

RIVM rapport 607604007/2005

Typeringen van bodemecosystemen

Duurzaam bodemgebruik met referenties voor
biologische bodemkwaliteit

M. Rutgers, Ch. Mulder, A.J. Schouten,
J.J. Bogte, A.M. Breure, J. Bloem¹,
G.A.J.M. Jagers op Akkerhuis¹, J.H. Faber¹,
N. van Eekeren², F.W. Smeding², H. Keidel³,
R.G.M. de Goede⁴, L. Brussaard⁴

1. Alterra, Wageningen
2. Louis Bolk Instituut (LBI), Driebergen
3. Bedrijfslaboratorium voor grond- en gewasanalyse (Blgg), Oosterbeek
4. Sectie Bodemkwaliteit, Wageningen Universiteit, Wageningen

Contact:

M. Rutgers

Laboratorium voor Ecologische Risicobeoordeling

Michiel.Rutgers@rivm.nl



Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Directie Bodem, Water en Landelijk Gebied (BWL), in het kader van het RIVM-project M/607604, Bodemecosystemen: monitoring, databeheer en integratie, en het VROM-project, Referenties voor Biologische Bodemkwaliteit.

Abstract

Soil ecosystem profiles – sustainable land-use with references for a healthy soil

The coming years will see a transformation in the Dutch policy for soil protection, with the focus shifting from soil protection to sustainable use of the soil. Within the framework for sustainable land use, the Dutch Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (VROM) requested RIVM and other institutes to formulate quality references for a ‘healthy’ soil. Two references were formulated: one for dairy farming on sandy soil and one for natural grassland on sandy soil. References are represented by numerical values for chemical, physical, biological and other parameters. Data for determining references were derived from the database of the soil biological indicator sub-set of the Dutch Soil Monitoring Network. A step-by-step approach was developed to select key parameters from the indicator sub-set. This approach was based on the so-called soil ‘ecosystem services’, i.e. soil fertility, resistance and resilience against stress and disturbance, the buffer and reactor capacity of the soil, and biodiversity. ‘Soil health’ can therefore be assumed to be determined with the key parameters only.

Keywords: ecosystem services, sustainable land-use, references, soil policy letter, biological indicator for soil quality

Rapport in het kort

Typeringen van bodemecosystemen: duurzaam bodemgebruik met referenties voor biologische bodemkwaliteit

Twee kwaliteitsreferenties voor een ‘gezonde’ bodem werden opgesteld, als onderdeel van het raamwerk voor duurzaam bodemgebruik, namelijk voor melkveehouderij op zandgrond en voor halfnatuurlijk grasland op zandgrond. De referenties bestaan uit getalswaarden voor chemische, fysische, biologische en andersoortige parameters. Een stapsgewijze aanpak werd ontwikkeld voor de selectie van de krachtigste indicatoren waarmee de gezondheid van de bodem bepaald kan worden. De aanpak gaat uit van de ‘ecologische diensten’ van de bodem zoals bodemvruchtbaarheid, weerstand tegen stress en flexibiliteit, de bodem als buffer en reactor, en biodiversiteit. De kwaliteitsreferenties en de stapsgewijze aanpak zijn in opdracht van het Ministerie van VROM opgesteld. De gegevens zijn afkomstig uit het databestand van de langjarige monitoring met de Bodembioologische indicator (Bobi) in het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB). De achtergrond is het veranderende bodembeleid: niet meer de bescherming van de bodem staat centraal, maar de duurzaamheid van het bodemgebruik

Trefwoorden: ecologische diensten, duurzaam bodemgebruik, referenties, beleidsbrief bodem, Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB), Bodembioologische Indicator (Bobi)

Voorwoord

In dit rapport worden de resultaten gepresenteerd van een project gericht op kennisoverdracht met bijdragen van vele instanties en personen. De coördinatie van het onderzoek vond plaats vanuit het VROM-project 'Referenties voor Biologische Bodemkwaliteit (RBB)', met Willem Messer en Arthur Eijs als projectleiders. De werkzaamheden bij het RIVM vonden plaats binnen het project M/607604, getiteld 'Bodemecosystemen – monitoring, databeheer en integratie', met VROM als opdrachtgever. De werkzaamheden bij Alterra en de WU-Bodemkwaliteit vonden plaats in de DWK-thema's/programma's BO-01-002-Bodem (Vitaal Landelijk Gebied) en Agrobiodiversiteit, nr. 432, met LNV als opdrachtgever. Vele personen hebben via discussies en intensieve workshops essentiële inbreng gehad bij het opstellen van de referenties voor duurzaam bodemgebruik, en het systeem voor de afleiding van de krachtigste indicatoren. Wij zijn de volgende personen hiervoor zeer erkentelijk (in alfabetische volgorde):

Petra Bakker (Senternovem Bodem+)	Jep Karres (LNV/DN)
Frans van Beerendonk (ZLTO)	Piet Otte (RIVM)
Bernard Cino (VROM)	Carla Roghair (DLG)
Peter Doelman (Doelman Advies)	Peter de Ruiter (Universiteit Utrecht)
Dirk van der Eijk (Prov. Z-Holland)	André Smits (IPO)
Niels van der Gaast (CSO)	Stephan Timmermans (Lucel advies)
Eise Harkema (Staatsbosbeheer)	Joop Vegter
Rob Hendriks (LNV/Directie Kennis)	

Andere personen hebben gedurende vele jaren in verschillende projecten bijgedragen aan de gestage opbouw van de kennisbasis over bodemecosystemen in Nederland. Deze kennis en de gegevens zijn dankbaar toegepast in het RBB project. We zijn de volgende personen zeer erkentelijk (alfabetisch): Rob Baerselman, Wietse de Boer, Popko Bolhuis, Hans Bronswijk, Wim Didden, Wim Dimmers, Bert van Dijk, Margot Groot, Arthur de Groot, Henri den Hollander, Frido van der Horst, Ruud Jeths, Niels Masselink, Tamas Salanki, Henk Siepel, Kristel Siepman, Nico van Straalen, Henk Velvis, An Vos, Meint Veninga, Harm van Wijnen, Marja Wouterse en Dick de Zwart.

Wim A.M. Didden († 28-4-2005) heeft aan de wieg van Bobi gestaan. Met zijn internationale brede kennis van potwormen en regenwormen heeft hij een belangrijke rol gespeeld in de opzet van het bodembiologische indicatorsysteem en het meetnet. Wim had een nuchtere en analytische kijk op het onderzoek en de soms hoog gestelde ambities. Hij heeft een belangrijke bijdrage geleverd aan de ontwikkeling van indicatoren en de reken- en beoordelingssystemen om tot referentiebeelden te komen. Zijn ongeneeslijke ziekte weerhield hem er niet van om tot het einde toe bij het project betrokken te blijven en iedereen met raad en daad te helpen. Wij zijn hem zeer dankbaar voor zijn bijdragen aan dit project en zullen zijn inbreng missen.

Inhoud

Begrippen en korte definities	9
Samenvatting	13
Uitgebreide samenvatting	15
1. Inleiding	19
1.1 Doel	23
1.2 Uitgangspunten	23
2. Aanpak	27
2.1 Selectie van locaties voor de afleiding van duurzame referenties	27
2.2 Presentatie van parameterwaarden in amoebe-grafieken	29
3. De eerste twee bodemecosysteemyperingen: melkveehouderij en halfnatuurlijk grasland op zand	33
4. Handreiking voor gebruik van de typeringen bij de bepaling van de bodemkwaliteit	37
4.1 Bodemecosysteemypering en duurzame referentie	37
4.2 Handreiking voor de selectie van parameters voor een praktisch indicatorsysteem	38
4.3 Koppeling van het bodemgebruik aan ecologische diensten	39
4.4 Koppeling van ecologische diensten aan parameters	40
4.5 Gegevensanalyse	40
5. Een uitwerking voor een praktische amoebe	45
5.1 Koppeling van ecologische diensten aan het bodemgebruik	45
5.2 Koppeling van parameters aan ecologische diensten	46
5.3 Koppeling van parameters aan het bodemgebruik	48
6. Discussie	53
6.1 Het RBB-project als brug tussen kennis, beleid en praktisch bodembeheer	53
6.2 Bodemecosysteemyperingen inclusief de duurzame referentie	54
6.3 Selectie van parameters voor een praktisch indicatorsysteem	57
6.4 Biodiversiteit als ecologische dienst	59
6.5 Integratie, presentatie en weergave van de resultaten	60

7. Aanbevelingen	63
7.1 Implementatie	63
7.2 Aanbevelingen voor Bobi	65
Literatuur	67
Bijlage 1. Verantwoording	71
Bijlage 2. Ecologische diensten en bodemgebruik	75
Bijlage 3. Bodemparameters en ecologische diensten	77
Bijlage 4. Koppeling parameters aan bodemgebruik	79
Bijlage 5. Verschillende amoebe-grafieken	81
Bijlage 6. Verslag van de 3^e en laatste RBB-workshop	85
Bijlage 7. Bodemecosysteemtypering en referentie: melkveehouderij op zand	93
<i>Preambule</i>	93
<i>Inleiding</i>	93
<i>De bodem onder de bedrijven</i>	94
<i>De melkveehouderijbedrijven en de selectie van locaties met een 'gezonde' bodem</i>	95
<i>Maatregelen</i>	96
Bijlage 8. Bodemecosysteemtypering en referentie: halfnatuurlijk grasland op zand	99
<i>Inleiding</i>	99
<i>Beheer van de graslanden</i>	99
<i>De bemonsterde locaties en selectie van de duurzame referentie</i>	100
<i>De vegetatie</i>	101
<i>Maatregelen</i>	102

Begrippen en korte definities

Ambitie (uit de Beleidsbrief Bodem; VROM 2003): een door overheden of gebruikers te stellen doel, gebaseerd op een afweging tussen het niveau van de duurzame situatie, en de actuele en lokale situatie. Een ambitie kan breder zijn dan alleen tegemoetkomen aan de beschreven parameters binnen de referentie, maar is hier wel toe te herleiden.

