkeur zou het referentiebeeld op een gelijk aantal waarnemingen gebaseerd moeten zijn als het aantal meetnetlocaties. Hierdoor kunnen verschillen ook statistische getoetst worden. De AMOEBE-presentatie van de gemeten deelindicatoren zou verder bewerkt kunnen worden tot een 'proces-AMOEBE'. Dit kan bijvoorbeeld door voor een bepaald proces bundelen in sectoren van een AMOEBE. De gevonden deelindicatorwaarden, zoals de afwijking in bacterie-biomassa, zouden bovendien verder geïnterpreteerd kunnen worden op basis van modelsimulaties.

2.2 Bodemkwaliteitsindex

De geïndexeerde deelindicatorwaarden uit de LSF-AMOEBE hierboven zijn verder te aggregeren tot een Bodemkwaliteitsindex. Deze zou aangeduid kunnen worden als de BKX. De BKX voor de LMB-graslandbedrijven op zeeklei is berekend door het geometrisch gemiddelde te nemen van de indexwaarden van de deelindicatoren. Hiermee krijgt een afwijking van 50% van de referentie een even zware invloed toebedeeld als een afwijking van 200% (beide een factor 2 op logaritmische schaal). Wanneer de referentie op 100 wordt gesteld dan wordt de LSF-Bodemkwaliteitsindex voor de LMB-graslanden op zeeklei: **BKX=65**. De gemiddelde afwijking van de referentie is dus 35%.

Behalve een gemiddelde afwijking van de referentie zijn ook andere varianten mogelijk als kwaliteitsmaat. Afhankelijk van de gewenste marge voor de kwalificatie van ongewenste effecten kan een graadmeter bijvoorbeeld opgebouwd worden uit het aantal deelindicatoren die buiten een bandbreedte van 50-200% vallen. Een nadeel van een dergelijke methode is echter wel dat mogelijk een groot deel van de deelindicatoren niet meewegen in de uiteindelijke kwaliteitsindex.

De meest recente ontwikkeling in beoordelings- en presentatiemethoden voor ecosysteemkwaliteit is het concept van de Ecologisch KapitaalIndex (EKI). De EKI zal in de nabije toekomst waarschijnlijk een breed toepasbaar kwaliteitscriterium worden, om de veranderingen in biodiversiteit van ecosystemen te volgen (RIVM, 1998). Hiermee wordt invulling gegeven aan het NatuurWaarde-criterium uit het concept van de 'Leefomgevingskwaliteit' en de Leefomgevingsbalans.

Het Ecologische Kapitaal wordt gebaseerd op zowel kwaliteit als kwantiteit van een aantal graadmeters (indicatoren). De kwaliteit wordt uitgedrukt als % van een referentie. De kwantiteit wordt bepaald door het percentage areaal (t.o.v. een referentie) dat een ecosysteemtype of bodemgebruikstype beslaat in Nederland.

De BKX hierboven is in feite het kwaliteitsindexdeel voor een graadmeter 'EKI - LSF graslanden op klei'. De EKI wordt uiteindelijk gevormd uit een aggregatie van verschillende graadmeters gemeten in natuurgebieden (terrestrisch en aquatisch), gedomesticeerde- en urbane gebieden (RIVM, 1998).

3. Evaluatie van de pilot, keuzen en kosten.

3.1 Keuzen

De resultaten van het uitgevoerde pilot-onderzoek (deelindicatorwaarden en voedselwebanalyse) wijzen er op dat de dichtheid en diversiteit van bodemorganismen gerelateerd is aan de combinatie van landgebruik en bodemtype. Verder is er een behoorlijk meetbereik binnen bedrijven van één categorie. De kwantitatieve relatie tussen biodiversiteit en LSF is nog niet voldoende bekend. Onderzoek daaraan viel ook buiten de vraagstelling van dit project. Een aantal processnelheden zijn modelmatig uit de dichtheid en samenstelling van deelindicatoren te berekenen. In de pilot is dit slechts voor twee locaties uitgewerkt, hetgeen een bijdrage aan maar geen oplossing voor de veel bredere problematiek vormt.

Ondanks de wetenschappelijke onzekerheden zijn reeds kwalitatieve beleidsdoelstellingen geformuleerd voor LSF van de bodem, gericht op behoud, robuustheid en duurzaam gebruik. De vraag vanuit DGM is om deze kwalitatieve doelen meetbaar te onderbouwen. Dit zou in semi-kwantitatieve zin ondersteund kunnen worden door deelindicatorwaarden te vergelijken met referentiebeelden, en in kwantitatieve zin door gebruik te maken van een voedselwebanalyse c.q. -model.

Met de opgedane ervaringen in de pilot kan opnieuw de vraag gesteld worden op welke wijze een instrument voor LSF-bodem het best te operationaliseren is. Hieronder worden eerst een aantal inhoudelijke aspecten afgewogen. In 3.2 worden de kosten hiervan besproken.

Keuze van het indicatorsysteem

Aan de keuze voor het indicatorsysteem in z'n huidige vorm lag het volgende dilemma ten grondslag:

- Voor behoud en duurzaam gebruik van de LSF functies van de bodem moet informatie worden verkregen over het verloop van processen i.r.t het voorkomen van functionele groepen van organismen. De processen zijn modelmatig wel globaal te berekenen, maar in het veld moeilijk te meten.
- Processnelheden sec geven geen informatie over de biodiversiteit van organismen en de robuustheid van de populaties die de processen in stand houden.
- Biodiversiteit alleen (aantal soorten) geeft geen informatie over de omvang van processen.

In het indicatorsysteem is een combinatie van beide benaderingen (structuur en functie) gekozen. Een aantal microbiële processen wordt rechtstreeks gemeten. Informatie over andere 'lagen in het bodemecosysteem' wordt verzameld aan de hand van functionele ecologische eenheden binnen verschillende groepen organismen. Het geheel levert kwantificeerbare ecologische functies op door gebruik te maken van een voedselweb model.

Conclusie: uit de ervaringen met het pilotonderzoek kan geconcludeerd worden dat de kwantitatieve voedselwebbenadering te arbeidsintensief en te kostbaar is om op grote schaal (40-50 locaties per jaar) toe te passen (zie ook de kostenberekening in Schouten et al. 1997). Dit neemt niet weg dat de benadering nog steeds de voorkeur heeft indien de (financiële) randvoorwaarden minder stringent zouden zijn.

Ook de uitkomsten van een voedselwebmodel zijn een benadering van de werkelijkheid, die niet alle aspecten van een bodemecosysteem volledig kan omvatten. Zo is het bijvoorbeeld niet mogelijk om het (mechanische) effect van grotere organismen, die een aanzienlijk deel van de biomassa uitmaken, in het voedselweb te verdisconteren.

Het zou daarom een meer praktische oplossing zijn om voedselwebanalyse op beperkte schaal uit te voeren (6-10 locaties per jaar), en de vrijgekomen ruimte te benutten om meting van meer bodemprocessen mogelijk te maken. Gedacht kan worden aan: bodemademhaling, decompositiesnelheid, stikstofmineralisatie, aggregaatvorming. Deze technieken zijn echter nog niet in meetnetverband uitgetest. Het kan gezien worden als een ontwikkeltraject binnen het LMB-LSF-meetnet.

Keuze van deelindicatoren

1) Van de microbiologische deelindicatoren bleken de dichtheids- en activiteitsmaten (aantal, biomassa, DNA en eiwitsynthese) goed toepasbaar. De potentiële nitrificatiecapaciteit heeft de naam een gevoelig proces te zijn. In de pilot leverde deze meting echter bijna altijd dezelfde waarde op. Blijkbaar is de (experimenteel gemeten) potentiële waarde tamelijk constant in bodems.

De biologtest is voldoende ontwikkeld om op grote schaal toegepast te worden maar blijft afhankelijk van de kweekbaarheid van bacteriën. Het heeft de voorkeur om bacteriële genetische diversiteit toe te voegen als meest directe maat voor de biodiversiteit. De methode is inmiddels voldoende ontwikkeld en betaalbaar geworden.

Conclusie: potentiële nitrificatie als deelindicator laten vervallen, vervangen door genetische diversiteit.

2) De dichtheid en samenstelling van bodemnematoden (aaltjes) wordt inmiddels 5 jaar gemeten in het LMB. Hierdoor is voor deze groep als enige, een dataset opgebouwd waarmee een indeling naar bodemeigenschappen, en de respons op verontreinigingen te modelleren is. Deze groep neemt qua maat en eenvoud van technieken een positie in tussen de micro-organismen en grotere bodemorganismen. De indeling van 'aantal soorten per functionele groep' kan op twee manieren plaatsvinden, nl. naar ecologische karakteristieken en voedseltype.

In de LSF-pilot is gebleken dat een aantal functionele groepen (bijv. carnivoren) slechts met een gering aantal soorten vertegenwoordigd is. Overall-maten leverden hierdoor betere resultaten op. De analyse kan routinematig worden uitbesteed.

Conclusie: goede deelindicatoren zijn abundantie, aantal soorten, Maturity Index, Trofische Index

3) Bepaling van de deelindicatoren op basis van regenwormen bleek arbeidsintensief door de relatief grote grondmonsters die hier voor nodig zijn en de methode van handsorteren. Door het relatief geringe aantal dieren dat wordt gemonsterd kan de uiteindelijke deelindicator het best worden samengesteld uit een aantal factoren tezamen (zie bijlage 3; Schouten et al., 1999). Bij de kleinere potwormen speelt dit in mindere mate, maar ook daar is een combinatie van biologische parameters aan te bevelen. Wormen zijn vertegenwoordigers van grotere dieren in het indicatorsysteem, die ook een rol spelen in de bodemstructuur-vorming. De routinematige analyse moet worden uitbesteed bij een gespecialiseerd laboratorium, voor potwormen is dit momenteel nog niet operationeel (wel realiseerbaar).

Conclusie: deelindicatoren handhaven.

4) Mijten en springstaarten zijn in deze pilot slechts op twee locaties onderzocht. Vooral de bodemmijten vormen een soortenrijke groep waarin een groot aantal functionele groepen te onderscheiden zijn. Monstername en extractie uit de bodem is eenvoudig en snel te doen. Onderscheid tot op soort en indeling in functionele eenheden is nog zeer specialistisch en niet routinematig uit te besteden. Analyse van de bodemmijten is nog relatief duur.

Conclusie: goede deelindicatoren, met een aantal praktische beperkingen. Bij voorkeur opname in het indicatorsysteem, definitieve keuze nog niet te maken.

5) De modelmatige deelindicatoren stikstofmineralisatie en ecosysteemstabiliteit zijn ook maar op twee locaties uitgetoet. Ze zijn in principe te berekenen door aggregatie van de resultaten van de afzonderlijke indicatorgroepen. Het dynamische model heeft echter informatie van 4 verschillende tijdstippen nodig, hetgeen een uitgebreidere monstername vergt en dus de kosten aanzienlijk verhoogt. De voedselwebbenadering heeft een structurerende invloed gehad op de opbouw en samenstelling van het indicatorsysteem, het is daarom in de vorige paragraaf in een ruimer verband bediscussieerd.

Conclusie: voedselwebanalyse en modellering is theoretisch de meest ideale benadering voor de kwantificering van ecosysteemfuncties. De kosten en benodigde onderzoeksinspanning lijken het momenteel onhaalbaar te maken om dit op grote schaal toe te passen. In plaats hiervan zouden een aantal direct meetbare procesindicatoren ontwikkeld kunnen worden. Er is momenteel echter nog onvoldoende ervaring om deze nieuwe deelindicatoren rechtstreeks in een meetnet op te nemen.

‘Tussen wal en schip deelindicatoren’

De pilot is uitgevoerd met een selectie van de best (snelst) meetbare indicatorgroepen. Dit beslaat het merendeel van het indicatorsysteem. De volgende groepen dreigen uit de boot te vallen: ééncelligen (protozoën), paddestoelen, mycorrhiza paddestoelen (wortelschimmels) en mogelijk mijten en springstaarten.