Amoebe-grafiek: AMOEBE is een afkorting voor Algemene Methode voor OEcosysteem BESchrijving en BEoordeling. De term en de beoordelingsmethode zijn voor het eerst beschreven door Ten Brink en Hosper (1989). De amoebe-benadering is aanvankelijk ontwikkeld voor aquatische ecosystemen. De methode is gebaseerd op een radar-plot waarin een aantal strategisch gekozen doelvariabelen aangeven hoe ver de huidige toestand verwijderd is van een referentie of beoogd doel. De waarde van een parameter in de referentie wordt op 100% gesteld (de cirkel). De actuele waarde wordt ten opzichte hiervan uitgedrukt.

Biodiversiteit (kenmerk of parameter): een uitdrukking van het (bodem)ecosysteem in termen van voorkomen van groepen, soorten, aantallen en activiteiten van organismen, processen en functies. De uitwerking vindt plaats in termen van genetische, structurele, functionele of andere vormen van diversiteit. De definitie van biodiversiteit is dus breder dan soortenrijkdom.

Biodiversiteit (ecologische dienst): een buitencategorie van de ecologische diensten van de bodem. Biodiversiteit in deze zin is niet gekoppeld aan een duidelijk herkenbare gebruiksnuut. Door biodiversiteit als ecologische dienst te waarderen krijgt de intrinsieke waarde van het bodemecosysteem een plaats in het raamwerk voor duurzaam bodemgebruik. De intrinsieke waarde kan desgewenst ook buiten beschouwing worden gelaten.

Bodembiologische indicator (Bobi): een set bodembiologische parameters die zodanig is geselecteerd dat er een goede indicatie wordt verkregen van zowel de samenstelling als de processen c.q. functies van het bodemecosysteem. Deze meetset is in gebruik bij het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB) waarmee de bodem op diverse locaties om de 6 jaar geanalyseerd wordt. Bobi is ontwikkeld via een samenwerkingsproject met verschillende instanties (Schouten et al. 1997, Schouten et al. 2001, Rutgers et al. 2002).

Bobi: de dagelijkse aanduiding van de Bodembiologische indicator.

Bodemecosysteem: het dynamische complex van levensgemeenschappen van planten, dieren, bodemorganismen, en hun niet-levende omgeving, die in een onderlinge wisselwerking een functionele eenheid vormt (naar 'ecosysteem' volgens Tansley, 1935). Het bodemecosysteem levert zogenoemde ecologische diensten aan de maatschappij.

- Bodemecosysteemtypering:** een kwalitatieve en kwantitatieve beschrijving van een bodemsysteem bij een bepaald bodemgebruik en bodemtype. Een bodemecosysteemtypering bevat gegevens over parameters die een relatie hebben met de ‘gezondheid’ van de bodem, aangevuld met andere relevante karakteristieken. In de typering zijn de gegevens in verband gebracht met het gemiddelde niveau voor Nederland, de 5% en 95% percentielen van de verdeling van de waarden voor de parameters, en het veronderstelde duurzame niveau (de referentie).
- Bodemvruchtbaarheid (ecologische dienst):** een geïntegreerde ecologische dienst die het vermogen van de bodem om delen van het ecosysteem in stand te houden of te begeleiden omvat, bijvoorbeeld de productie van gewassen, groei van vee, de aanwezigheid van sleutel- en doelsoorten, onderdrukken van ziekten en plaagorganismen, etc. De nutriëntenhuishouding, de bodemstructuur, en de onderdrukking van plaagorganismen zijn deelaspecten van bodemvruchtbaarheid.
- Buffer en reactor functie (ecologische dienst):** een geïntegreerde ecologische dienst die het vermogen van de bodem om onze leefomgeving ‘gezond’ te houden omvat, door het opnemen, vasthouden, loslaten, doorlaten, en transformeren van systeemvreemde en systeemeigen stoffen (inclusief water). Alle stofkringlopen vallen in deze ecologische dienst. Er is enige overlap met de ecologische dienst bodemvruchtbaarheid. Deelaspecten zijn fragmentatie en mineralisatie van organische stof, het zelfreinigende vermogen, waterretentie, en klimaatfuncties.
- Chemische, fysische en biologische parameters (uit de Beleidsbrief Bodem; VROM 2003):** een metafoor voor de wijze waarop bij beoordeling van de bodem verschillende parameters naast elkaar een rol spelen, zodat de bodem als een ‘dynamisch systeem’ wordt beschouwd.
- Duurzaam bodemgebruik:** het benutten van de gebruiksmogelijkheden van de bodem, zonder deze aan te tasten of uit te putten. Om toekomstig gebruik van de bodem mogelijk te maken voor andere functies, mag geen onherstelbare schade aan de bodem worden toegebracht. Het meewegen van de bodemkwaliteit en kwantiteit bij bodembeheer en ruimtelijke ordening, draagt bij aan een duurzaam bodemgebruik. Het meewegen vindt plaats op het niveau van de individuele gebruiker en daarnaast op het niveau van de (decentrale) overheid (VROM 2003, TCB 2003). In praktische zin is duurzaam bodemgebruik een relatief begrip, omdat absolute duurzaamheid niet objectief te vast te stellen valt.
- Ecologische dienst:** een functionele eigenschap van de bodem, zoals door gebruiker, (de)centrale overheden, en maatschappij worden herkend en erkend. Op basis van een TCB-advies (TCB 2003) werden in het RBB-project vier basisdiensten onderscheiden (zie ook Box 1), namelijk bodemvruchtbaarheid, weerstand tegen stress en adaptatie, de bodem als buffer en reactor, en biodiversiteit
- Gezond bodemecosysteem:** de toestand van de bodem die gekoppeld is aan langdurig duurzaam bodemgebruik. ‘Gezondheid van bodemecosystemen’ is afgeleid uit de wetenschappelijke literatuur (ecosystem health), en wordt toegepast om de condities van een - door de mens beïnvloed - ecosysteem te beschrijven (Van de Leemkule 2001, TCB 2003). In de praktische betekenis is de gezondheid van de bodem een

relatief begrip, omdat duurzaam bodemgebruik ook een relatief begrip is. De gezondheid wordt in wetenschappelijke termen vertaald met de toestand van de regulatiefuncties of life support functions (LSF).

Indicatieve waarde: een schatting van de (relatieve) maat voor de bijdrage van een parameter aan de kwantificering van een ecologische dienst, of de gezondheid van de bodem, ten opzichte van andere parameters. Deze schatting is gebaseerd op *expert judgement* van wetenschappers en/of op de evaluatie van de toepassing van de betreffende parameter in de praktijk.

Indicator: een geselecteerde parameter of set van parameters voor de beoordeling van de gezondheid van de bodem.

Life Support Functions (LSF): de term LSF is in het Nederlands vertaald met 'regulatiefuncties'. Er is mede voor de term Regulatiefuncties gekozen omdat LSF een sterke associatie heeft met het begrip Life Support Systems (LSS); de navelstreng die de astronaut van essentiële zuurstof voorziet, of de ernstig zieke patiënt die door medische apparatuur in leven wordt gehouden. Regulatiefuncties hebben een andere achtergrond. Het zijn de ecologische processen die gezamenlijk bijdragen aan het functioneren en de stabiliteit van ecosystemen. Ze liggen bovendien ten grondslag aan de ecologische diensten die voor de mens van belang zijn.

Parameter: een meetbaar en/of berekenbaar kenmerk van de bodem, waarvan verondersteld wordt dat er relatie is met de gezondheid van de bodem of met karakteristieken van het bodemecosysteem. Voorbeelden: biomassa van de regenwormengemeenschap, veedichtheid, rotatie- en vruchtwisseling, gehalte en/of de kwaliteit van de organische stof, uitspoeling van zware metalen naar het grondwater, biodiversiteitsindex.

Praktijk-amoebe: een ingeperkte vorm van de bodemecosysteemtypering en de (duurzame) referentie, gebaseerd op de keuze voor de ecologische diensten die het meest relevant zijn voor het betreffende gebruik, en op de parameters die het meest bijdragen aan de kwantificering van die diensten. Hierdoor wordt het aantal relevante parameters sterk beperkt ten opzichte van de complete typering van het bodemecosysteem.

Referentie (uit de Beleidsbrief bodem, VROM 2003): een hulpmiddel voor overheden en bodemgebruikers dat de geschiktheid aangeeft van de bodem voor het gebruik, zodat keuzes in de lokale bodemkwaliteit gemaakt kunnen worden. Bij het RBB-project is dit geoperationaliseerd als een onderdeel van de bodemecosysteemtypering dat aangeeft wat de duurzaam geschikte toestand bij een bepaald bodemgebruik en een bepaald bodemtype (met chemische, fysische, biologische en overige parameters). De praktische aanname hierbij is dat alle ecologische diensten (maatschappelijke diensten) gewaarborgd zijn. De referentie is gebaseerd op de toestand bij één of meer locaties waarvan verondersteld wordt dat de bodem 'gezond' is.

Regulatiefuncties: zie life support functions.

Weerstand tegen stress en adaptatie (ecologische dienst): een geïntegreerde ecologische dienst van het vermogen van het bodemecosysteem om zich aan te passen en weerstand te bieden tegen stress. Dit kan nodig zijn om gevolgen van natuurlijke incidenten of van menselijk handelen op te vangen. Bij weerstand kan het gaan om snel herstel van de bodem na een natte of droge periode, of na behandeling met

bestrijdingsmiddelen. Bij adaptatie kan het gaan om aanpassing aan andere omstandigheden (zoals veranderingen in het grondwaterbeheer, klimaat) of een ander bodemgebruik.

Typering: zie bodemecosysteemtypering.

Samenvatting

In de Beleidsbrief Bodem van VROM (2003) worden kwaliteitsreferenties voor bodem genoemd. Deze referenties zijn bedoeld ter ondersteuning van de bodemgebruiker en het bevoegd gezag bij besluiten waar de bodemkwaliteit een rol speelt. De referenties worden met chemische, fysische en biologische bodemparameters bepaald en zullen een rol krijgen in het raamwerk voor duurzaam bodemgebruik. In een project van VROM (Referenties voor Biologische Bodemkwaliteit, RBB), met medewerking vele instanties en personen, zijn de eerste twee referenties voor duurzaam bodemgebruik opgesteld, namelijk voor melkveehouderij op zandgrond en voor halfnatuurlijk grasland op zandgrond. De referenties zijn gebaseerd op de chemische, fysische, biologische en andersoortige gegevens uit het Landelijke Meetnet Bodemkwaliteit (LMB), onder andere met de Bodembioologische Indicator (Bobi).

In dit rapport worden de inhoudelijke achtergronden gepresenteerd bij de afleiding van de referenties. Het uitgangspunt is het bodemgebruik en het feit dat duurzaam bodemgebruik in relatie staat tot de zogenaamde 'ecologische diensten' van de bodem. De ecologische diensten vormen een nutsvoorziening die gebruikt maar niet uitgeput mag worden. Het belang van de ecologische diensten voor het bodemgebruik, en de mate waarmee meetbare en/of berekenbare bodemparameters (chemisch, fysisch, biologische en overige parameters) kunnen worden gebruikt bij de beoordeling van de kwaliteitstoestand van de ecologische diensten werd kwantitatief uitgewerkt door een panel met bodemgebruikers en deskundigen. Dit leidde tot richtlijnen voor de selectie van de duurzame referenties en een voorstel voor een praktisch instrumentarium om de 'gezondheid' van de bodem te kwantificeren.

Twee combinaties van bodemgebruik en bodemtype zijn uitgewerkt tot referenties voor duurzaam bodemgebruik en vormen de opmaat tot een naslagwerk waarin uiteindelijk het merendeel van de bodemecosystemen in Nederland beschreven zal worden.

Uitgebreide samenvatting

De bodem in Nederland wordt steeds intensiever gebruikt voor landbouw, wonen, werken, waterbeheer, natuur en recreatie. Dit intensieve gebruik is afhankelijk van, en stelt eisen aan, de gezondheid van de bodem. Een gezonde bodem levert zogenaamde ecologische diensten, die essentieel zijn voor het bodemgebruik. In de grote beleidsvoornemens van het Ministerie van VROM zoals het Nationaal Milieubeleidsplan 4 en de Beleidsbrief Bodem van 2003 staat een verandering in het bodembeleid aangekondigd, in die zin dat het bodemgebruik duurzamer moet worden (VROM 2001, 2003). Onder duurzaam bodemgebruik wordt verstaan het benutten van de gebruiksmogelijkheden van de bodem, zonder deze te verslechteren of uit te putten. De ecologische diensten van de bodem dienen geborgd te worden, hier en nu, maar ook voor elders en later (VROM 2003, TCB 2003).

Het VROM-project Referenties voor Biologische Bodemkwaliteit (RBB) had als doel twee referenties voor duurzame bodemkwaliteit op te stellen. Als startpunt is gekozen voor de categorieën melkveehouderij op zandgrond, en voor halfnatuurlijk grasland op zandgrond. Voor de referenties zijn gegevens gebruikt van de bodembioologische monitoring binnen het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB), omdat dit bestand een grote hoeveelheid gegevens bevat van chemische en biologische bodemparameters. Fysische parameters ontbreken vooralsnog. Uit deze dataset zijn locaties geselecteerd waarvan verondersteld wordt dat de bodem ter plaatse relatief 'gezond' is. Hiervoor werd gebruik gemaakt van de inbreng van deskundigen met betrekking tot de stabiliteit van het bodemvoedselweb, de structuur van het ondergrondse en bovengrondse ecosysteem en de duurzaamheid van het bodembeheer/gebruik.

De zogenaamde duurzame referentie werd berekend uit het gemiddelde van de parameters van geselecteerde locaties met een 'gezonde' bodem. Tevens werden de gemiddelde parameterwaarden berekend van alle in de dataset aanwezige locaties met halfnatuurlijk grasland en melkveehouderijbedrijven op zand, als een schatting voor de gemiddelde toestand in Nederland, en de 5% en 95% percentielen als variantie daarvan. Alle gegevens werden via zogenaamde amoëbe-grafieken gepresenteerd, en vormen, samen met de numerieke gegevens in de tabellen, de zogenaamde 'typering van het bodemecosysteem'.

Tijdens het onderzoek werd het concept van de ecologische diensten toegepast en verder ontwikkeld op basis van de voorstellen van de Technische Commissie Bodembescherming (TCB 2003). De TCB-voorstellen werden uitgewerkt in 4 basisdiensten en inclusief een nadere onderverdeling zijn in totaal 10 ecologische diensten benoemd:

1. bodemvruchtbaarheid
 - a. voedingstoestand (nutriënten-retentie en levering)
 - b. bodemstructuur
 - c. weerstand tegen ziekten en plagen
2. weerstand tegen stress, en aanpassingsvermogen,
 - a. weerstand tegen stress

- b. adaptatie en flexibiliteit
3. de bodem als buffer en reactor
 - a. fragmentatie en mineralisatie van organische stof
 - b. zelfreinigend vermogen
 - c. waterretentie (opnemen, vasthouden, afgeven en doorlaten van water)
 - d. klimaatfuncties (vocht, temperatuur, (broeikas)gassen; op lokale en globale schaal)
4. biodiversiteit (functionele, structurele en genetische diversiteit).

‘Biodiversiteit’ wordt als een bijzondere dienst beschouwd, vanwege de focus op biodiversiteit als een intrinsieke waarde van de bodem, zonder een rechtstreeks ‘nut’ te benoemen. Door biodiversiteit als een ‘dienst’ te beschouwen in het raamwerk voor duurzaam bodemgebruik kunnen gebruikers (boeren, eigenaars, terreinbeheerders, decentrale overheden en de landelijke overheid) naar goeddunken en rato de intrinsieke waarde (de ‘biodiversiteit’) van het bodemecosysteem betrekken bij de beoordeling en het beheer.

Met twee panels werden kwantitatieve verbanden gelegd tussen het bodemgebruik, ecologische diensten, en meetbare en/of berekenbare parameters. Dit werd gedaan om uitgaande van het bodemgebruik een klein aantal parameters te selecteren voor een beperkte indicator, met een optimale indicatorwaarde voor de kwantificering van de belangrijkste ecologische diensten van de bodem.

Met een panel van gebruikers en deskundigen (13 personen) werd het belang van deze ecologische diensten voor drie verschillende typen bodemgebruik: landbouw, natuur, en overige groene functies van de bodem (andere of meer gedetailleerde functies van de bodem werden vooralsnog niet in beschouwing genomen) gekwantificeerd op een schaal van 1 tot 5. Op dezelfde wijze werd het belang van de ecologische diensten voor drie ruimtelijke en beheersmatige schalen van het bodemgebruik gekwantificeerd, namelijk het belang van de ecologische diensten voor het lokale bodemgebruik (boer, natuurbeheerder, eigenaar), voor het bodemgebruik op regionaal niveau (gebieden, gemeenten en provincie; eventueel onder supervisie van het bevoegd gezag), en het landelijk en Europees niveau (onder supervisie van de landelijke overheid). De waardering van het belang van bodemvruchtbaarheid voor agrarisch bodemgebruik op lokaal niveau bleek zeer groot te zijn en kreeg de maximale score van 5. Voor natuurontwikkeling was biodiversiteit een belangrijke ecologische dienst. Voor de overige groene functies was de buffer en reactor functie van de bodem de belangrijkste ecologische dienst.

Met een kleiner panel van wetenschappers (vijf personen) werd een groot aantal parameters geselecteerd waarvan verondersteld wordt dat ze toegepast kunnen worden bij de bepaling van de ‘gezondheid’ van de bodem. Vele parameters uit het gegevensbestand van de bodembioologische indicator (Bobi; per 15 oktober 2005) werden gebruikt. Elke parameter werd gekwantificeerd op een schaal van 1 tot 5 voor wat betreft de indicatieve eigenschappen voor de verschillende ecologische diensten. Zo wordt bijvoorbeeld de omvang van de regenwormengemeenschap (aantal en/of biomassa) een relatief goede indicator geacht voor een ‘goede bodemstructuur’, ‘fragmentatie en mineralisatie van organische stof’, en ‘waterretentie’ (respectievelijke scores: 5,0, 5,0 en 4,6). Voor de ecologische dienst

‘weerstand tegen stress en adaptatie’ scoorden parameters hoog die de diversiteit (genetisch, structureel en functioneel) kwantificeren. Biodiversiteit is hier dus een parameter om ecologische diensten te kwantificeren (middel), niet te verwarren met biodiversiteit als ecologische dienst (doel).

Op basis van voorgaande beoordelingen werd een praktisch instrument afgeleid. Met behulp van de geclassificeerde relaties tussen bodemgebruik en de ecologische diensten, en tussen ecologische diensten en de indicatieve waarde van meet- en/of berekenbare parameters, konden de parameters worden geselecteerd met een relatief hoge indicatieve waarde. Hiermee kon een praktische indicatorset worden samengesteld, zodat niet alle parameters in alle gevallen bepaald hoeven te worden. Uit de exercitie kwam naar voren dat het gehalte en de kwaliteit van de organische stof indicatieve waarde voor meerdere ecologische diensten heeft en daardoor een ‘goed’ scoort voor de bepaling van de integrale gezondheid van de bodem. Op basis van de parameters met de hoogste indicatieve waarde werd een beperkte indicatorset gekozen, en weergegeven in de zogenaamde praktijk-amoebe.

De typering van bodemecosystemen, de duurzame referentie en de praktijk-amoebe vormen een begin van een raamwerk voor duurzaam bodemgebruik. Dit raamwerk dient nog uitgebreid te worden met een opsomming van potentiële maatregelen die de duurzaamheid van het bodemgebruik in de gewenste richting kunnen bevorderen, voor verschillende typen bodemgebruik, en voor kwaliteitstekorten in de gezondheid van de bodem. Tevens dienen de uitgangspunten en de voorstellen getoetst te worden aan de praktijk.

De eerste twee typering en referenties voor duurzaam bodemgebruik zijn de opmaat naar een compleet systeem waarin het merendeel van de bodemecosystemen in Nederland beschreven zal worden.