Eéncellige organismen zijn lastig te meten, maar ze zijn een zeer belangrijke factor in het voedselweb. Voor voedselwebmodel-berekeningen is bepaling van het aantal eencellige

organismen onontbeerlijk. Schimmels zijn zeer belangrijk voor de decompositie van dood organisch materiaal (vooral de afbraak van persistente organische verbindingen). De hoeveelheid schimmeldraden in de bodem is te meten, maar de soortendiversiteit is hoofdzakelijk vast te stellen aan de hand van de vruchtlichamen (paddestoelen). Inventarisatie van het voorkomen van paddestoelen vraagt een langere waarnemingstijd en is minder geschikt voor gronden die in agrarisch gebruik zijn.

Conclusie: ééncellige organismen niet opnemen als kwalitatieve deelindicator, wel bij voedselwebanalyses. Waarnemingen aan paddestoelen zijn in beperkte mate inpasbaar in het LMB. Vooralsnog kan deze deelindicator niet makkelijk opgenomen worden.

Hoeveel deelindicatoren zijn nodig?

Afhankelijk van het beschikbare budget of analogie in de respons van indicatorgroepen kan men zich afvragen hoeveel deelindicatoren eigenlijk nodig zijn.

Wanneer wordt afgezien van de vraag om ecosysteem-functies te kwantificeren, kan in feite met elke combinatie van deelindicatoren volstaan worden. Hoe meer deelindicatoren worden gebruikt, des te beter is de doorsnede door het bodemsysteem.

In de pilot bleek dat verschillende deelindicatoren een zelfde beeld op leveren. Dit roept al snel de vraag op “of het ook met minder kan”. Het is op dit moment echter nog te vroeg om de set sterk in te perken. De gekozen deelindicatoren hebben een functie op verschillende niveaus in het bodemvoedselweb. Ze aggregeren dus ook op effecten uit verschillende delen van het ecosysteem. Wanneer elke deelindicator een andere respons had vertoont was een tamelijk chaotisch beeld ontstaan. De globaal overeenkomstige reacties van de deelindicatoren scheppen vertrouwen in de gevoeligheid voor belangrijke processen.

Conclusie: eventueel kan het aantal deelindicatoren per groep organismen (indicatieve variabele) teruggebracht worden. Voor de indicatorgroepen blijft het echter zaak om eerst een breder beeld te krijgen over meer bodemgebruikstypen voordat tot verdere optimalisatie kan worden overgegaan.

3.2 Kosten

De uiteindelijke kosten van een diagnose- (meetnet) en prognose-instrument (model/DSS) zijn afhankelijk van een aantal factoren. Er moet rekening gehouden worden met:

- de hoeveelheid deelindicatoren;
- het aantal submonsters dat per locatie nodig is voor analyse van een indicatorgroep;
- al dan niet kwantificeren van functies via voedselwebmodellering;
- aantal locaties (inclusief referenties);
- mogelijkheden van uitbesteding van biologische analyses bij commerciële laboratoria;
- opnemen van het onderzoek in structurele middelen en programma's van instituten.

Kosten van deelindicatoren

Hieronder is een overzicht gemaakt van de laatste kostenindicaties voor het meten van de verschillende deelindicatoren. In grote lijnen komt dit overeen met de prijzen die gegeven zijn in Schouten et al. (1997). Inmiddels is de prijs voor de DGGE-bepaling (genetische diversiteit bacteriën) aanzienlijk gedaald. Prijzen voor wormen+potwormen en mijten+springstaarten zijn nog gebaseerd op metingen door LUW en IBN. Volgens de eerste indicaties blijft de prijs voor een wormen-monster bij een commercieel laboratorium (BLGG) in dezelfde orde van grootte.

Tabel 2: *Kosten biologische bepaling per monster (in hfl). De meeste bepalingen vragen meerdere monsters (ca. 5) per locatie. Alleen voor de kleinere organismen (bacteriën, protozoën, nematoden) kan met één mengmonster worden volstaan. Een aantal deelindicatoren zijn ook specifiek nodig voor voedselwebmodellering. Een voedselwebanalyse vergt bovendien 4 bemonsteringen in een periode van 1 jaar.*

Deelindicator	kosten
1. Bacteriën (AB-DLO)	
a) aantal + biomassa (tevens voedselweb)	240,-
b) snelheid DNA en eiwitsynthese	200,-
c) DGGE (aantal DNA-banden)	470,-
d) biologtest	560,-
e) potentiële nitrificatie	200,-
2. Schimmels (AB-DLO; voedselweb)	
- lengte en volume schimmeldraden	240,-
3. Protozoa (AB-DLO; voedselweb)	
- telling (MPN) amoeben, flagellaten, ciliaten	470,-
4. Nematoden	
- extractie, aantal, biomassa (AB-DLO; voedselweb)	470,-
- extractie, aantal, soortensamenstelling (BLGG)	350,-
5. Springstaarten + mijten	
a) aantal, voedselgroepen, biomassa (AB-DLO; voedselweb)	470,-
b) soortensamenstelling (IBN-DLO)	500,-
6. Wormen + potwormen (BLGG + LUW ?)	350,-
7. Mineralisatie-metingen (AB-DLO, lab)	
a) C-mineralisatie (zuurstofconsumptie)	200,-
b) N-mineralisatie (accumulatie van minerale N)	200,-

Kosten LSF-indicatorsysteem in het LMB.

Wanneer uitgegaan wordt van de selectie zoals die uit de vorige paragraaf (3.1) naar voren komt (1a, 1b, 1c, 1d, 4, 5b, 6) dan resulteert dat in een kostprijs van circa 6500,- per locatie. Met 40 locaties per jaar in het meetnet komt het bedrag dus op 257000,-. Hierbij is nog niet voorzien in onderzoek op referentielocaties en een beperkt aantal voedselwebanalyses. Een voedselwebanalyse kost bij volledige doorberekening ca. 10000,- per locatie (vier bemonsteringen per jaar). Wanneer het onderzoek ook deel kan uitmaken van de DLO-programma's is verdeling van de lasten op een 50/50 basis mogelijk en kan tot een aanzienlijke kostenreductie gekomen worden. Enkele kostenberekeningen zijn nader uitgewerkt in bijlage 4.

3.3 Hoe nu verder

Voor het verkrijgen van de benodigde gegevens om een LSF-module te maken, is in principe een volle LMB-ronde van 5 jaar nodig. Deze kan eventueel kortgesloten worden door het onderzoek te intensiveren en in 2 á 3 jaar uit te voeren. Dit levert wel aanzienlijk hogere kosten op omdat maar beperkt gebruik gemaakt kan worden van de infrastructuur van het LMB.

Tijdens de opbouw van de LSF-database kan jaarlijks een beoordeling gegeven worden van de onderzochte LMB-categorieën. Voorwaarde is wel dat gelijktijdig referentiebeelden worden opgesteld. Dit vraagt dus een zekere hoeveelheid additioneel onderzoek op 5 tot 10 referentielocaties per grondgebruikcategorie.

Analyse van de deelindicatoren kan grotendeels uitbesteed worden bij gespecialiseerde laboratoria of ingenieursbureaus (BLGG-Oosterbeek, Aquasens, AB, Bioclear). De exacte kosten die dit met zich meebrengt dienen nog nader geïnventariseerd te worden. Abiotische metingen zouden kunnen worden uitgevoerd bij AB-DLO en RIVM zoals dat nu ook gebeurt i.h.k.v. het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit.

Methoden zijn ontwikkeld en uitgetoetst. Indien de geboden deelindicatoren en aggregatiemethoden voor het natuur- en milieubeleid bruikbare oplossingen zijn, dan hangt verder toepassing hoofdzakelijk van de beschikbare middelen af. Het indicatorsysteem is flexibel. Het kan naar believen worden uitgebreid of ingekrompen. Bij voorkeur zou voortzetting plaats moeten vinden als onderdeel van het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit dat in 1999 een tweede meetronde ingaat.

Daarnaast is op een aantal punten nadere onderbouwing gewenst deze zijn beschreven in hoofdstuk 5.

4. Naar een instrument voor diagnose en prognose van biodiversiteit in de bodem.

Voor de berekening van ecologische effecten op regionale en landelijke schaal maakt het RIVM gebruik van statistische modellen die de 'kans op voorkomen' van organismen schatten. Dit is het meest in detail uitgewerkt voor de vegetatie (MOVE-model). Het MOVE-model vormt samen met het abiotische standplaatsmodel SMART het hart van de Natuurplanner. Momenteel wordt de Natuurplanner uitgebreid met modules voor vogels, vlinders in relatie tot het thema versnippering. Hierdoor ontstaat een Decision Support System (DSS) waarmee effecten van beleidscenari'o's kunnen worden geschat. De Natuurplanner gaat in de toekomst onderdeel uitmaken van de DSS-Groene Ruimte waarmee ruimtelijke ordenings- aspecten, economische- en landbouwontwikkeling in de afweging kunnen worden betrokken.

Voor bodemorganismen kan een aparte module binnen de Natuurplanner gemaakt worden, wanneer de respons van LSF-indicatoren op milieuthema's op analoge wijze wordt bewerkt als gegevens over andere groepen. Dit hoeft zich niet te beperken tot de bodem. Op dit moment is echter de ontwikkeling van andere LSF-indicatoren (o.a. ziekten en plagen, zelfreinigend vermogen oppervlakte-water) nog niet zover dat concrete ideeën bestaan over de inbouw in een DSS.

Bodembioologische-module

In het kader van het RIVM-project "Functionele Biodiversiteit" wordt reeds gewerkt aan de voorbereiding van een bodembioologische-module als onderdeel van de Natuurplanner. Dit systeem dient gevoed te worden met gegevens over het vóórkomen van bodemorganismen in relatie tot de abiotische omstandigheden en het landgebruik. De gemeten bodemkenmerken en de indeling van gebruiksvormen worden bepaald door de structuur van het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB, zie bijlage 1). Er worden 10 gebruikscategorieën onderscheiden, ieder met een steekproef van 20 bedrijven.

Uit de beschikbare gegevens van 200 locaties kan een statistisch verband worden bepaald tussen biotische en abiotische kenmerken, bij voorkeur op een multivariate wijze. Hieruit is 'de kans op voorkomen' bij een combinatie van abiotische omstandigheden af te leiden. Voor de effecten van de (nominale) factor 'grondgebruik' is geen regressiemodel te maken. De invloed van bodemgebruik op de deelindicatoren is wel tussen de categorieën onderling te vergelijken. Meer gedetailleerde effecten of varianten binnen een grondgebruikstype (ploegen, drainage, vruchtwisseling) zijn als zodanig niet in een responsmodel te vatten, tenzij hier op bedrijfsniveau en per bedrijf een waarde voor gegeven kan worden. Voor enkele andere factoren als bemesting of verdroging kan soms een oplossing gevonden worden in de vorm van afgeleiden van andere bodemkenmerken.

De berekende kans op voorkomen van organismen zegt ook iets over de functionele biodiversiteit. Dit is eventueel verder te kwantificeren door de uitkomsten van het respons-

model te gebruiken als invoer voor een (procesmatig) voedselwebmodel. Via een voedselwebbenadering zouden de gegevens over het voorkomen omgerekend kunnen worden naar termen van ecosysteem-functioneren (mineralisatie) en ecosysteem-stabiliteit.

De op te bouwen bodembioologische-module dient gebaseerd te zijn op gegevens over verschillende soortgroepen c.q. deelindicatoren. Bij de opzet van de Bodembioologische indicator is een inventarisatie gemaakt van belangrijke bodemprocessen, en de daarvoor verantwoordelijke functionele groepen. Hierbij gaat het om bacteriën, eencelligen, nematoden, regenwormen, potwormen, mijten, springstaarten, paddestoelen etc.

Aan de basis van een bodembioologische-module ligt een bestand (database) met biologische gegevens (opnames) en bijbehorende bodemeigenschappen c.q. concentraties van stoffen. Er is reeds een begin gemaakt met de opbouw van deze database door gebruik te maken van de resultaten uit het pilot project Bodembioologische indicator en bijbehorende gegevens uit het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit.

Benodigde gegevens

De noodzakelijke informatie voor een bodembioologische-module in de Natuurplanner kan op de volgende manieren verkregen worden:

- 1) Voortzetting van de bemonsteringen i.h.k.v. het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit.
De geselecteerde deelindicatoren in de pilot kunnen desgewenst aangevuld worden met andere soortgroepen.
- 2) Verzamelen van gegevens uit literatuur, (niet gepubliceerd) veldonderzoek, en gegevens van andere instituten, PGO's e.d.
- 3) Vaststellen van indicatorwaarden in referenties en meer extreem verstoorde omstandigheden.

Momenteel is nog niet goed genoeg bekend, welk functioneringsniveau c.q. welke abundantie van organismen onder gegeven omstandigheden "normaal" is. m.a.w. er is dringend behoefte aan referentiegegevens of streefbeelden.

Streefbeelden voor deelindicatoren dienen opgesteld te worden bij verschillende abiotische condities en bij verschillende landgebruiksvormen, bijvoorbeeld op ecologische agrarische bedrijven, in natuurgebieden (EHS) en op ernstig verontreinigde lokaties.

Kennis over variatie van deelindicatoren in ruimte en tijd, en hun 'normaalwaarde', is noodzakelijk voor de beoordeling van ecosysteemkwaliteit. Dergelijke informatie is ook dringend gewenst in andere beleidsvelden als bijvoorbeeld de beoordeling van het 'actuele risico van verontreinigingen'.

Naast onderbouwend onderzoek in het Stimuleringsprogramma Biodiversiteit kan samenwerking gezocht worden in het kader van de DLO-onderzoeksprogramma's 305: Bodemkwaliteit en Biodiversiteit en 321: Systeemgerichte Ecotoxicologie van de Natuurlijke Omgeving.

Diagnose en prognose

Samenvattend bestaan er de volgende mogelijkheden voor een diagnose- en prognose instrumenten:

Diagnose: de bodemkwaliteit in een bepaald type landgebruik is te beoordelen door resultaten verkregen binnen een meetnet te vergelijken met (nog te genereren) referentie-gegevens en daaruit af te leiden doelen.

Het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB) biedt hiervoor een uitstekende infrastructuur (200 locaties, 10 categorieën, omlooptijd 5 jaar, zie ook bijlage 1). In het LMB wordt jaarlijks een steekproef genomen uit bepaalde categorieën van grondgebruik. Samen met een uitbreiding van de referentieset kan dit AMOEBES en een Bodemkwaliteitsindex opleveren voor verschillende grondsoorten. Deze benadering is primair ingreepgericht (bodemgebruik). De omvang van de jaarlijkse steekproef is te gering om een goede relatie met stoffen af te leiden. Effecten van stoffen zijn wel te schatten uit de dataset die opgebouwd wordt gedurende een meetnetcyclus. Deze gegevens worden gebruikt voor het prognose-instrument.

Toepassing: de meetnetresultaten zouden jaarlijks in de Milieubalans opgenomen kunnen worden. Herhaling van de meetnetcyclus geeft de mogelijkheid om veranderingen in de tijd te volgen.

Prognose: bouw van een bodembioologische-module waarmee de 'kans op voorkomen' van de deelindicatoren kan worden berekend. Hiervoor zijn drie stappen nodig.

a) opbouw van een database met meer dan 200 (kwalitatief goede) opnames van LMB-locaties waar deelindicatoren en abiotische kenmerken tegelijk gemeten zijn. Deze gegevens worden verkregen uit de veldmetingen bij de op de vorige bladzijde genoemde punten 1 t/m 3. Het minimaal benodigde aantal opnames hangt onder meer af van het aantal soorten waarover een uitspraak gedaan moet worden en de gewenste nauwkeurigheid/betrouwbaarheid. De metingen in het LMB bepalen mede de milieufactoren waarop een respons berekend kan worden.

b) afleiden van regressiemodellen voor de soorten of deelindicatoren met een beperkt aantal abiotische kenmerken en gecombineerde toxiciteitsmaten.

c) koppelen van de regressiemodellen met abiotische modules uit de DSS. In principe kan gebruik gemaakt worden van de programmatuur, technieken en functionaliteiten die voor de DSS zijn ontwikkeld.

Toepassing: de resultaten kunnen gebruikt worden in de Milieu- en Natuurverkenning, en andere scenario-studies. De opzet van het meetnet (dichtheid aan meetpunten) en de verdeling in categorieën laten in eerste instantie alleen modellering op nationale schaal toe.

5. Lijnen voor nader onderzoek

Naast het verzamelen van veldgegevens, die een beeld moeten geven van de toestand van LSF in de Nederlandse bodem, is verdere wetenschappelijke onderbouwing van het theoretisch concept gewenst. De volgende onderwerpen dienen nader onderzocht te worden:

- Kwantificering van de relatie structuur (soorten / functionele groepen) en functies (processen), danwel diversiteit - stabiliteit;
- Effecten van stoffen en ingrepen (ploegen, bemesten etc.) op bodemorganismen en functies;
- Ontwikkeling van meer gedetailleerde perceels-specifieke beoordelingssystemen ter ondersteuning van duurzame landbouwmethoden;
- Vaststellen van de relatie tussen boven- en ondergrondse biodiversiteit;
- Opstellen van geschikte referentiebeelden voor (deel)indicatorwaarden in verschillende ecosysteemtypen, en opstellen van een maatlat voor deelindicatoren en processen.

Het bovengenoemde onderzoek zou zoveel mogelijk geïntegreerd moeten plaats vinden, om antwoorden te vinden op de relatief complexe vragenstukken. Bovendien moet er een spin-off zijn naar beleidsgerichte toepassingen. Het één en ander kan gerealiseerd worden door onderzoek gestructureerd onder te brengen in het Stimuleringsprogramma Biodiversiteit en wel in de thema's 1: operationalisering doelen, en 5: functionele betekenis biodiversiteit.

Onderzoek op hoofdlijnen:

1) Aanvullend onderzoek, nodig voor bodembiologische indicator/functionele biodiversiteit.

Gezien de vragen die ontstaan zijn na de pilot is het aan te bevelen:

a) het meetnetonderzoek aan te vullen met meer procesindicatoren. Behalve de analyse van het voorkomen van organismen, kan een grotere selectie van processen direct gemeten worden om het accent nog meer naar de functionele kant op te schuiven. Te denken valt aan meting van aggregaatvorming, mineralisatie- en decompositiesnelheden.

Deze uitbreiding van het onderzoek zou kunnen worden uitgevoerd binnen het RIVM-project Functionele Biodiversiteit. In tegenstelling tot de nu geselecteerde en toegepaste deelindicatoren bestaan er nog geen standaardprotocollen om die processen te meten (anders dan de microbiologische). Voor een deel dienen de meetmethoden nog ontwikkeld te worden. Mogelijk uit te voeren door IBN, LUW, VU.

b) onderzoek te doen naar dynamiek van deelindicatoren over het jaar en tussen jaren. Om een uitspraak te doen over het functioneren van ecosystemen is het noodzakelijk om ook inzicht te hebben in de dynamiek van de abundanties van de organismen. Meetnetgegevens

worden meestal één keer per jaar verzameld. In het LMB is dat zelfs één keer in de 5 jaar. Het blijkt dat veel van de overige onderzoeks- en inventarisatiegegevens verkregen zijn in verschillende jaren of jaargetijden en dat de noodzakelijke abiotische parameters niet zijn gemeten. Meer inzicht is nodig met betrekking tot de dynamiek en variabiliteit in de meetnetgegevens, en daarom zou voor de gekozen deelindicatoren nader moeten worden onderzocht. Hiertoe zouden een beperkt aantal lokaties frequent over het jaar en zo mogelijk over een periode van verschillende jaren moeten worden geanalyseerd.

Samenwerkingspartners hierbij zijn naast RIVM, LUW, IBN-DLO, AB-DLO, IPO, VU.

c) gegevens over deelindicatoren in 'referentie-ecosystemen' te verzamelen.

Momenteel is nog niet goed genoeg bekend, welk functioneringsniveau c.q. welke abundantie van organismen onder gegeven omstandigheden "normaal" is, m.a.w. er is dringend behoefte aan referentiegegevens. Daarvan kunnen dan doelen (streefbeelden) worden afgeleid voor een bepaalde "gewenste situatie". Streefbeelden en referenties voor deelindicatoren dienen opgesteld te worden bij verschillende abiotische condities en bij verschillende landgebruiksvormen, bijvoorbeeld op ecologische agrarische bedrijven, in natuurgebieden (EHS) en op ernstig verontreinigde lokaties.

d) beter inzicht te krijgen in de diversiteit van de microbiële gemeenschap.

De grootste biodiversiteit in het milieu, zowel wat betreft biomassa, als wat betreft aantal verschillende species wordt bepaald door de micro-organismen.

Binnen de bodembioologische indicator is dit en vorig jaar een indicatorsysteem ontwikkeld om verschillende ecosystemen functioneel te onderscheiden, m.b.v. functionele fingerprints op basis van Biologplaten. Daarnaast bestaan ook andere karakteriseringsmethoden, die zich meer op structuurkenmerken van microbiële gemeenschappen richten. Belangrijke technieken daaronder zijn fosfolipiden-samenstelling van de biota en moleculair biologische technieken zoals DGGE en ARDRA. Op dit moment is er geen mogelijkheid, anders dan op basis van statistische methoden, om een verband te leggen tussen structuur en functie.

De laatste drie technieken, die nog in ontwikkeling zijn, worden steeds algemener toegepast en het zou goed zijn, om na te gaan welke technieken het grootste onderscheidend vermogen hebben tussen ecosystemen. (uit te voeren door RIVM, AB- en IPO-DLO)

2) Ontwikkeling van meetmethoden voor het verband tussen diversiteit en het verloop van processen.

Dit kan d.m.v. experimentele studies naar het functioneren van ecosystemen in microcosmos-opstellingen of veldexperimenten. Voor het verband tussen de verschillende deelindicatoren en processen zou a.h.w. een ijklijn gemaakt moeten worden. Wanneer de relatie bekend is hoeven processen niet meer gemeten te worden. Ze kunnen dan worden afgeleid uit één of meerdere deelindicatoren.

3) Betekenis van functionele redundantie van soorten

Een belangrijke eigenschap van ecosystemen is, dat er vaak veel organismen voorkomen, die dezelfde functies kunnen uitoefenen (redundantie). Wanneer het puur om de bescherming van functies gaat, is het de vraag hoe erg het is dat bepaalde soorten of soortgroepen verdwijnen, wanneer die functie wordt overgenomen door anderen. Ofwel, moet het voorzorgprincipe echt noodzakelijk worden toegepast? Wanneer redundantie te kwantificeren is, zou dit mogelijk de beste indicator voor functionele biodiversiteit kunnen zijn. Het streven zou moeten zijn om een zo hoog mogelijke mate van redundantie te handhaven.

Binnen het stimuleringsprogramma zou specifiek aandacht moeten worden gegeven aan kwantificering van de rol van redundantie voor een stabiel en vitaal ecosysteem met voldoende zelfherstellend vermogen. (mogelijk uit te voeren door: VU, RIVM)

4) Onderzoek naar de noodzaak voor gedifferentieerde doelen.