1. Inleiding

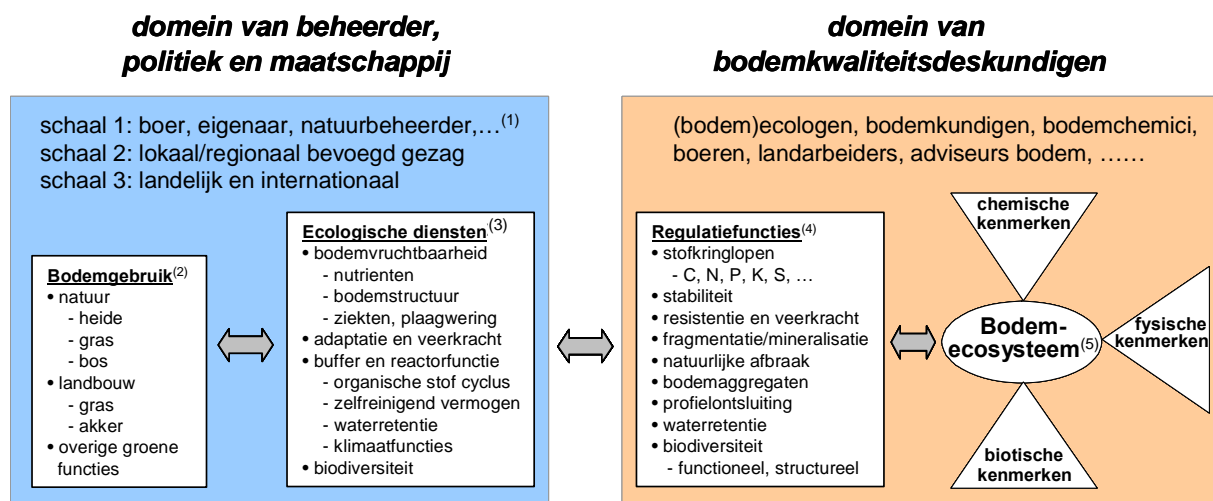
De bodem in Nederland wordt steeds intensiever gebruikt voor wonen, werken en recreëren, zowel in de landbouw, bij natuur en bij andere vormen van bodemgebruik. Vrij bodemoppervlak is een schaars goed, waardoor het bodemgebruik op een locatie steeds vaker afgewisseld wordt. Landbouwareaal wordt bijvoorbeeld aangewend voor natuurontwikkeling en oude industrieterreinen worden heringericht en gebruikt voor woningbouw, sportvoorzieningen, of stadsparken. Deze intensivering van het bodemgebruik voor sterk uiteenlopende gebruiksdoeleinden stelt hoge eisen aan de gezondheid van de bodem en de duurzaamheid van het bodemgebruik. Het concept van een gezonde bodem werd onlangs door vooraanstaande Vlaamse en Nederlandse wetenschappers uit verschillende hoeken belicht (Doelman en Eijsackers 2004) en was het thema van een bijeenkomst van de Europese Commissie in Den Haag (november 2004).

Eind vorige eeuw is de bescherming van de bodem met de ontwikkeling van specifiek bodembeleid ter hand genomen. Rond de jaren 80 is veel aandacht uitgegaan naar bodemverontreiniging. Daarnaast was er aandacht voor het terugdringen van de andere V-thema's, zoals verdroging, verzuring en vermesting. Een kanteling in het bodembeleid kondigt zich nu aan, via het Nationaal Milieubeleidsplan 4 (VROM 2001) en de Beleidsbrief Bodem (VROM 2003). Het bodembeleid zal zich in de nabije toekomst gaan richten op het duurzaam gebruik van de bodem, terwijl in het verleden het beleid zich met name richtte op de bescherming van de bodemkwaliteit. Bij gebruik van de bodem valt te denken aan het duurzaam benutten van de 'ecologische diensten' van de bodem (TCB 2003), naast de gebruikelijke claims op ruimte om op of in de bodem te bouwen.

Ecologische diensten zijn de functionele eigenschappen van de bodem die essentieel zijn voor het bodemgebruik, nu en in de toekomst (zie Box 1). Voorbeelden zijn de omzetting van organische stof, vorming en het in stand houden van een goede bodemstructuur, het reinigende vermogen, de levering van schoon grond- en drinkwater, en de onderdrukking van ziekten en plagen in de landbouw. Deze diensten worden voor een belangrijk deel door organismen in de bodem verzorgd. Vervulling ervan is van vitaal belang voor de instandhouding van de kwaliteit van de leefomgeving.

Een gezonde bodem levert dus ecologische diensten. Een duurzaam bodemgebruik is afhankelijk van deze ecologische diensten, zij benut deze, maar put ze niet uit. Het bodemgebruik bepaalt mede de mate waarin de ecologische diensten benut worden, en ook of ze eventueel uitgeput worden. In Figuur 1 is een schema afgebeeld met de relaties tussen het bodemgebruik, de ecologische diensten en de parameters die gebruikt kunnen worden om een indruk te krijgen van de gezondheid van de bodem (biologisch, chemisch en fysisch). Duurzaam bodemgebruik dient de gezondheid van de bodem optimaal in stand te houden, zodat de ecologische diensten ook op de lange termijn gewaarborgd blijven. Om aan het streven naar duurzaam bodemgebruik invulling te geven zijn onder andere kwaliteitsbeelden voor een gezonde bodem nodig. Het schema in Figuur 1 kan hierbij

behulpzaam zijn, door de koppelingen zichtbaar te maken tussen het bodemgebruik en uiteindelijk een praktisch meetinstrument bestaande uit chemische, fysische en biologische parameters. De Nederlandse bodem kent een grote variatie als gevolg van verschillen in bodemtype, klimaat, reliëf, grondwaterbeheer, en vormen en intensiteit van het bodemgebruik. Verwacht wordt dat de gezondheid van bodem sterk uiteen zal lopen, als gevolg van het niet-duurzaam gebruik van de bodem.



Figuur 1. Geschematiseerde relaties tussen het bodemgebruik, de ecologische diensten, de regulatiefuncties en de parameters die een beeld kunnen geven van de 'gezondheid' van het bodemecosysteem.

Het bodemgebruik en de daarbij te beheren ecologische diensten vallen in het domein van beheer en beleid; voor de bepaling van de regulatiefuncties en de toestand van het bodemsysteem is de kennis van deskundigen uit wetenschap en praktijk onontbeerlijk (bijvoorbeeld boeren, adviseurs, wetenschappers).

Verklaring van de noten:

- (1) Hoewel de bodemkwaliteit beïnvloed wordt door lokale ingrepen (bodembewerking, productie van gewassen, grondwaterbeheer), is de bodem 'van ons allemaal'. De drie beheersschalen lokaal, regionaal en landelijk sluiten aan op de Beleidsbrief Bodem.
- (2) Het uitgangspunt is een grove indeling in drie categorieën. De categorieën natuur en landbouw werden reeds onderverdeeld in subcategorieën. Nadere diversificatie is mogelijk naar gelang de behoefte. Voorlopig wordt bedekte bodem (wegen, gebouwen, kassen) niet in beschouwing genomen.
- (3) De ecologische diensten zijn afgeleid van de TCB (2003). 'Biodiversiteit' is een buiten categorie (geen ecologische dienst sensu stricto). In dit schema is onderscheid aangebracht tussen de ecologische diensten en de regulatiefuncties, om hiermee de verschillende verantwoordelijkheden van gebruikers en deskundigen aan te geven. In Box 1 worden de ecologische diensten besproken.
- (4) Regulatiefuncties (ook: life support functies – LSF) zijn geïntegreerde aspecten van het bodemecosysteem, die van belang zijn voor het functioneren van het bodemecosysteem als geheel.
- (5) Het bodemecosysteem wordt gekwantificeerd met objectief meetbare of berekenbare parameters die een indicatieve betekenis hebben voor de gezondheid van de bodem. In de Beleidsbrief Bodem (VROM 2003) is aangegeven dat de bodem via een systeembenadering met een combinatie van chemische, fysische en biologische parameters beoordeeld moet worden. Ook aspecten van het bodembeheer (zoals de hoeveelheid uitgereden meststoffen op bouwland) kunnen van belang zijn voor de kwantificering van de gezondheid van de bodem (dit schema is overgenomen uit Schouten et al. 2001).

Een breed toepasbaar en robuust raamwerk voor duurzaam bodemgebruik bevat een beperkt aantal categorieën met grove combinaties van bodemtype en bodemgebruik, waarmee landelijke dekking verkregen wordt. In grote lijnen werd aangehaakt bij bestaande stelsels, voor zover ze relevant zijn voor duurzaam gebruik van het bodemecosysteem (Tabel 1). Er werden drie bodemtypen onderscheiden (zand, klei en veen), en vier bodemgebruikscategorieën (natuur, landbouw, overige groene gebruiksfuncties, en bedekte bodem (verhard, bebouwd)). Natuur en landbouw werden al onderverdeeld in een aantal subcategorieën. Een verdere samenvoeging van bodemgebruik en bodemtypen lijkt niet zinvol. Afhankelijk van specifieke vragen bij toepassing van het raamwerk op een locatie zal dit beperkte stelsel in bepaalde gevallen echter nader gedetailleerd moeten worden, bijvoorbeeld bij waardevolle bodemecosystemen en bodemtypen (zoals de kalkloze leemgrond in Limburg), specifiek bodemgebruik (bijvoorbeeld bollenteelt) of nauwkeurig bodembeheer (nauwkeurige mestadviezen, bodembeheer op verontreinigde grond).

De kennis over de bodem is de afgelopen jaren sterk toegenomen, maar loopt desondanks nog achter vergeleken met de kennis over aquatische ecosystemen. Sinds 1997 worden bodemecosystemen in Nederland met regelmaat geanalyseerd in een meetnet van VROM en LNV, het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB; Groot et al. 2003), met behulp van de zogenaamde Bodembiologische Indicator (Bobi; Schouten et al. 1997, 2001). Met het LMB wordt een dekking bereikt die representatief is voor ongeveer 70% van het oppervlak van de Nederlandse bodem. Naast het LMB worden locaties gemonitord die vanuit een bodembiologisch perspectief interessant zijn, zoals biologische melkveehouderij, biologische akkerbouw, halfnatuurlijk grasland en heidevelden. Hiermee is een database opgebouwd met gedetailleerde gegevens over bodemecosystemen afkomstig van 200 LMB-locaties, aangevuld met ongeveer 150 extra locaties. Per locatie zijn momenteel meer dan 800 verschillende records beschikbaar die gevuld worden met meetwaarden, en dit aantal neemt nog toe. Het aantal locaties dat wordt gemonitord neemt ook nog steeds toe, zodat de Bobi-database en de kennisbasis zich gedurende de komende jaren nog verder zullen uitbreiden.

In de Beleidsbrief Bodem (VROM 2003) worden kwaliteitsreferenties genoemd, als een hulpmiddel om het bodemgebruik duurzamer te maken. De Bobi-database is mogelijk een goede bron van gegevens van bodemecosystemen voor de afleiding van kwaliteitsreferenties. Deze referenties kunnen worden gezien als begin van een systematiek voor duurzaam bodemgebruik. Volgens de auteurs van dit rapport is er nergens anders een dergelijk omvangrijk en gestructureerd bestand met gegevens voorhanden, in ieder geval niet in Nederland. Daarom zullen de eerste referenties voor duurzame bodemkwaliteit in belangrijke mate gebaseerd worden op gegevens uit de Bobi-database, ondanks de beperkingen van die deze gegevens hebben (zie dit rapport).

Box 1: Ecologische diensten. Het bodemecosysteem is een dynamisch complex van levensgemeenschappen van planten, dieren, bodemorganismen en hun omgeving, die in onderlinge wisselwerking een functionele eenheid vormt. Via deze relaties levert het bodemecosysteem zogenoemde 'ecologische diensten', die door de maatschappij benut worden. Het gaat om de volgende ecologische diensten (overgenomen van de TCB (2003) en gedeeltelijk aangepast):

- **Bodemvruchtbaarheid:** Dit geïntegreerd aspect staat voor de 'productiefunctie' van de bodem voor landbouw, natuur en de overige groene diensten. De mensheid is voor een groot deel afhankelijk van de productie van voedsel in de landbouw. De bodem is daarbij het substraat voor de groei van productiegewassen, en indirect ook van het vee. Een goede bodemvruchtbaarheid is daarom van levensbelang. Bodemvruchtbaarheid is ook een belangrijk criterium voor natuur, want het is een sturende factor voor flora, vegetatie en landschap, en de daarin levend fauna. Deelaspecten van bodemvruchtbaarheid zijn:
 - leveren en vasthouden van voedingsstoffen en de timing daarvan gedurende het seizoen voor plantengroei en teeltgewassen.
 - een goede bodemstructuur voor beworteling van planten door aanwezigheid van stabiele aggregaten, mogelijkheden voor ontsluiting van het bodemprofiel en een optimale bodemdichtheid.
 - het natuurlijke vermogen van de bodem om ziekten en plagen te onderdrukken.
- **Weerstand tegen stress en adaptatie:** De bodem wordt vaak eenzijdig gebruikt. Voor duurzaamheid worden eisen gesteld aan het gebruik die de continuïteit en de flexibiliteit van de bodemfuncties garanderen. Bij continuïteit kan men denken aan 1) het vermogen om weerstand te bieden tegen bedreigingen, en 2) voor herstel binnen een redelijke termijn na schokeffecten door natuurlijke en menselijke oorzaken. Bij flexibiliteit kan men denken aan, 3) het vermogen om ook op de lange termijn alle potentiële ecologische diensten te vervullen, en 4) de aanpassing aan een ander bodemgebruik.
- **Buffer- en reactorfunctie:** Een belangrijk aspect van het bodemecosysteem is dat ze een belangrijke onderdeel is van onze leefomgeving, waarin onder meer lucht, oppervlaktewater, grondwater, atmosferisch transport en depositie, transport in de bodem, etc. een rol spelen. In de bodem vinden processen plaats die hiermee gekoppeld zijn, zoals alle belangrijke stofkringlopen: Deelaspecten van de buffer- en reactorfunctie zijn:
 - fragmentatie van plantenresten, mineralisatie van organische stof en het natuurlijk onderhoud van een relatief stabiele fractie organische stof in de bodem.
 - het zelfreinigend vermogen, dat wil zeggen verontreinigingen worden onschadelijk gemaakt, milieu-eigen stoffen worden afgebroken en stoffen worden gebonden zodat het ondiepe en diepe grondwater een goede kwaliteit behouden en de bodem 'schoon' wordt.
 - het vermogen om water op te nemen, vast te houden, en te transporteren. Dit is van belang voor zowel plantengroei, als voor de waterhuishouding (ook op het niveau van (stroom)gebieden).
 - het vermogen tot buffering en beïnvloeding van het klimaat. Op kleine ruimtelijke schaal zijn buffering van vocht en temperatuur van de lucht en het filteren van lucht door vegetatie van belang. Op grote schaal speelt bijvoorbeeld de vastlegging van broeikasgassen een rol.
- **Biodiversiteit:** bescherming van de structurele, genetische en functionele biodiversiteit is geen 'ecologische dienst' in strikte zin, omdat ze niet direct gekoppeld is aan het gebruik van de bodem. Haar bestempeling als dienst vloeit voort uit de notie dat de maatschappij tot een goed rentmeesterschap verplicht is en dus de intrinsieke waarden van de bodem moet beschermen. Daarnaast herbergt de bodem nog veel onbekende eigenschappen die van nut zullen zijn voor onbekende en onbenoemde ecologische diensten en als toekomstige bron van biologisch en genetisch materiaal. Aandacht voor structurele, genetische en functionele biodiversiteit is daarnaast ook van belang, omdat aangenomen wordt dat er een positieve correlatie is tussen biodiversiteit en de gezondheid van de bodem.

1.1 Doel

De in dit rapport beschreven typering van twee bodemecosystemen heeft als doel een aanzet te geven tot een naslagwerk over bodemecosystemen in Nederland. De typeringen zullen informatie bevatten over bodemeigenschappen, bodembeheer, vegetatie, bodemleven en andere relevante parameters die met de bodem te maken hebben, voor diverse bodemtypen en vormen van bodemgebruik. De duurzame referentie is een beschrijving van een bodemecosysteem waarvan verondersteld wordt dat de bodem (relatief) gezond is, en indicatief is voor duurzaam bodemgebruik. Deze typeringen en de referenties moeten toegepast kunnen worden bij het opzetten van een systematiek voor duurzaam bodemgebruik door een handvat te bieden aan de kwantificering van de gezondheid van de bodem.

Dit rapport is een direct gevolg van de uitvoering van het VROM-project Referenties voor Biologische Bodemkwaliteit (RBB). In dit project werd de systematiek besproken voor het afleiden van de referenties voor duurzaam bodemgebruik, in de context van aangekondigde veranderingen in het bodembeleid (VROM 2005). Het RIVM rapport beschrijft het proces wat tot deze referenties heeft geleid. De achtergronden bij het opstellen van de typeringen en de referenties worden geschetst. De eerste twee referenties en typeringen worden beschreven (Bijlagen 7 en 8) en er wordt een handreiking gedaan om via de 'ecologische diensten' een in de praktijk toepasbaar instrumentarium af te leiden (praktijk-amoebe).

Het rapport beoogt niet om een afgeronde discussie samen te vatten of een eindresultaat te presenteren. Het resultaat van het RBB-project (VROM 2005) en dit rapport markeren de eerste stappen naar uitwerking van het raamwerk voor duurzaam bodemgebruik. Deze stappen zijn noch afgerond, noch compleet, en er zullen er nog vele volgen. Dit rapport bevat de achtergrondinformatie en de onderbouwing die bij de discussies en de workshops van het RBB-project is toegepast.

1.2 Uitgangspunten

De bodem in Nederland is in sterke mate door de mens gevormd. Naast het afdekken van de bodem (bebouwing, wegen en infrastructuur) hebben met name ingrepen in de waterhuishouding (grondwaterpeilbeheer, droogmakerijen, bedijken van rivieren en zeearmen) en het eeuwenlange agrarische bodembeheer (bodembewerking, gebruik van hulpstoffen en oogsten bij de veehouderij en vollegrond teelten) de toestand van de bodem sterk beïnvloed. Door de in de 21^e eeuw nog voortgaande intensivering en mechanisering in de landbouw, intensievere waterbeheersing, en de verwachte klimaatveranderingen zal de bodem nog meer veranderen.

Bij het raamwerk voor duurzaam bodemgebruik is het streven om voor elk vorm van bodemgebruik een referentie op te stellen (zie Tabel 1). Er wordt dus geen referentie opgesteld voor een systeem waarbij het bodemgebruik geen rol speelt (de zogenaamde 'oer'-referentie uit de kaderrichtlijn water), zoals die mogelijk nog in Oost-Europa te vinden zijn.

Dit impliceert dat we accepteren dat de bodem als gevolg van menselijk handelen is veranderd en anders functioneert. Dit houdt ook in dat bijvoorbeeld al bij de eerste grove indeling een onderscheid gemaakt wordt tussen melkveehouderij en akkerbouw, omdat het bodembeheer en ook het bodemecosysteem duidelijk verschillend zijn (Schouten et al. 2000, Rutgers et al. 2002). In Tabel 1 is aangegeven welke gebruikscategorieën en welke bodemtypen in eerste instantie onderscheiden worden.

Vooralsnog worden de referenties opgesteld vanuit het milieuperspectief, en worden andere aspecten van duurzaamheid, zoals de ethische, sociale en economische kanten van het bodemgebruik, niet in beschouwing genomen. Niet omdat deze onbelangrijk zouden zijn, maar omdat de integrale afweging niet gemaakt kan worden zonder goede instrumenten voor de afzonderlijke onderdelen van de duurzaamheidsdriehoek (*People, Planet, Profit*). Een ander uitgangspunt is dat in Nederland de duurzaamheid van het bodemgebruik een grote variatie vertoont, als gevolg van verschillen in het bodembeheer (zoals verschillen in productie-intensiteit, gebruik van hulpmiddelen en hulpstoffen, bodemverontreiniging, grondwaterbeheer, etc.). De veronderstelling is ook dat het mogelijk is om uit een grote set gegevens over de toestand van de bodem gemeten op diverse locaties één of meerdere locaties te selecteren die een relatief gezonde bodem hebben. Systemen met een relatief gezonde bodem kunnen dan aangemerkt worden als de zogenaamde duurzame referentie.