Een belangrijk punt bij formulering van beleid is het vaststellen van doelen. Doelen kunnen gesteld worden op procesniveau, op ecosysteemniveau of op land(water)gebruiksniveau. Allereerst zal een doelstelling dienen af te hangen van de combinatie bodemtype en gewenst landgebruik. Daarnaast kunnen doelen vanuit verschillende processen of functies worden geformuleerd, bijvoorbeeld: 1) maximale plantaardige productie, 2) minimale input aan nutriënten, chemicaliën en energie, 3) minimale uitspoeling van nutriënten, 4) maximale snelheid van processen en cycli.

Ook kan door een combinatie van aspecten naar een bepaald optimum worden gestreefd. Verschillende typen van doelen betekenen mogelijk ook dat er een noodzaak bestaat om verschillende deelindicatoren c.q. indicatorsets samen te stellen.

5) Uitbreiding ecosysteemmodellen met dosis-responsrelaties

Een belangrijk probleem bij biodiversiteits onderzoek is het leggen van een relatie tussen structuur en functie. Eén van de tools bij het verkrijgen van dergelijk inzicht is de toepassing van voedselwebanalyses en modellen. Veel van deze modellen hebben nog niet de mogelijkheid om dosis-respons relaties op te nemen, waardoor scenariostudies nog niet zijn uit te voeren. Bij voorkeur zouden resultaten van dosis-responsberekeningen uit de bodembioologische-module als input voor voedselwebmodellen moeten dienen. Veranderingen in soortensamenstelling en functionele groepen kunnen dan doorgerekend worden naar effecten op functies. Uitbreiding van de voedselwebmodellen zou moeten worden geëntameerd (mogelijke uitvoering door: RIVM, AB-DLO, SC-DLO).

6. Antwoorden op de vragen

Aan het pilotproject 'Bodembioologische indicator voor LSF' lagen een aantal praktische vragen ten grondslag. Het had verder tot doel een voorbeeld uit te werken van de wijze waarop beleidsdoelstellingen tot stand zouden kunnen komen. Hieronder is een samenvattend overzicht gemaakt van de resultaten voor onderzoeksvragen die zijn behandeld (1 t/m 4). Tijdens de loop van het project en begeleidingscommissievergaderingen zijn ook meer beleidsgerichte vragen opgeworpen (6 t/m 10) over haalbaarheid, kosten en termijn van operationalisering. Het antwoord hierop heeft een subjectief karakter. Bij het beantwoorden van deze vragen zijn de auteurs er van uitgegaan dat de wil en mogelijkheid aanwezig is om de benodigde gegevens te gaan verzamelen in een samenwerkingsverband van meerdere instituten.

1) Zijn we in staat de deelindicatoren te meten/kwantificeren?

Antwoord: De uitgeprobeerde deelindicatoren bleken goed meetbaar. Met de deelindicatoren worden verschillen tussen locaties gemeten en kunnen in principe trends in de tijd aangetoond worden. De waarde van de deelindicatoren hangt niet alleen af van de mate van bodemverontreiniging maar ook van de grondsoort en het landgebruik. Voor een aantal deelindicatoren was het schaalniveau waarop gewerkt moest worden, of het bodem(gebruiks)type mogelijk nieuw, maar dat heeft niet tot onvoorziene problemen geleid. Wel is duidelijk geworden dat grotere series en routinematige bepalingen bij voorkeur gedaan moeten worden door laboratoria die hiervoor specifiek toegerust zijn. Dit kost een zekere investering in specifieke kennis en apparatuur. Voor de meeste deelindicatoren is een oplossing beschikbaar wanneer er meer zekerheid geboden kan worden over de omvang en continuering van onderzoeksopdrachten. In de pilot zijn echter niet alle deelindicatoren getest, bovendien kon wegens geldgebrek de voedselwebanalyse en de functionele samenstelling van de bodemmijten slechts op een beperkt aantal locaties worden vergeleken. Het is mogelijk om de structuur en een aantal processen/functies (stabiliteit en mineralisatie-snelheden) te meten en modelmatig te kwantificeren.

2) Zijn de metingen nauwkeurig genoeg om verschillen tussen categorieën statistisch significant vast te stellen?

Antwoord: De geselecteerde deelindicatoren leverden een goed onderscheidend vermogen tussen de twee LMB-categorieën op (zie tabel met significante verschillen in bijlage 2). Dit resultaat kan gaan variëren met de grondgebruiksvormen die vergeleken worden. Ervaringen met onderzoek aan de deelindicator "nematodenfauna", dat reeds 5 jaar in het LMB is uitgevoerd, geeft aan dat vrijwel altijd verschillen meetbaar zijn tussen de soortensamenstelling afkomstig uit diverse typen landgebruik en grondsoort. Eerste bewerkingen van de Nemabase hebben laten zien dat responsmodellen voor bijv. pH en zware metalen te maken zijn.

De voedselwebanalyse en het onderzoek aan bodemmijten in de pilot betrof slechts twee locaties. Voor deze deelindicatoren kunnen daarom geen verschillen tussen de categorieën worden vastgesteld.

3) *Kunnen we de deelindicatoren relateren aan ecosysteemprocessen?*

Antwoord: Ja, en wel op twee manieren:

- a) De deelindicatoren zijn gekozen op basis van hun bijdrage aan processen in een bepaalde LSF (zie 1.3). Ten eerste is een semi-kwantitatieve (relatieve) benadering mogelijk door gebruik te maken van referentiebeelden. Aan de hand van een gekozen referentie zijn de deelindicatoren te aggregeren in een bodembioologische-AMOEBE of Bodemkwaliteitsindex. Bij een semi-kwantitatieve benadering wordt aangenomen dat het verschil met de referentie ook zal leiden tot veranderingen in processen die door de betreffende indicatorgroepen worden gestuurd. De verhouding waarmee dit gebeurt zal uit nader onderzoek moeten blijken. Het belang van het verzamelen van een goede referentieset voor verschillende ecosystemen, bodemgebruiksvormen en de beleidsmatig vastgestelde normering hiervoor is door het onderzoek in de pilot extra onderstreept.
- b) ten tweede is kwantificering van functies mogelijk via modelberekeningen op basis van de voedselweb-structuur. De samenstelling van functionele groepen is van invloed op de snelheid van ecosysteemprocessen (zoals mineralisatiesnelheden). De modelberekeningen voor de mineralisatie-snelheden bleken te verschillen tussen grasland en akker. Dit werd ondersteund door laboratorium-metingen aan deze processen, die indicatief zijn voor de situatie in het veld. (zie bijlage 2, 3 en Schouten et al. 1999 in prep.)

4) *Is het indicatorsysteem in te passen in een meetnetinfrastructuur ?*

Antwoord: Bij het ontwerp van het indicatorsysteem is reeds rekening gehouden met het feit dat de geselecteerde deelindicatoren goed meetbaar zouden moeten zijn binnen het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB). Dit meetnet biedt qua infrastructuur, locatiekeuze, en abiotische metingen een uitstekende basis voor de realisering van een bodembioologisch meetinstrument. Alhoewel er voldoende bekend is over de technische meetbaarheid van alle deelindicatoren, was er slechts in beperkte mate ervaring opgedaan in een meetnetopzet.

Qua meetbaarheid en inpasbaarheid in het LMB hebben zich geen grote problemen voorgedaan. In de pilot zijn echter niet alle deelindicatoren uitgetoet. Alle kleine bodemmonsters en mengmonsters zijn genomen en gedistribueerd door de veldploeg van het LMB, dit bleek goed in te passen in het monsterprogramma. Monsters voor de voedselwebanalyse en bodemmijten (slechts 2 locaties + referenties) zijn door de uitvoerende instituten zelf verzameld omdat dit onderzoek niet synchroon liep met het LMB. Ondanks de robuustheid van de gekozen deelindicatoren is het aan te bevelen om een aantal methodische aspecten nader te evalueren (jaargetijde van bemonstering, variatie tussen jaren etc).

5) *Zijn referenties te vinden, op basis waarvan beleidsdoelstellingen voor LSF-bodem kunnen worden geformuleerd?*

Antwoord: Referenties (of referentiebeelden c.q. streefbeelden) kunnen in theorie gevonden worden in extensieve of duurzame vormen van landgebruik. In een aantal gevallen zullen natuurgebieden als referentie dienst kunnen doen. Daarnaast dient ook een maatlat gemaakt te worden, zodat bekend is tussen welke waarden een deelindicator variëren kan.

Tijdens de pilot bleek dat het vinden van 'negatieve referenties' (= verstoorde of vervuilde gebieden) meer problemen met zich mee bracht dan voorzien was. Dit was mede het geval door de grondsoort die in het LMB onderzocht werd. Zeekleibodems zijn over het algemeen weinig belast. Maar bovendien worden verontreinigingen ook sterk gebonden (dus lage biologische beschikbaarheid). Voor verontreinigingen met ecologische effecten moet uitgeweken worden naar saneringslocaties, die qua gebruik echter weinig overeenkomst meer vertonen met de bedrijven uit het LMB.

Ecologische bedrijfsvoering kan mogelijk als referentie dienen voor een gebruiksvorm waarbij optimaal gebruik gemaakt wordt van natuurlijke processen. Voor de graslandbedrijven bleek deze benadering goed op te gaan. De resultaten van het tuinbouwbedrijf wijzen er echter op dat ook binnen dit type grondgebruik een range in deelindicatorwaarden zal bestaan. Een goede vergelijking of beoordeling kan pas worden gemaakt als voldoende replicaties onderzocht zijn.

6) *Binnen welke termijn kunnen beleidsdoelstellingen voor LSF-bodem geformuleerd worden?*

Antwoord: Dit hangt af van de investering die gepleegd kan worden. Het LSF-bodem indicatorsysteem is opgehangen aan het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB), om op efficiënte manier gebruik te kunnen maken van de meetnetinfrastructuur en abiotische metingen die reeds uitgevoerd worden. Ieder jaar worden twee landgebruiksvormen onderzocht. Wanneer hiernaast referenties gekozen kunnen worden, is jaarlijkse rapportage over een deel van de Nederlandse bodemtypen mogelijk (bijvoorbeeld in de Milieubalans vorm van een AMOEBE en BKK). Op deze wijze kunnen stapsgewijs doelstellingen tot stand komen voor verschillende grondgebruiksvormen.

Wanneer de indicator gemeten wordt binnen de volgende 'LMB-ronde van Nederland' zijn over 5 jaar in principe voldoende gegevens verzameld om een eerste prognosemodel te maken. Hiermee kan de kans op voorkomen van de deelindicatoren worden voorspeld in relatie tot abiotische factoren (milieuthema's). Met behulp van deze modellen kan het effect van bepaalde veranderingen in het milieu worden voorspeld. Dit is reeds uitgetoond en aangetoond aan de hand van het nematodenonderzoek (één van de indicatorgroepen) dat inmiddels 5 jaar in het kader van de eerste LMB ronde is uitgevoerd. Versnelling van het proces is mogelijk door een herbemonstering van de eerder bezochte LMB-locaties uit te voeren, in 2 á 3 jaar tijd. Dit zal ook hogere kosten met zich mee brengen.

7) *Wat kan er nu over 5 jaar ?*

Antwoord: Na een volledige meetnetcyclus (5 jaar) zijn er in principe voldoende opnames om te beginnen aan responsmodellen voor deelindicatoren. Vanuit statistisch oogpunt vormen de 200 meetpunten slechts een smalle basis voor het afleiden van responsmodellen. Het aantal abiotische kenmerken of toxicologische somparameters wordt daartoe tot 4 á 5 beperkt. Dit is mede mogelijk doordat dan gebruik gemaakt kan worden van een relatief hoogwaardige dataset met direct gerelateerde ecologische en abiotische gegevens. Gedacht kan worden aan respons op bodemfactoren als: zuurgraad, organische stof, vocht, nutriënten, som-zware metalen. Op basis van het verkregen bestand met 200 opnames kan dus niet het hele scala aan metalen en organische verbindingen in regressiemodellen worden opgenomen.

In dit verband is het aan te bevelen om zoveel mogelijk andere beschikbare (en geschikte) gegevens te verzamelen (literatuur, veldgegevens van andere instituten, PGO's e.d.), en aan de LSF-database toe te voegen.

Met behulp van de verkregen responsmodellen kan tenslotte een module in de Natuurplanner worden gemaakt waarmee beleidsvragen m.b.t. de relatie LSF - abiotische factoren te beantwoorden zijn. Met het reeds bestaande instrumentarium moet dit binnen een korte tijd te realiseren zijn.

Het indicatorsysteem kan tevens gebruikt worden om de ecologische effecten van grondgebruiksvormen (landbouw-methoden) te beschrijven en tot een advies over beperking van effecten te komen. Verbanden tussen bodemfauna en optimalisering van productie zijn nog niet voldoende onderzocht om in de praktijk toe te passen. Dit vraagt nader, en ander onderzoek dan in het kader van het LMB kan worden gedaan (bijv. in het Stimuleringsprogramma Biodiversiteit). Over 5 jaar zou deze kennis mogelijk ook in het beschikbare Decision Support System kunnen worden ingebouwd.

Naast het afleiden van responsmodellen is de LSF-dataset ook geschikt voor het bewerken van andere vragen m.b.t. (functionele) biodiversiteit van de bodem zoals het vergelijken van ecologische verschillen tussen bodem-categorieën, het maken van verspreidingatlassen van soorten, een ecologische bodemtypologie e.d.

8) *Over welke factoren kunnen beleidsmatig zinnige uitspraken gedaan worden na 5 jaar ?*

Antwoord: De opzet en omvang van het LMB is gericht op de kwaliteit van grondgebruikscategorieën op nationale schaal (zie bijlage 1). Daardoor kunnen over 5 jaar algemene uitspraken gedaan worden over de kwaliteit van de bodemecologische processen in 10 bodemgebruikscategorieën. Mits voldoende referentie-onderzoek is gedaan, kan de ecologische bodemkwaliteit worden afgezet tegen beleidsdoelen. Deze bodemkwaliteit kan hooguit nog naar regio's gedifferentieerd worden. De kleinste eenheid is het bedrijfsniveau. Onderscheid tussen teelt- of grondbewerkingsvormen binnen bedrijven is dus niet

mogelijk. Hiervoor zou een veel groter en fijnmaziger meetnet nodig zijn, tenzij de bestaande capaciteit wordt gebruikt om in te zoomen op een beperkt deelgebied. De structuur van het LMB bepaalt in hoge mate ook de strekking, en mate van detail waarop uitspraken te doen zijn over de ecologische respons van de LSF-deelindicatoren. Het grootste struikelblok voor gedetailleerde vragen over de effecten van bedrijfsvoering is de beschikbaarheid van gegevens. Bij de keuze van bedrijven wordt samengewerkt met het LEI, dat een aantal noodzakelijke (vertrouwelijke) gegevens niet beschikbaar kan stellen. Hierbij moet gedacht worden aan gegevens over (kunst)mestgift, gebruik bestrijdingsmiddelen e.d. De respons van deelindicatoren kan dus gekoppeld worden aan gemeten bodemkenmerken of beschikbare informatie op bedrijfsniveau. Deze laatste moet dan in principe voor alle locaties beschikbaar zijn om er responsmodellen voor op te kunnen stellen.

Het is binnen de LMB-opzet wel mogelijk om vormen van bedrijfsvoering onderling te vergelijken wanneer hiervoor voldoende replica's zijn. Een voorbeeld zijn de graslanden op zandgronden met verschillende veebezetting. Hier zijn gegevens beschikbaar over drie klassen met in het totaal 55 bedrijven (Van Esbroek et al. 1995).

9) Hoe kan sturing vanuit het beleid plaatsvinden.

Antwoord : LSF van de bodem zijn lastig stuurbaar, alleen al vanwege het feit dat ze samengesteld zijn uit veel verschillende processen en slechts in beperkte mate direct tastbaar zijn. De mogelijkheden voor sturing liggen primair bij het scheppen van de randvoorwaarden voor zo optimaal mogelijke ontwikkeling van (functionele) biodiversiteit. Dit zou gebaseerd kunnen worden op referenties voor bodemgebruikstypen. Sturing zou plaats kunnen vinden op basis van het verschil in abiotische eigenschappen of grondbewerking. Hiermee wijkt de situatie voor LSF in feite niet af van andere onderdelen van het milieubeleid als die voor water en bodem. Een verschil ontstaat wel voor gebieden buiten de Ecologische Hoofdstructuur, en met name de bodems die in agrarisch gebruik zijn. Hier is duidelijk een raakvlak met het landbouwbeleid. Het betreft bovendien een aanzienlijk deel van het Nederlandse bodemareaal. In landbouwgronden moet enerzijds optimaal gebruik gemaakt worden van de bodemvruchtbaarheid en biologische ziektenplaagregulatie, anderzijds worden juist (chemisch-technologische) methoden gebruikt om de beperkingen van de natuurlijke bronnen te omzeilen. Sturing kan plaatsvinden door het stimuleren van meer milieuvriendelijke landbouwmethoden. Het verdient echter aanbeveling om de relatie tussen LSF en landbouwmethoden meer in detail te onderzoeken dan in meetnet verband mogelijk is.

10) *Is een meetnet met LSF-deelindicatoren voldoende, of is er nog meer nodig ?*

Antwoord: Met een set LSF-bodem deelindicatoren en voldoende meetnetgegevens zijn diagnose- en prognose-instrumenten te maken.

Verzameling van gegevens binnen het LMB levert op efficiënte wijze een set van hoogwaardige waarnemingen op basis waarvan multivariate regressiemodellen kunnen worden opgesteld, nodig voor een diagnostisch en prognostisch instrument, anderzijds wordt een landsdekkende beschrijving gegenereerd van de LSF in een groot deel van de Nederlandse bodem.

Het verdient daarnaast de voorkeur om voor nadere onderbouwing en verdieping van de kennis te zorgen. Genoemd kan worden:

- a) Onderzoek naar dynamiek van deelindicatoren over het jaar en tussen jaren.
- b) Gegevens over deelindicatoren in 'referentie-ecosystemen'.
- c) Ontwikkeling van meer (directe) procesindicatoren, eventueel in plaats van een voedselwebanalyse.
- d) Onderzoek naar het verband tussen: diversiteit van functionele groepen en het verloop van processen. Wanneer uit gedetailleerd onderzoek een ijklijn geconstrueerd kan worden voor dit verband, is het effect van biodiversiteitveranderingen op functies uit goedkoop meetnetonderzoek te herleiden.

Kennis over variatie van deelindicatoren in ruimte en tijd (a), en hun 'normaalwaarde' (b), is noodzakelijk voor de beoordeling van ecosysteemkwaliteit. Dergelijke informatie is ook dringend gewenst in andere beleidsvelden als bijvoorbeeld de beoordeling van het 'actuele risico van verontreinigingen'.

7. Literatuur

- Baptist, H.J.M., E. Jagtman, 1997. Watersysteemverkenningen 1996. De AMOEBES van de zoute wateren. RIKZ-rapport 97.027
- Brussaard, L., L.A. Bouwman, M. Geurs, J. Hassink, K.B. Zwart, 1990. Biomass, composition and temporal dynamics of soil organisms of a loam soil under conventional and integrated management. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 38: 283-302.
- Crommentuijn, T., M.D. Polder, E.J. van de Plassche, 1997. Maximum permissible concentrations and negligible concentrations for metals, taking background concentrations into account. RIVM-rapport nr. 601501001.
- De Ruiter, P.C., J.C. Moore, K.B. Zwart, L.A. Bouwman, J. Hassink, J. Bloem, J.A. De Vos, J.C.Y. Marinissen, W.A.M. Didden, G. Lebbink, L. Brussaard, 1993. Simulation of nitrogen mineralization in the below-ground food webs of two winter wheat fields. *Journal of Applied Ecology* 30: 95-106.
- De Ruiter, P.C., A.-M. Neutel, J.C. Moore, 1995. Energetics, patterns of interaction strengths, and stability in real ecosystems. *Science* 269, 1257-1260
- Gezondheidsraad (1997) De voedselweb-benadering in de ecotoxicologische risicobeoordeling. Rijswijk: Gezondheidsraad, publicatie nr. 1997/14
- Hoogerkamp M., H. Rogaar, H.J.P. Eijsackers, 1983. Effect of earthworms on grassland on recently reclaimed polder soils in the Netherlands. In: JE Satchell (Ed), *Earthworm Ecology, from Darwin to Vermiculture*. Chapman and Hall, London, 85-105.
- Kuikman, P.J., J. Bloem, P.C. de Ruiter, 1998. Biodiversiteit van de bodem in relatie tot duurzaam gebruik en multifunctionaliteit van graslanden. AB-DLO rapport, in druk.
- LNV, VROM, V&W, OCW, EZ, 1995. Strategisch Plan van Aanpak biodiversiteit. Nederlandse uitwerking van het verdrag inzake biologische diversiteit.
- LNV, VROM, V&W, 1997. Omgevingskwaliteit voor Biodiversiteit.
- Mando, A., L. Stroosnijder, L. Brussaard. 1996. Effects of termites on infiltration into crusted soil. *Geoderma*, 74 : 107-113.
- Marinissen J.C.Y., J. Bok, 1988. Earthworm-amended soil structure: its influence on Collembola populations in grassland. *Pedobiologia* 32: 243-252.
- Posthuma, L., C.A.M. van Gestel, C.E. Smit, D.J. Bakker, J.W. Vonk (Eds), 1998. Validation of toxicity data and risk limits for soils: final report. RIVM-report 607505004.
- Reest P.J. van der, H. Rogaar, 1988. The effect of earthworm activity on the vertical distribution of plant seeds in newly reclaimed polder soils in the Netherlands. *Pedobiologia* 31: 211-218.
- RIVM, 1998. Leefomgevingsbalans, voorzet voor vorm en inhoud. RIVM-rapportnr. 408504001.
- RIVM/IKC-N/DLO/RIZA/RIKZ, 1997. Wat en Hoe met Biodiversiteit. RIVM-rapport.

- RMNO/NRLO/RMb/RNb, 1995. Advies omgevingskwaliteit voor biodiversiteit. Onderzoeksprogrammering en hanteren van onzekerheid. Publicatie RMNO 112, NRLO 95/9, RMb 1995/5, RNb.
- RMNO/NRLO, 1997^a. "Leven in verscheidenheid". RMNO-rapportnr. 127, NRLO nr 97/19.
- RMNO/NRLO, 1997^b. Achtergrond-documenten voor het advies "leven in verscheidenheid" RMNO nr 128, NRLO nr 97/20, 1997
- 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-rapportnr. 712910005.
- Schouten, A.J., J. Bloem, W. Didden, P.C. de Ruiter, H. Siepel, M. van Esbroek, A.M. Breure, 1999. Pilotproject Bodembioologische Indicator voor LSF. RIVM-rapport nr 60760100?, in voorbereiding.
- Siepel H., 1991. Recovering of natural processes in abandoned agricultural areas: decomposition of organic matter. Proc. 4th ECE/XIII. SIEC, Godöllö.
- Van Esbroek, M.L.P., J.R.M. Alkemade, A.J. Schouten, 1995. Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit. Deel 1: De nematodenfauna en de fosfaattoestand in de bodem van melkveehouderijbedrijven op zandgrond. RIVM-rapport nr. 714801004
- Van Hemelrijk, J.A.M., W.E.M. Laane, 1997. Watersysteemverkenningen 1997. Aanpassing van AMOEBES voor het IJsselmeergebied. RIZA-rapport 97.039
- Van der Voet, E., F. Klijn, W. Tamis, R. Huele, 1997 Regulatiefuncties van de biosfeer. Aanzet tot een operationalisering van de life support functie van de biosfeer, toegespitst op de rol van soortenrijkdom. VROM-SVS publicatiereeks nr. 1997/33.
- VROM/LNV/V&W, 1997. Omgevingskwaliteit voor biodiversiteit. Beleidsnotitie uitgave VROM-SVS.