Tabel 1. Voorstel voor categorieën bodemgebruik en bodemtypen waarvoor typering en referenties zullen worden opgesteld.

In totaal zijn in deze tabel 15 combinaties van bodemgebruik en bodemtype benoemd. Voor de (16^e) categorie verhard en bedekt worden vooralsnog geen typering en referenties opgesteld. Mogelijk wordt deze tabel in de toekomst aangevuld of verder gedetailleerd. In dit rapport zijn twee categorieën verder uitgewerkt tot typering en referenties, namelijk melkveehouderij op zand en halfnatuurlijk grasland op zand.

Bodemgebruikscategorie		grondsoort
1. natuur	heide	zand, veen
	halfnatuurlijk grasland	zand, klei, veen
	bos	zand
2. landbouw	melkveehouderij	zand, klei, veen
	akkerbouw	zand, klei, veen
3. overige groene categorieën	groenstroken, recreatief groen, buffergebieden van de ecologische hoofdstructuur (EHS), volkstuinten, tuinen in buitengebied, tuinen in stedelijk gebied, parken, groenvoorzieningen rond infrastructuur, bedrijven en industrieterreinen	zand, klei, veen
4 verhard, bedekte bodem (wordt niet in beschouwing genomen)		X

Bij de in dit rapport beschreven duurzame referenties wordt rekening gehouden met de invloeden van tijd en klimaat. Een duurzame referentie geeft een beeld van een bodemecosysteem zoals dat aangetroffen wordt bij bemonstering in het voorjaar (maart tot mei), voordat intensieve veldbewerking heeft plaatsgevonden. Uit analyse van meetresultaten (Mulder et al. 2003) is gebleken dat temperatuur en neerslag in deze periode geen significante bijdrage leveren aan de variatie in de samenstelling van groepen bodemorganismen, wanneer deze op het taxonomisch niveau van geslachten (genera) wordt bekeken.

2. Aanpak

De in dit rapport beschreven typeringen van bodemecosystemen zijn tot stand gekomen via een nauwe samenwerking met betrokkenen in het project 'Referenties voor Biologische Bodemkwaliteit' (VROM 2005) en met de partners in het samenwerkingsproject met Bobi (Alterra, WU-Bodemkwaliteit, BLGG, LBI). Tijdens de uitvoering van het project zijn diverse keuzes gemaakt die van direct belang zijn geweest voor de typeringen en de referenties, en voor de opzet van een praktische handreiking voor de selectie van indicatoren.

2.1 *Selectie van locaties voor de afleiding van duurzame referenties*

De landelijke database met biologische, chemische en een beperkt aantal fysische gegevens van ongeveer 350 locaties in Nederland vormde de basis voor het opstellen van de typeringen en de referenties. Dit is een grote en gestructureerde database die wordt opgebouwd via intensieve monitoring met de zogenaamde Bodembioologische indicator (Bobi). Informatie over dit meetnet en resultaten zijn te vinden in een aantal rapporten (Schouten et al. 1997, 2000, 2001, 2002, Breure et al. 2003, Rutgers et al. 2002, Mulder et al. 2004, Smeding et al. 2005) en wetenschappelijke publicaties (Bloem en Breure 2003, Bloem et al. 2005, Didden 2003, Schouten et al. 2004, Breure et al. 2005, Mulder et al. 2003, 2005a, 2005b, 2005c, 2005d). De totale set gegevens in de database (zoals die beschikbaar was op 15 oktober 2005) werd gebruikt om van alle locaties van de betreffende categorie het gemiddelde niveau en de 5% en 95% percentielen te berekenen. Bovendien werd het duurzame niveau voor een gezonde bodem afgeleid op basis van de gegevens in de Bobi-database (15 oktober 2005). Dit gebeurde door selectie van locaties waarvan verondersteld werd dat de bodem relatief gezond is ten opzichte van andere locaties in dezelfde categorie. Voor melkveehouderij op zand en voor halfnatuurlijk grasland op zand werden hiervoor de volgende procedures gevolgd:

1. Melkveehouderij op zandgrond: relevante kennis voor de selectie van melkveehouderijbedrijven met een relatief goede bodemgezondheid werd ingebracht door een bodemecoloog en een agrarisch adviseur. De bodemgezondheid werd vanuit de bodemecologische expertise onderzocht op basis van verschillen in structuur en stabiliteit van het voedselweb, in combinatie met de totale biomassa als maat voor het intrinsieke vermogen van het bodemecosysteem voor ondersteuning bij de productie van gras, melk en vee (Mulder et al. 2004, Smeding et al. 2005, Van Eekeren et al. 2003). De agrarische adviseur beoordeelde de duurzaamheid van de bedrijfsvoering en de gezondheid van de bodem op basis van kenmerken van het bodembeheer, zoals het gebruik van hulpstoffen (mest en bestrijdingsmiddelen), de frequentie van scheuren van het grasland, het aandeel bouwland (meestal maïs) als percentage van het totale bedrijfsareaal, de veebezetting, en het aandeel externe hectares (een maat

die overeenkomsten vertoont met de zogenaamde ecologische voetafdruk; Iepema en Baars 2005). Dit resulteerde in de volgende criteria voor de selectie van bodemecologisch gezonde melkveehouderijbedrijven op zandgrond:

- de ‘stabiliteit’ van het bodemecosysteem. Stabiliteit werd gedefinieerd op basis van allometrische relaties in het bodemvoedselweb (Mulder et al. 2004, 2005a). Een allometrische relatie voor het gemiddelde gewicht van de bodemorganismen, en hun aantallen, resulteert onder duurzame condities in een helling die gelijk aan -1 is. Geïntegreerd over alle lagen van het bodemvoedselweb zijn onder deze omstandigheden de prooien in evenwicht met de consumer/predatoren. De veronderstelling is dat deze conditie stabiel is.
- de ‘productiviteit’ van het bodemecosysteem, op basis van de abundantie van het bodemleven, en andere bodemeigenschappen die een relatie hebben met de productiviteit (Mulder et al. 2004, Smeding et al. 2005, Van Eekeren et al. 2003). Er wordt een positieve relatie verondersteld tussen de totale biomassa en de potentiële productiviteit van een systeem.
- gebruik van hulpstoffen (soort en type mest) en bestrijdingsmiddelen (gebaseerd op Van Eekeren et al. 2003). Bodembeheer gericht op beperkt gebruik van hulpmiddelen (mest, bestrijdingsmiddelen, bodembewerking) is relatief duurzaam.
- de hoeveelheid ‘externe hectares’ van een bedrijf geeft aan wat de netto input van een bedrijf is, gesommeerd over energiegebruik en hulpstoffen (mest, krachtvoer, bestrijdingsmiddelen). De externe hectares moeten tussen -10% en 50% liggen.
- frequentie scheuren grasland bij voorkeur lager dan 1 keer per 5 jaar.
- percentage bouwland. Op een bedrijf mag het percentage bouwland (mais) maximaal 25% bedragen.

Uit de totale set van 81 locaties in de Bobi-database (per 15 oktober 2005) werden zes locaties (bedrijven) geselecteerd die voor vijf van de zes bovengenoemde kenmerken voldeden aan de criteria voor duurzaamheid. Er was geen enkel bedrijf dat aan alle criteria voor duurzaamheid voldeed. De duurzame referentie werd berekend uit het gemiddelde van de gegevens van deze zes geselecteerde bedrijven.

2. Halfnatuurlijk grasland op zandgrond: relevante kennis voor de selectie van locaties halfnatuurlijk grasland met een relatief goede bodemgezondheid was afkomstig van een bodemecoloog, een graslanddeskundige, en een natuurbeheerder. In Nederland worden voor de functie ‘natuur’ en grasland alleen zogenaamde halfnatuurlijke graslanden beschreven (Schaminée en Smits 2001, Bal et al. 2001). Bodem-ecologische kennis werd benut om te selecteren op basis van verschillen in stabiliteit van het voedselweb. Graslanddeskundigheid werd benut voor de selectie van locaties met halfnatuurlijk grasland zonder gesloten kruidlaag en met hoogstens een zwak tot matig reliëf. Criteria werden opgesteld op grond van kennis over natuurbeheer, de maai-frequentie, grondwaterbeheer, veebezetting en het gebruik van hulpstoffen (voornamelijk bestrijdingsmiddelen). Dit resulteerde in de volgende criteria voor de selectie van bodembologisch gezien gezonde halfnatuurlijke graslanden:

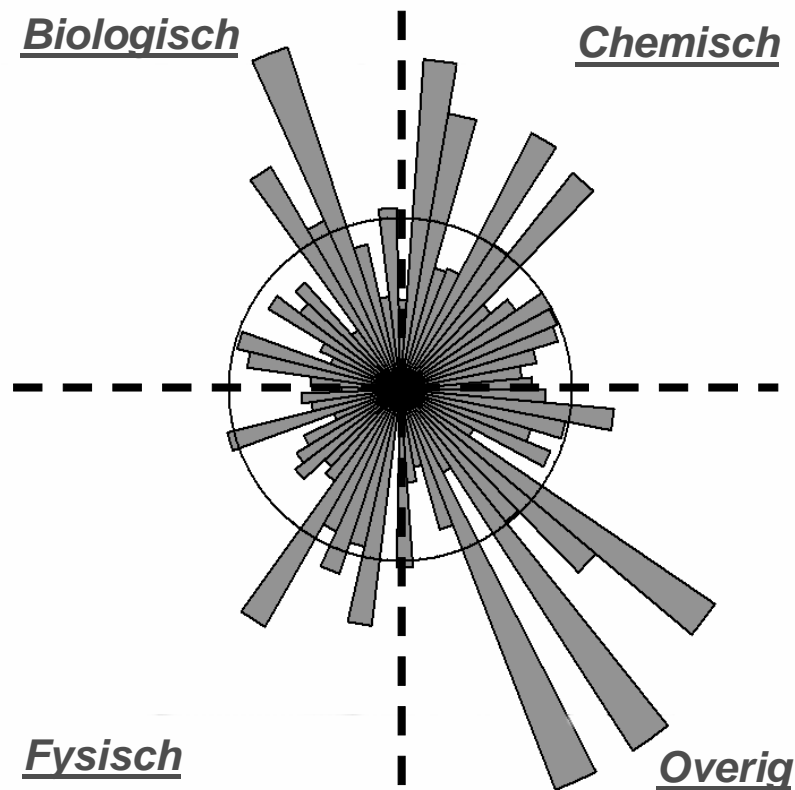
- de ‘stabiliteit’ van het bodemecosysteem. Stabiliteit werd gedefinieerd op basis van allometrische relaties in het bodemvoedselweb (Mulder et al. 2004, 2005a). Een allometrische relatie voor het gemiddelde gewicht van de bodemorganismen, en hun aantallen, resulteert onder duurzame condities in een helling die gelijk aan -1 is. Geïntegreerd over alle lagen van het bodemvoedselweb zijn onder deze omstandigheden de prooien in evenwicht met de consumer/predatoren. De veronderstelling is dat deze conditie stabiel is,
- economie: geen productiedoelstelling,
- veedichtheid. Ten hoogste 1 grootvee eenheid (GVE) per ha,
- permanent grasland, niet gescheurd, geen bouwland,
- geen gebruik van meststoffen, zeer beperkt (incidenteel) gebruik van bestrijdingsmiddelen,
- maaifrequentie laag, gemiddeld 1 keer per jaar, incidenteel maximaal 2 keer per jaar en als alternatief kan voor extensieve beweiding worden gekozen.