Bijlage 1: Samenvatting pilotproject bodembioologische indicator voor LSF

Inleiding

Na het opstellen van een (theoretisch) concept voor een indicatorsysteem, werd opdracht verleend om dit in de praktijk te testen. De Bodembioologische indicator was opgezet aan de hand van een aantal praktische randvoorwaarden zodat het onderzoek in principe binnen het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit kon worden geïntegreerd (zie volgende paragraaf).

Het doel van de pilot was de werkbaarheid van het indicatorsysteem in de praktijk uit te proberen. Hiermee is een antwoord gezocht op de volgende vragen:

- Zijn de gekozen deelindicatoren meetbaar en te kwantificeren?
- Wat is het onderscheidend vermogen van de deelindicatoren?
- Zijn de metingen nauwkeurig en specifiek genoeg om verschillen aan te tonen tussen de LMB-categorieën?
- Zijn de deelindicatoren te relateren aan ecosysteemprocessen?
- Is het deelindicatorsysteem in te passen in een meetnetinfrastructuur?
- Zijn referenties te vinden waarmee beleidsdoelstellingen kunnen worden geformuleerd?

Het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit

Het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB) heeft tot doel de (abiotische) bodemkwaliteit van Nederland te beschrijven en in kaart te brengen. Door de metingen om de 5 jaar op dezelfde plaatsen te herhalen moet na verloop van tijd ook een trend in stofgehaltenes aan te geven zijn. In het LMB worden 10 categorieën van grondgebruik onderzocht. Elke categorie vertegenwoordigt een veelvoorkomende combinatie van bodemgebruik en bodemsoort. De volgende categorieën zijn onderscheiden: 1) Graslanden op zandgrond, veehouderij extensief; 2) Graslanden op zandgrond, veehouderij intensief; 3) Graslanden op zandgrond, veehouderij intensief + varkens; 4) Boslocaties op zandgrond; 5) Akkerbouwbedrijven op zandgrond; 6) Graslanden op veen; 7) Akkerbouw op zeeklei; 8) Graslanden op rivierklei; 9) Graslanden op zeeklei; 10) Tuinbouw- en bloembollenbedrijven (gemengde grondsoort).

Per categorie worden 20 locaties bemonsterd, en ieder jaar worden 2 categorieën gedaan (40 locaties). In het totaal worden dus 200 plekken verspreid over heel Nederland onderzocht. Dit geeft een globaal landelijk beeld van de bodemkwaliteit. Een groot deel van de Nederlandse bodem (ca. 70%) is in agrarische gebruik. Het LMB omvat daardoor bijvoorbeeld verschillende soorten graslanden en akkerbouwgronden. Van natuurgebieden zijn alleen bossen in het meetnet opgenomen. Het LMB werkt op 'bedrijfsniveau', dat wil zeggen dat de kleinste meet-eenheid een agrarisch bedrijf is. Per bedrijf worden mengmonsters verzameld voor analyse van de bodemsamenstelling en het voorkomen van verontreinigingen. Tevens wordt het ondiepe grondwater op samenstelling onderzocht en het bodemprofiel op de locaties

beschreven. Selectie van de deelnemende bedrijven gaat in samenwerking met het Landbouw Economisch Instituut (LEI).

In het laatste (vijfde) jaar van de eerste LMB-cyclus zijn monsters verzameld in de categorieën 'graslanden op zeelei' en 'tuinbouw + bloembollenbedrijven'.

Opzet van het Pilotproject

Het pilotproject voor de Bodembioologische indicator bestond uit **drie** delen:

Deel 1: selectie van 5 van de 12 deelindicatoren op alle 40 LMB locaties. Door het uitvallen van 3 tuinbouwbedrijven zijn dit er in het totaal 37 geworden. Mede vanwege het beschikbare budget is gekozen voor het meten van

- a) microbiële afbraakroutes (nr. 3 in het schema)
- b) micro-organismen (nr. 7)
- c) nitrificatie capaciteit (nr. 11)
- d) nematoden (nr. 9)
- e) wormen en potwormen (nr. 1)

Aan al deze groepen (indicatieve variabelen) zijn meerdere deelindicatoren bepaald.

Deel 2: Op twee locaties (een uit elke LMB-categorie) is een voedselweb analyse gedaan (deelindicator nr. 6 en 12), naast de bovengenoemde 5 deelindicatoren. Hiervoor zijn binnen een jaar (1997, begin 1998) vier bemonsteringen uitgevoerd. Met deze gegevens is een modelberekening gemaakt van de stikstofmeneralisatie en de stabiliteit van de betreffende voedselwebben. Op deze twee locaties is ook eenmalig een analyse gemaakt van de voorkomende bodemmijten (deelindicator nr. 2).

Deel 3: Tot slot is in aanvulling op de monsterlocaties van het LMB, een eerste poging gedaan om referentiebeelden en een maatlat op te stellen, door de onderzoek op vijf extra plaatsen. Vanuit de gedachte dat ecologische of biologisch dynamische methoden de meest duurzame en bodemvriendelijke vorm van landbouw zijn, werden een ecologisch tuinbouw- en veeteeltbedrijf bemonsterd volgens dezelfde methode als binnen het LMB wordt gehanteerd. Deze werden als meest ongestoorde (onbelaste) referentie binnen de grondgebruiksvorm beschouwd. Aan de andere kant van de maatlat zouden de indicatorwaarden bepaald moeten worden op verontreinigde of zeer intensief gebruikte gronden. Voor de LMB-categorie tuinbouw is binnen het bestek van de pilot geen geschikt voorbeeld gevonden. Ook verstoorde graslanden op zeelei bleken lastig te vinden, tenzij naar echte sanerings locaties werd uitgeweken. Tenslotte is voor één locatie gebruik gemaakt van het Zuid-Hollandse PIMM-meetnet, en zijn een oud baggerslibdepot en een slootslibdepot gekozen vanwege de mogelijk verhoogde gehalten aan verontreinigingen.

Bemonstering van de LMB-locaties heeft plaats gevonden in het voorjaar van 1997, de referenties en verstoorde locaties zijn in het najaar bezocht.

Bijlage 2: Samenvatting resultaten van de pilot

Bemonstering

Qua meetbaarheid en inpasbaarheid in het LMB hebben zich geen grote problemen voorgedaan. Behalve voor de voedselwebanalyse en de mijten (slechts 2 locaties + referenties) zijn de monsters genomen en gedistribueerd door de veldploeg van het LMB, dit bleek goed in te passen in de overige activiteiten. Aangezien het nemen van monsters voor biologische analyse sneller verliep dan die voor grondwatermonsters, bleek het in de praktijk het meest praktisch om beide activiteiten los te koppelen.

Resultaten deelindicatoren

Tabel 3 geeft een overzicht van de deelindicatorwaarden in de onderzochte graslanden op zeelei en de tuinbouw (+bollen) bedrijven. Tevens zijn de significante verschillen tussen LMB-categorieën aangegeven. Zoals in de tabel direct te zien is (laatste kolom) bestaan er duidelijke (meest zeer significante) verschillen tussen de twee onderzochte grondgebruiks vormen. Dit toont aan dat de deelindicatoren, in ieder geval bij deze twee categorieën, onderscheidend zijn voor grondsoort en/of bodemgebruik. Uiteraard is dit een tamelijk willekeurige combinatie die voortgekomen is uit de inrichting van het LMB. Het verkregen resultaat dient als een voorbeeld, de vergelijking van andere combinaties zal waarschijnlijk ook andere uitkomsten met zich meebrengen.

Voor de graslanden is een bruikbare referentie verkregen. Op de verontreinigde locaties zijn inderdaad verhoogde gehalten aan zware metalen, bestrijdingsmiddelen en PAK aangetroffen. Niet alle deelindicatoren gaven duidelijke effecten aan op de verontreinigde locaties. Dit versterkt het vermoeden van een beperkte biologische beschikbaarheid. De soms geringe effecten zijn te verklaren uit de ouderdom van de verontreiniging (30-40 jaar), de neutrale pH en een relatief hoog gehalte aan organische stof, lutum, en daarmee ook de cationen omwissingscapaciteit (CEC).

Tabel 3. *Overzicht van de deelindicatorwaarden gemeten op LMB-locaties; 20 graslandbedrijven op zeelei, 37 tuinbouw- en bloembollenbedrijven. Voor de graslanden op zeelei zijn (voorlopige) referenties gekozen. n geeft het aantal replica's. Tevens zijn significante verschillen voor deelindicatorwaarden tussen de grondgebruiksvormen aangegeven: * = $p \leq 0.05$, ** = $p \leq 0.01$, *** = $p \leq 0.001$.*

Groep	Deelindicatoren	Grasland op zeelei			Tuinbouw	Δ Grl -Tui
		gem. LMB (n=20)	referentie (n=1)	verontrein- igd (n=2)	gem. LMB (n=17)	verschil LMB-cat.
Bacteriën	Thymidine inbouw (pmol/g/uur)	179.7	198.1	110.1	108.3	***
	Leucine inbouw (pmol/g/uur)	847.9	916.2	491.2	392.8	***
	Bacteriële biomassa (μ g C/g)	232.4	74.5	20.9	56.4	***
	Kolonie-vormende eenheden (10^7 CFU/g)	17.1	20.1	18.6	2.6	***
	Potentiële nitrificatie (mg NO ₃ - N /kg/week)	93.6	96.7	101.0	74.0	***
Biolog	logCFU-50 (activiteit 50%)	3.73	3.45	3.06	2.87	***
	h- coëfficiënt (evenness)	0.39	0.54	0.50	0.6	***
	gg50 (μ g grond met 50% funct.)	95	14	7.5	44	*
Nematoden	Abundantie (aantal/100 g)	4629	7570	2760	2069	***
	Aantal taxa	26.1	36	32.5	21.8	*
	Maturity Index	1.77	2.17	1.82	1.47	***
	Trofische diversiteitsindex	2.12	2.22	2.31	1.51	***
	Aantal soorten bacterie-eters	11.4	9	13.5	13.3	*
	Aantal soorten carnivoren	0.4	2	1.5	0.6	n.s
	Aantal soorten schimmel-eters	2.1	3	3.5	2.1	n.s
	Aantal soorten omnivoren	1	4	0	1.2	n.s
	Aantal soorten planteneters	11.4	18	14	4.5	***
Aantal functionele groepen	3.9	5	4	4.3	n.s	
Potwormen	Abundantie (aantal/m ²)	24908	34837	20013	16096	**
	Aantal taxa	8.2	13	8.5	5.5	***
	Biomassa (g/m ²)	5.6	12.43	2.37	1.10	***
	N-Friderica (aantal/m ²)	8654	25878	2594	1300	***
Regenwormen	Abundantie (aantal/m ²)	317.9	1112.5	368.75	40.2	***
	Biomassa (g/m ²)	70.1	176.58	94.48	3.8	***
	Endogé-soorten	2.1	3	2	0.82	***
	Epigé-soorten	1.2	2	1.5	0.06	***
		n=1	n=1	n=2	n=1	
Mijten	Abundantie (aantal/m ²)	37900	26875	43688	18100	
	Aantal soorten	23	19	30.5	20	
	Aantal functionele groepen	8	8	8	10	
Voedselweb (model- berekening)	Stikstofmineralisatie (kg N/ha/j)	335			115	
	koolstofmineralisatie (kg C/ha/j)	6150			1750	
	Stabiliteit	0.47			0.61	

De gekozen referentie voor tuinbouw bleek onverwacht sterk afwijkende resultaten op te leveren voor bijna alle deelindicatoren. De oorzaak hiervan is zonder nader onderzoek niet goed te verklaren. Mogelijk is er een verband met de ligging van het bedrijf in de flevopolder, met een zavelige grond en veel schelpkalk in de bodem, of met de grote hoeveelheid organisch materiaal die op de bodem achterblijft (opgebracht wordt). Mogelijk heeft ook het bemonsteringstijdstip een grotere rol gespeeld dan verwacht. Vanwege de onzekerheden is besloten de gegevens van dit ene bedrijf (nog) niet als referentie te gebruiken. In feite dient er zowel voor de relatief belaste als onbelaste referentiebeelden een meer evenwichtig beeld verkregen te worden bijvoorbeeld door de resultaten te baseren op een even grote steekproef. Ook dit is een les die uit de pilot geleerd is.