Uit de totale set van 10 locaties in de Bobi-database (per 15 oktober 2005) werden er 6 geselecteerd voor de afleiding van de referentie. De gegevens van de geselecteerde locaties werden gebruikt om de zogenaamde duurzame referenties te berekenen (zie Bijlagen 7 en 8).

2.2 Presentatie van parameterwaarden in amoebe-grafieken

In het project met de Bodembioologische Indicator (Bobi) is een grafisch hulpmiddel toegepast voor de beoordeling van het bodemecosysteem, de zogenaamde ‘amoebe-grafiek’ (Figuur 2; Schouten et al. 2000). De amoebe geeft de individuele waarden aan van verschillende gemeten en/of berekende parameters (de ‘taartpunten’; op basis van de meetwaarden in de database), ten opzichte van een gekozen referentiesituatie. In Figuur 2 wordt een schematische hoofdverdeling in vier categorieën gevolgd, namelijk fysische, chemische en biologische parameters, en een vierde categorie met overige parameters, conform de aanwijzingen in de Beleidsbrief Bodem (VROM 2003). De vierde categorie bevat parameters die wel gebruikt kunnen worden om de gezondheid van de bodem te kwantificeren, maar niet in het standaard rijtje van drie passen (bijvoorbeeld veedichtheid).

Amoebe is een afkorting voor algemene methode voor oecosysteembeschrijving en beoordeling. De term en de beoordelingsmethode zijn voor het eerst beschreven door Ten Brink en Hosper (1989). De amoebe-benadering is aanvankelijk ontwikkeld voor aquatische ecosystemen. De methode is gebaseerd op een radar-plot waarin een aantal strategisch gekozen doelvariabelen aangeeft hoe ver de huidige toestand verwijderd is van een referentie of beoogd doel. De waarde van een parameter in de referentie wordt op 100% gesteld. De huidige waarde wordt ten opzichte daarvan uitgedrukt. Amoebe-grafieken (Schouten et al. 1997) voor melkveehouderij op zand en voor halfnatuurlijk grasland op zand werden samengesteld uit de verschillende parameterscores van alle locaties uit de betreffende categorie in de Bobi-database (‘het gemiddelde van Nederland’) ten opzichte van een



Figuur 2. De 'amoebe-grafiek' is een kwantitatieve weergave van parameters die bijdragen aan een beeld voor de gezondheid van de bodem (Schouten et al. 2000).

De cirkel kan bijvoorbeeld de duurzame situatie weergeven, terwijl de taartpunten de feitelijke situatie beschrijven. Er zijn twee typen amoeben, namelijk een uitgebreide versie waarin alle parameters worden opgenomen die een bijdrage leveren aan de kwantificering van de bodemkwaliteit, en een zogenaamde 'praktijk-amoebe' met een selectie van parameters die een grote bijdrage leveren aan dat beeld. De categorie 'overig' is aan het rijtje chemische, fysische en biologische parameters toegevoegd (Beleidsbrief Bodem; VROM 2003). Veedichtheid en rotatie zijn bijvoorbeeld parameters waarvan verondersteld wordt dat ze van belang zijn voor de 'gezondheid' van de bodem, maar die niet in het standaard rijtje passen.

referentiewaarde die werd vastgesteld op basis van de gemiddelde waarde van een set geselecteerde locaties met een 'gezonde' bodem.

Bij de berekeningen van de waarden van de parameters ten behoeve van de presentatie in een amoebe-grafiek zijn vier verschillende methoden toegepast. Het doel van de amoebe-grafiek is om de actuele gegevens overzichtelijk te presenteren in een grafiek en tegelijk te vergelijken met een gekozen referentie (zie ook Bijlage 5):

- Type I: de waarden van de parameters op een locatie zijn uitgedrukt als percentage van de duurzame referentie. Aangezien de waarden kleiner en groter kunnen zijn dan de referentie loopt de schaal dus van 0% (afwezigheid of geen activiteit) via 100% (gelijke waarde als de referentie) tot hogere waarden (hogere waarde dan de referentie). Dit type amoebe-grafiek is afgebeeld in Figuur 2.
- Type II: de waarden van de parameters op een locatie zijn uitgedrukt als absoluut verschil ten opzichte van de duurzame referentie. De schaal loopt hierbij van

0 tot 100%. Deze berekeningsmethode is vergelijkbaar met de voorgaande, met als verschil dat een aanwezigheid of activiteit groter dan de referentie proportioneel in mindering wordt gebracht ten opzichte van de referentie (op 100% gesteld). Om dit te bereiken zijn de indicatorscores geschaald via de volgende formule (in %):

$$\text{indicatorscore-}X \text{ (in \%)} = 10^{(2 - \text{abs}(2 - \log(X)))}$$

waarin X het resultaat is ten opzichte van de referentie (in %).

- Type III: de waarden van de parameters op een locatie zijn uitgedrukt als een verschil ten opzichte van de duurzame referentie (deze werd op 100% gesteld), en als een verschil ten opzichte van de gemiddelde Nederlandse waarde (deze werd arbitrair op 50% gesteld), volgens de volgende formule (in procenten):

$$\text{indicatorscore-}X \text{ (in \%)} = 100 - (50 \cdot ((100 - X)/(100 - \bar{x})))$$

waarin X het verschil is (in %) ten opzichte van de duurzame referentie (op 100% gesteld) en het landelijk gemiddelde (arbitrair op 50% gesteld), en \bar{x} het gemiddelde is van alle monsters of locaties voor de betreffende categorie in de totale database (in %; databasegegevens per 15 oktober 2005). Tijdens de 3^e en laatste RBB-workshop werd kritiek geuit op deze wijze van presenteren. Bij de uiteindelijke versie van dit rapport zijn deze amoebe-grafieken dan ook niet meer toegepast. Een voorbeeld is nog te vinden in Bijlage 5.

- Type IV: de waarden van de parameters werden geïntegreerd in een waarde voor de ecologische diensten, met behulp van de scores die de wetenschappers hebben gegeven aan de indicatieve waarde van de parameters voor de ecologische diensten. De waarden van zes parameters met de hoogste indicatieve waarde voor de betreffende ecologische dienst werden voor de berekeningen gebruikt. Deze wijze van integreren komt tegemoet aan de wens van gebruikers om de ecologische diensten zichtbaar te maken, maar stuit op kritiek van wetenschappers vanwege de gebrekkige algoritmes. Een voorbeeld van een dergelijke amoebe-grafiek is daarom alleen in Bijlage 5 opgenomen.

3. De eerste twee bodemecosysteemyperingen: melkveehouderij en halfnatuurlijk grasland op zand

Het RBB-project heeft twee typeringen van bodemecosystemen uitgewerkt, inclusief referenties, waarvan de uitgebreide beschrijvingen opgenomen zijn in de Bijlagen 7 en 8. In het RBB-project is afgesproken dat in de nabije toekomst voor 15 typeringen opgesteld zullen worden voor de combinaties van bodemgebruik en grondsoort in Tabel 1. Deze 15 typeringen kunnen ingezet worden bij de beoordeling van de gezondheid van de bodem en vormen een robuuste basis van het (generieke) raamwerk voor duurzaam bodemgebruik. De komende twee jaar zullen de typeringen opgesteld worden, via rekenexercities, selectie van locaties waarbij verondersteld wordt dat de bodem voldoet aan criteria voor 'gezondheid', en via aanvullende bemonsteringen en metingen.

Een typering van een bodemecosysteem bestaat uit een beschrijving van het bodemgebruik en bodemtype in algemene termen, en tabellen met waarden voor parameters die van belang zijn voor de kwantificering van de gezondheid van de bodem, of die anderszins van belang zijn voor de beschrijving van het systeem. Momenteel bevat deze tabel waarden voor het gemiddelde van alle bemonsterde locaties in Nederland van de monitoring in het LMB en daarbuiten voor de betreffende categorie (bodemgebruik en bodemtype), evenals de 5% en 95% percentielen. Tevens bevat de tabel gemiddelde waarden voor parameters van een beperkt aantal locaties waarvan verondersteld wordt dat de bodem ter plaatste 'gezond' is, de zogenaamde duurzame referentie.

In Figuur 3 zijn drie amoebe-grafieken weergegeven, met gemiddelden uit de Bobi-database (15 oktober 2005) voor twee vormen van bodemgebruik (zie ook Bijlagen 7 en 8). De cirkel representeert de duurzame referentie, en de taartpunten de afwijking ten opzichte van de referentie voor het gemiddelde van alle locaties van de betreffende categorie in Nederland waarvan gegevens beschikbaar zijn. In Figuur 3A is de gemiddelde waarde van de parameters bij melkveehouderijbedrijven op zandgrond (81 locaties) uitgezet ten opzichte van de duurzame referentie voor melkveehouderij (6 locaties). In Figuur 3B is de gemiddelde waarde van de parameters bij de halfnatuurlijke graslanden (slechts vier locaties) uitgezet ten opzichte van de duurzame referentie voor halfnatuurlijk grasland (zes locaties). Voor deze categorie zijn te weinig locaties bemonsterd om een representatief beeld voor Nederland te genereren en om een betrouwbare referentie te selecteren. In Figuur 3C is de gemiddelde waarde van de parameters bij melkveehouderijbedrijven op zandgrond (81 locaties) uitgezet ten opzichte van de referentie voor halfnatuurlijk grasland (6 locaties).