Aansluitend op de samenvatting van de meetresultaten in tabel 3 wordt in bijlage 3 een toelichting gegeven op de deelindicatoren en de resultaten van de pilot.

Bijlage 3: Toelichting op de deelindicatoren en onderzoeksresultaten.

Hieronder worden de resultaten per indicatorgroep kort beschreven (punten 1 t/m 5). Deze explicatie is bedoeld voor lezers die inhoudelijk een nadere toelichting op de cijfers en de deelindicatoren wensen zonder op het achtergrondrapport terug te hoeven vallen.

1. Deelindicatoren micro-organismen

Microorganismen zijn de primaire afbrekers van dode organische stof en spelen een sleutelrol in voedselwebben en nutriëntenkringlopen. Bacteriën zijn belangrijk voor alle gedefinieerde LSF (zie schema hfdst 1.3): (1) de afbraak van organisch materiaal, (2) de recycling van voedingsstoffen, (3) bodemstructuurvorming, en (4) de stabiliteit van het bodemecosysteem. Nitrificeerders zijn essentieel voor (5) de beschikbaarheid van voedingsstoffen voor planten.

De bacteriële biomassa en activiteit hangen direct samen met het functioneren van het bodemecosysteem. Uit ander onderzoek in zandgronden is bijvoorbeeld aangetoond dat deze parameters significant lager waren bij verontreiniging met zware metalen.

De biomassa werd microscopisch gemeten met automatische beeldverwerking. De activiteit (groeisnelheid) werd bepaald door middel van de inbouw van gelabelde thymidine en leucine in bacteriële macromoleculen (respectievelijk DNA en eiwit). De potentiële nitrificatie werd bepaald door een bepaalde hoeveelheid ammoniumsulfaat toe te voegen aan de grond en na drie weken incubatie te meten hoeveel ammonium was omgezet in nitraat. Op een beperkt aantal bedrijven werd ook de genetische diversiteit van de bacteriën bepaald met een recent ontwikkelde moleculair biologische techniek (DGGE).

De geselecteerde microbiologische deelindicatoren zijn zeer goed meetbaar. Bij 20 replicaties per bedrijfstype was het onderscheidend vermogen van alle deelindicatoren ruim voldoende om statistisch significante ($P < 0.0001$) verschillen aan te tonen.

Alle deelindicatoren geven significant lagere waarden voor de tuinbouwbedrijven. De thymidine- en leucine inbouw wijzen op een circa 50% lagere bacteriële groeisnelheid in tuinbouwgrond ten opzichte van grasland op zeelei. De bacteriële biomassa in tuinbouwgrond was slechts een kwart van die in grasland. De potentiële nitrificatie was gemiddeld 20% lager in de tuinbouwbedrijven

Naast de bedrijven van het meetnet werden ook enkele schone en vuile referenties bemonsterd. Voor de graslanden werden een ecologisch bedrijf (schoon) bemonsterd, en twee bedrijven waar baggerspecie en slootslib op het land was gebracht (vuil, in feite licht verontreinigd). Op de vuile graslanden was de bacteriële groeisnelheid (thymidine en leucine inbouw) relatief laag, ongeveer 40% lager dan de gemiddelde waarden voor de graslanden van het meetnet. De bacteriële biomassa was extreem laag: 20 $\mu\text{g C gram}^{-1}$ grond. Dit is 75% lager dan de biomassa in het ecologische graslandbedrijf (75 $\mu\text{g C g}^{-1}$) en ruim 90% lager dan

de gemiddelde biomassa voor de graslanden uit het meetnet ($233 \mu\text{g C g}^{-1}$). De vervuilde graslanden gaven dus relatief lage waarden voor de bacteriële biomassa en activiteit. De potentiële nitrificatie was hoog in alle referenties, ook in de vuile graslanden.

Door de intensieve bedrijfsvoering en het gebruik van bestrijdingsmiddelen kunnen de tuinbouwbedrijven van het meetnet als relatief "vuil" worden beschouwd, en kan worden verwacht dat de microbiële biomassa en activiteit lager is dan in een schone grond.

De deelindicatoren zijn goed in te passen in de meetnetinfrastructuur. Ze zijn geschikt om verschillen tussen locaties en trends in de tijd aan te tonen. De waarde van de deelindicatoren hangt niet alleen af van de mate van bodemverontreiniging maar ook van de grondsoort en het landgebruik. De vraag wat een normale waarde is kan pas worden beantwoord als er meer metingen zijn verricht op andere locaties van het landelijk meetnet bodemkwaliteit. De gemiddelde waarde per bedrijfstype en grondsoort, gebaseerd op circa 20 replicaties, kan dan dienen als "normale" referentiewaarde of streefwaarde. Als 1 of meer deelindicatoren op een bepaalde locatie te ver (bijvoorbeeld meer dan de standaardafwijking) onder de referentie liggen, kan dat aanleiding zijn tot nader onderzoek.

Biolog

Biolog is een relatief nieuwe testmethode in het milieu-onderzoek waarmee een beeld verkregen kan worden van de diversiteit aan microbiele afbraakroutes. Voor het onderzoek in de pilot werd gebruik gemaakt van z.g. Ecoplaten met 31 substraten. Omdat bodembacterien snel kunnen reageren op veranderingen in vocht en temperatuur, werden alle monsters aan een zelfde voorincubatie van 8 weken bij 12°C blootgesteld. Door middel van kleurreacties in een verdunningsreeks van bacteriemonsters werd bepaald welke substraten worden afgebroken in een tijdbestek van 6 dagen.

Naast de bovengenoemde karakteristieken van de microbiele gemeenschap (bodemademhaling, ^{14}C -leucine en ^3H -thymidine inbouw, totale aantallen en potentiële nitrificatie activiteit), biedt de indicator in principe een uitdrukking voor de diversiteit van de functies binnen een microbiële gemeenschap.

De maten waarin de Biolog resultaten worden uitgedrukt vergen enige toelichting. De rekenmethode vertoont grote gelijkenis met de schatting van een EC_{50} van een toxische stof. De Biolog test resulteert in een berekening van het aantal Colony Forming Units (CFU's) dat nodig is om 50% van de substraten af te breken (de $\log\text{-CFU}_{50}$). Hoe hoger de $\log\text{-CFU}_{50}$, des te meer bacterien zijn dus nodig om de afbraakfuncties te kunnen vervullen. Een hoge $\log\text{-CFU}_{50}$ wijst dus juist op een lage diversiteit. Dit hangt samen met het 'aantal soorten bacterien' en de diversiteit aan fysiologische mechanismen binnen de soorten. In de praktijk is hier geen onderscheid in te maken. Wel is aan te geven hoe de verdeling van de functies over de microbiele gemeenschap is. Deze volgt uit de helling van de verdunningscurve (h). In ecologische termen kan ' h ' beschouwd worden als evenness-maat. Des te evenrediger de

functies verdeeld zijn over de micro-organismen in de bodem, hoe hoger de waarde van 'h' zal zijn. h heeft theoretisch een maximum van 1.66

Om te corrigeren voor de dichtheid aan bacterien in de bodem kan ook berekend worden hoeveel grond nodig is om 50% activiteit in de Biologplaat te bereiken. Dit is de maat 'gg50' in tabel 3. Volledigheidshalve dient te worden vermeld dat de gg50 voor graslanden is gecorrigeerd voor een uitbijter.

De resultaten van de pilot wijzen er op dat het aantal bacterien het hoogst zijn in de graslanden. Dit gaat echter samen met een lage diversiteit (hoogste log-CFU50), een lagere evenness (h), en dus een grotere hoeveelheid grond om 50% activiteit te bereiken.

In tegenstelling tot de eerder besproken bacteriele activiteit en dichtheid laat de biolog zien dat de intensief gebruikte gronden wel een hogere diversiteit handhaven. Hier lijkt zich ook het ecologische verschijnsel zich voor te doen dat een turbulent milieu en sterk wisselende abiotische condities leidt tot een situatie met veel verschillende aangepaste organismen in lage dichtheden. Een soortgelijk verschijnsel wordt, op een ander schaalniveau, ook in bijzondere natuurgebieden gevonden. Op dit moment is nog niet duidelijk in hoeverre verschillen in bodemeigenschappen hier een rol bij spelen.

Qua diversiteitsmaten zijn de Biologtesten van (schone en vuile) referenties voor de graslanden niet sterk afwijkend van de LMB-gemiddelden. Wel worden de verwachte tendensen gevonden. De gg50 is onverwacht laag door het hoge aantal bacterien dat in deze monsters gemeten is.

2. Deelindicatoren nematoden

Nematoden, in het Nederlands aaltjes of rondwormen geheten, komen in alle bodems voor. De grootte van bodemaaltjes varieert van 0.1 tot 2 mm. Aantallen liggen in de orde van 0.5 tot 50 miljoen per vierkante meter. Ze leven in het poriewater van de bodem en zijn sterk plaatsgebonden. Aaltjes worden aangetroffen in de bergen en de diepzee-sedimenten, in arctische gebieden en warmwaterbronnen. Hun dichtheid en soortendiversiteit is bijna overal groot.

In de pilot zijn van de gegevens over de nematodenfauna verschillende deelindicatoren afgeleid. Niet alle deelindicatoren leverden significante verschillen op, mede doordat het aantal soorten per functionele groep vaak laag bleef. Een uitzondering vormen de twee grotere groepen bacterie-etters en planten-etters. De twee indices, MI en TI vatten op een bruikbare manier de informatie over de functionele diversiteit van deze groep samen. In combinatie met de totale dichtheid en het aantal soorten (taxa) wordt een goede doorsnede van de nematodengemeenschap verkregen. De diversiteit aan functionele groepen is meestal te laag of te constant om een goed onderscheidend vermogen op te leveren.

Net als bij de bacterien is er een groot verschil in aantallen tussen de LMB-categorieën. Voor de nematoden geldt dat aantallen en diversiteit meestal het hoogst scoren in de 'schone referentie' voor de graslanden. Maar ook hier geldt dat in de vervuilde graslanden een lage dichtheid samen gaat met een hogere diversiteit. De tuinbouwbedrijven overtreffen dit echter niet zoals bij de bodembacterien geconstateerd werd.

3. Deelindicatoren wormen en potwormen

Potwormen zijn kleine verwanten van de regenwormen. Van oorsprong zijn het aquatische dieren, en sommige soorten kunnen dan ook zowel in het water als in de bodem worden aangetroffen. Hoewel er geen morfologische aanpassingen tegen uitdrogen bekend zijn, komen potwormen over heel de wereld voor, tot in de poolstreken en in subtropische gebieden. Er zijn enkele honderden soorten terrestrische potwormen bekend. Afhankelijk van het habitat ligt hun dichtheid in de orde van 10 tot 1 miljoen per m². Potwormen voeden zich met dood organisch materiaal en daarop voorkomende micro-organismen. Waarschijnlijk spelen microben een hoofdrol in hun dieet. Evenals regenwormen kunnen ze grond en organisch materiaal in hun darm mengen, maar de gangetjes die potwormen maken zijn uiteraard een orde van grootte kleiner dan die van regenwormen. Dit betekent dat ze een andere invloed op de bodemstructuur en de daarmee samenhangende bodemfysische eigenschappen hebben dan regenwormen, maar niet dat ze minder belangrijk zijn.

Voor de pilot zijn uit de gegevens over potwormen 4 deelindicatoren gekozen die eenvoudig meetbaar zijn en onderscheid geven tussen de bedrijfstypen. Dit zijn de abundantie, het soortenaantal, de biomassa, en het aantal dieren uit het geslacht *Friderica*. Deze laatste is een dominante en makkelijk herkenbare groep binnen de potwormen.

Alle vier de deelindicatoren laten significante verschillen tussen de bedrijfstypen zien. Afgezien van 'het aantal taxa' laten de overige drie deelindicatorwaarden het verwachte effect van de schone en vervuilde locatie zien. De gemiddelde deelindicatorwaarden op de tuinbouwbedrijven ligt ruim onder die van de verontreinigde graslanden.

Regenwormen zijn een belangrijke groep gravende bodemdieren. In voor hen gunstige omstandigheden vormen ze de hoofdmoot van de dierlijke biomassa in de bodem. In sommige weilanden kan wel 3000 kg·ha⁻¹ aan wormen voorkomen. Regenwormen spelen een belangrijke rol bij de bodemstruutvorming, transport van organisch materiaal, waterdoorlatendheid en beluchting. Tevens creëren ze gunstige randvoorwaarden voor andere organismen.

Volgens een veelgebruikte franse indeling worden ze in drie functionele groepen ingedeeld:

1) Epigé-soorten die voornamelijk in de strooisellaag leven en een overwegend opportunistische levensstrategie hebben. 2) Endogé-soorten die in de bodem zelf leven, en zich hier voeden met organisch materiaal. Afhankelijk van hun plaats in de bodem zitten ze tussen opportunisten en K-startegen in. 3) Anéciques, soorten die vaak groot zijn. Ze leven in een verticale gang, die tot 2 à 3 meter diep kan zijn. In de bovengrond kan bij sommige soorten de gang vertakken, zodat er verschillende uitgangen naar het bodemoppervlak zijn. De worm verzamelt zijn voedsel op het oppervlak: hij verkleint het strooisel en trekt het de grond in. Het zijn in het algemeen grote soorten met een K-strategie.

Deze drie hoofdtypen wormen kunnen naast elkaar voorkomen, maar in bepaalde situaties komen alleen epigé's voor. Dit zijn met name bodems die zandig en/of zuur zijn, of met een vegetatie die moeilijk afbreekbaar strooisel (met veel aromatische stoffen bv.) produceert.

Ook bij regenwormen laten alle deelindicatoren significante verschillen tussen de twee LMB categorieën zien. Het biologische grasland bedrijf heeft duidelijk de hoogste deelindicatorwaarden. De verontreinigde locaties hebben een waarde die dicht bij het LMB-gemiddelde ligt. De tuinbouwbedrijven scoren op alle karakteristieken een stuk lager. Doordat er relatief weinig soorten in de onderscheiden functionele groepen voorkomen is hebben deze deelindicatoren een relaties laag onderscheidend vermogen. Toch zijn ook hier verschillen aantoonbaar. Het totaal aantal soorten bedroeg gemiddeld 3.3 in de graslanden en 0.9 in de tuinbouwbedrijven. Ook deze gemiddelden zijn significant verschillend ($p < 0.0001$).

Vooraf voor graslanden lijken regenwormen goed geschikt als indicator: er is een acceptabele spreiding in de parameters en de presentie is hoog. Ook in deze groep is er echter een uitzondering, waar helemaal geen regenwormen werden aangetroffen. De verklaring hiervoor is eenvoudig: het betreft een bedrijf in de Flevopolder, waar regenwormen op veel plaatsen (nog) niet voorkomen.

De uitvoerbaarheid van regenwormbemonsteringen lijkt goed: de monsters kunnen snel worden uitgezocht, en wanneer determinatie beperkt wordt tot adulte exemplaren is dat na een betrekkelijk korte training snel uit te voeren. Een nadeel zou echter kunnen zijn dat bij gebruik van regenwormen als indicator in een landelijk meetnet per meetpunt vrij veel bodemmateriaal moet worden verzameld. Dit zou op sommige plaatsen (b.v. natuurgebieden) op bezwaren van de eigenaar kunnen stuiten

4. Deelindicatoren bodemmijten (micro-arthropoden)

In het kader van de pilotstudie naar bodembioologische parameters in het landelijk meetnet bodemkwaliteit is op een beperkt aantal locaties ook de indicatieve waarde van de bodemmicroarthropoden onderzocht. Dit is gedaan op twee locaties uit het LMB en de plekken die als referentie waren geselecteerd.

De bodemmicroarthropoden, overwegend mijten en springstaarten, zijn eerder ingedeeld naar overlevingsstrategieën (Siepel 1994) en voedselgildes (Siepel & De Ruiter-Dijkman 1993). Op basis van deze indelingen kan de bodemmicroarthropodenfauna worden gekarakteriseerd. Veranderingen van soortensamenstelling binnen dezelfde strategie of hetzelfde gilde storen niet de interpretatie op hoofdlijnen, die af te lezen valt uit de verdeling van de individuen over de onderscheiden groepen. Doorgaans zullen alle strategieën of gildes vertegenwoordigd zijn, maar een deel daarvan meestal slechts door een beperkt aantal soorten in geringe dichtheid. Welke gildes of welke strategieën op een bepaalde locatie dominant zijn geeft informatie over de heersende milieuomstandigheden op die locatie. Als daadwerkelijke parameters voor de bodemmicroarthropoden gelden: het aantal vertegenwoordigde overlevingsstrategieën of voedselgildes (functionele compleetheid van het systeem), de soortenrijkdom per overlevingsstrategie of voedselgilde en de verdeling van individuen over overlevingsstrategieën of voedselgildes.

Door het beperkt aantal locaties dat in het kader van de pilot onderzocht kon worden, kunnen geen uitspraken gedaan worden over significante verschillen tussen de indicatorwaarden binnen de LMB-categorieën. Op basis van de hier gepresenteerde deelindicatoren lijkt vooral het totaal aantal dieren een hoog onderscheidend vermogen op te leveren. Voor de mijten is het aantal soorten binnen de functionele groepen (voedselgildes en levensstrategieën) van informatieve waarde. Deze deelindicatoren worden uitgebreider besproken in het achtergrondrapport. De verontreinigde graslandlocaties hebben niet alleen een relatief hoge soortenrijkdom, zoals ook bij andere deelindicatoren geconstateerd werd, maar bovendien hogedichtheden. Dit kan samenhangen met de levenswijze van mijten, die minder direct in contact zullen staan met verontreinigingen in de bodem (afgezien van de eerder gemaakte opmerkingen over biobeschikbaarheid e.d).

5. Deelindicatoren voedselwebanalyse, koolstof- stikstofmineralisatie en stabiliteit.

Voedselwebgegevens geven een direct beeld van de samenstelling, en daarmee van de biologische diversiteit, binnen de levensgemeenschap van bodemorganismen. Door de functionele groep benadering wordt biodiversiteit vertaald in functionele diversiteit. Met de expertise die in Nederland is opgebouwd op het terrein van voedselwebanalyse en –modellering is het mogelijk om voedselwebgegevens te interpreteren in systeemeigenschappen zoals nutriëntencycli en ecologische stabiliteit.

Op twee van de 40 LMB-locaties, een tuinbouwakker en een grasland, is een volledige voedselwebbemonstering uitgevoerd. Op een viertal data (binnen 1 jaar) werd de bovenste 10 cm van de bodem onderzocht op het voorkomen (aanwezigheid en dichtheid) van de verschillende groepen van bodemorganismen: bacteriën, schimmels, protozoën, nematoden, micro-artropoden, potwormen, en regenwormen. Binnen deze taxonomische eenheden werden functionele groepen gedefinieerd op basis van levensgeschiedenissenmerken en plaats in het voedselweb

Met behulp van een voedselwebmodel (Hunt et al., 1987; De Ruiter et al., 1993^a) zijn van beide bodemecosystemen de C- en N-mineralisatie berekend op basis van de waargenomen voedselwebstructuren (Tabel 3). De uitkomst van deze berekeningen is vergeleken met waargenomen snelheden.

Het model berekende een C-mineralisatie van 6150 kg/ha/jr voor het grasland en 1750 kg/ha/jr voor de akker. De hogere C-mineralisatie in het grasland is een direct gevolg van de hogere biomassa in dit systeem. Hetzelfde beeld komt naar voren bij de berekende N-mineralisatie: 335 kg/ha/jr voor het grasland en 115 kg/ha/jr voor de akker. De berekende snelheden zijn soms afwijkend van mineralisatie metingen in het laboratorium (C-min. 13800 resp. 5030; N-min. 295 en 185 kg/ha/j). Deze verschillen kunnen door een groot aantal onzekerheden worden veroorzaakt. Met name de literatuurgegevens die werden gebruikt hoeven niet geldig te zijn voor de huidige twee ecosystemen. Bovendien gaat bij de gemeten mineralisatie-snelheden om laboratorium-bepalingen die onder andere omstandigheden zijn uitgevoerd dan de veldsituatie. Wanneer er gegevens beschikbaar zouden zijn van een groter

aantal ecosystemen (LMB-bedrijven) was het mogelijk geweest om door middel van technieken als parameter-optimalisatie de 'fit' tussen berekeningen en waarnemingen te verbeteren, maar bij twee data-sets kan dit niet. Wel zien we dat de laboratorium metingen indicatief zijn voor de model-berekende verschillen.

Bijlage 4: Kostenraming meetnet LSF-bodem

In aansluiting op de afwegingen gemaakt in hoofdstuk 3.1, en een overzicht van de kosten voor het meten van deelindicatoren in 3.2, zijn hieronder twee kostenramingen uitgewerkt. De eerste is een variant met de goedkoopste en eenvoudigst te meten deelindicatoren. Hierdoor ontbreekt er informatie over een deel van het bodemecosysteem en is alleen kwalitatieve beoordeling van functies mogelijk. Tevens is een minimum aantal referentielocaties begroot.

De tweede variant is een alternatief dat meer recht doet aan de gedachte achter het indicatorsysteem. Door middel van een voedselwebanalyse kunnen functies modelmatig gekwantificeerd worden.

De twee varianten zijn ingevuld op basis van een budget van resp. 200 en 300 kfl per jaar. Hierbij is uitgegaan van 40 LMB-meetnetlocaties aangevuld met een aantal referenties. Tevens is aangenomen dat het onderzoek deel kan uitmaken van het DLO-programma Biodiversiteit, zodat de kosten van de betreffende bepalingen voor 50% voor rekening van het AB-DLO en IBN-DLO kunnen worden uitgevoerd.

Ondanks de selectie van deelindicatoren blijkt het niet mogelijk, om de groepen op alle locaties te analyseren binnen de gestelde financiële randvoorwaarden. Dit is op te lossen door het aantal metingen (locaties) voor één of meerdere deelindicatoren te reduceren.

Variant 1; deelindicatoren: bacteriën, nematoden, wormen, mijten en springstaarten (nrs. 1a, 1b, 1c, 1d, 4, 5b, 6, uit hdst. 4.3).

Kosten:

1. Set deelindicatoren 40 LMB-locaties:	175400,-
2. Deelindicatoren op 10 referenties incl. bodemanalyse	<u>49100,-</u>
totaal	224500,-

Om dichterbij het uitgangsbetrag van 200000,- te komen moet gekort worden op het aantal locaties waarop mijten of wormen bemonsterd worden. Zo is bijvoorbeeld op een bedrag van precies 2 ton uit te komen door de mijtenanalyse op 20 locaties (van de 50) achterwege te laten.

Variant 2; deelindicatoren: bacteriën, nematoden, wormen, mijten en springstaarten, + voedselwebanalyse.

1. Set deelindicatoren 40 LMB-locaties:	175400,-
2. Deelindicatoren op 10 referenties incl. bodemanalyse	49100,-
3. Voedselwebanalyse op 12 locaties	<u>71040,-</u>
totaal	295540,-