Bij vergelijking van de amoebe-grafieken in Figuur 3A en 3C valt op dat de gemiddelde waarde van de parameters bij 81 melkveehouderijbedrijven sterker afwijkt van de referentie voor halfnatuurlijk grasland dan van de referentie voor 'duurzame' melkveehouderijbedrijven. Met andere woorden, de amoebe-grafieken suggereren dat het verschil in bodemkwaliteit tussen gangbare en duurzame melkveehouderij kleiner is dan tussen gangbare melkveehouderij en halfnatuurlijk grasland. Er is een groot verschil tussen

de duurzame referentie voor melkveehouderij en de referentie voor halfnatuurlijk grasland (resultaten niet getoond). Deze bevindingen sluiten goed aan bij de verwachting dat de stap van een gangbaar melkveehouderijbedrijf naar duurzame melkveehouderij kleiner is dan de overgang naar een natuurlijk grasland.

De hierboven geschetste typering worden uitgebreid beschreven in Bijlagen 7 en 8. Ze zijn volledig gebaseerd op gegevens die in de Bobi-database per 15 oktober 2005 aanwezig waren. Het totaalbeeld is dus afhankelijk van de onderliggende keuzes bij inrichting van het meetnet, van het aantal bemonsterde locaties, en van de representativiteit van de bemonsterde locaties voor de betreffende categorie. Daarnaast is de duurzame referentie ook nog sterk afhankelijk van de deskundigen die de locaties selecteerden met een veronderstelde 'gezonde' bodem. Het aantal halfnatuurlijke graslanden in de Bobi database is in ieder geval te gering (n=10) voor een representatief beeld van de halfnatuurlijke graslanden in Nederland. Deze aspecten worden in de Discussie nader belicht.

Het is mogelijk om de gegevens van de typering te gebruiken voor het beoordelen van de gezondheid van de bodem op één enkele locatie. Op dezelfde wijze als voor het gemiddelde over alle bemonsterde locaties (Figuur 3) kan ook één enkele locatie vergeleken worden met de duurzame referentie. Alle parameters kunnen hierbij worden gebruikt, maar er kan ook een 'slimme' selectie van parameters worden gedaan zodat alleen die parameters ingezet hoeven te worden die een hoge indicatieve waarde hebben. Dit wordt besproken in de volgende onderdelen van dit rapport. In Bijlage 5 zijn amoebe-grafieken opgenomen met de actuele waarden voor parameters van één locatie.

Figuur 3. Drie amoebe-grafieken waarin de gemiddelde waarden voor verschillende parameters is weergegeven ten opzichte van een duurzame referentie.

De cirkel geeft het referentieniveau weer (op 100% gesteld). De taartpunten geven elk de gemiddelde waarde voor één (som) parameter weer voor alle locaties van de betreffende categorie in de Bobi-database (per 15 oktober 2005).

Lichtgroene en gele taartpunten;
microbiologische parameters

Donkergroene taartpunten: overige biologische parameters.

Grijze taartpunten: biodiversiteit Rode taartpunten: chemische parameters.

Blaue taartpunten: overige parameters.

Ontbrekende taartpunten: geen gegevens voor deze categorie aanwezig (NB fysische parameters zijn nog niet gemeten).

Amoebe A. Gemiddelden voor melkveehouderijbedrijven op zand (81 bedrijven), ten opzichte van een duurzame referentie voor melkveehouderij (6 locaties).

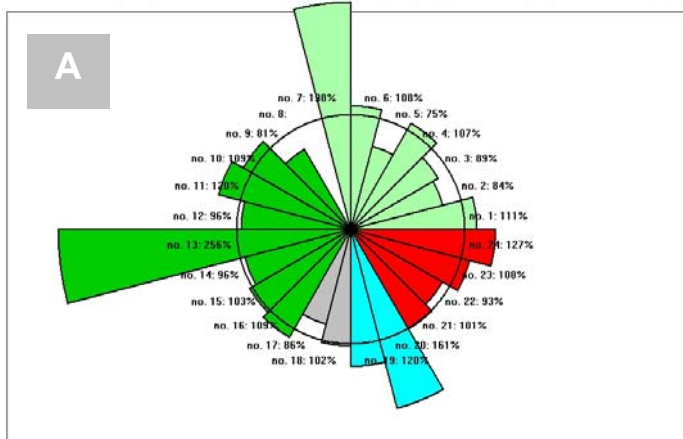
Amoebe B. Gemiddelden voor halfnatuurlijk graslanden op zand (4 locaties), ten opzichte van een duurzame referentie voor halfnatuurlijke graslanden (6 locaties).

Amoebe C. Gemiddelden voor melkveehouderijbedrijven op zand (81 bedrijven), ten opzichte van een duurzame referentie voor halfnatuurlijke graslanden (6 locaties).

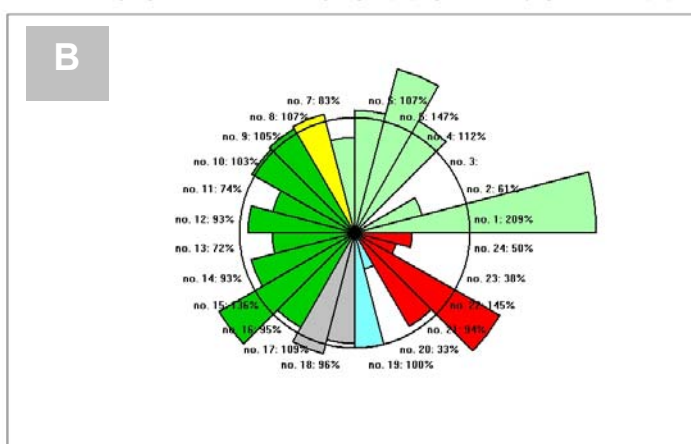
Verklaring van de parameters:

- | | |
|------------------------------------|--|
| no. 1: Bacteriële biomassa: | no. 13: Regenwormdichtheid: |
| no. 2: Bacteriële activiteit: | no. 14: Regenwormdiversiteit: |
| no. 3: Bacteriële diversiteit: | no. 15: Micro-arthropoden dichtheid: |
| no. 4: Potentiële C-mineralisatie: | no. 16: Micro-arthropoden diversiteit: |
| no. 5: Potentiële N-mineralisatie: | no. 17: Allometric (M,N) regression: |
| no. 6: Biolog helling: | no. 18: Biodiversiteit (integraal): |
| no. 7: Biolog omzettingcapaciteit: | no. 19: Aandeel grasland: |
| no. 8: Schimmel biomassa: | no. 20: Veebezetting: |
| no. 9: Nematodendichtheid: | no. 21: Zuurgraad: |
| no. 10: Nematodendiversiteit: | no. 22: Organische stof: |
| no. 11: Potwormdichtheid: | no. 23: Wateroplosbaar P (Pw): |
| no. 12: Potwormdiversiteit: | no. 24: Extraheerbaar P (PAL): |

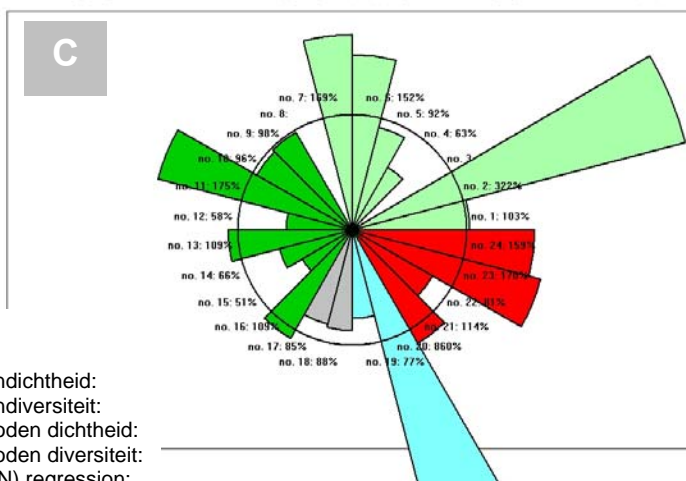
AMOEBE-diagram gemiddelde bodemkwaliteit MVH op zandgrond (n=81), uitgedrukt als %afwijking van de referentie (n=6)



AMOEBE-diagram gemiddelde bodemkwaliteit HNG op zandgrond (n=4), uitgedrukt als %afwijking van de referentie (n=6)



AMOEBE-diagram gemiddelde bodemkwaliteit MVH op zandgrond (n=81), uitgedrukt als %afwijking van de referentie HNG (n=6)



4. Handreiking voor gebruik van de typeringen bij de bepaling van de bodemkwaliteit

4.1 *Bodemecosysteemypering en duurzame referentie*

De in dit rapport beschreven typeringen van bodemecosystemen dienen toegepast te kunnen worden bij het (praktische) bodembeheer en beleid. Hiervoor is de ontwikkeling van een complete maatlat nodig, waarbij de duurzame referentie een oriënterende functie heeft: voor de bijbehorende waarden van de parameters wordt verondersteld dat de bodem gezond is. De typeringen geven aan welke parameters (chemische, fysische, biologische en overige) een rol spelen voor de kwantificering van de ‘gezondheid van de bodem, wat per parameter het niveau is bij een ‘gezonde’ bodem, en welke gemiddelde waarden in Nederland aangetroffen zijn op basis van gegevens uit bestaande meetprogramma’s.

De referentie voor een duurzame kwaliteit is gebaseerd op een bestaande situatie. Dit is een belangrijke keuze in het RBB-project geweest. De aannahme hierbij is dat het mogelijk is om uit een bestand met gegevens over verschillende locaties één of meerder locaties te selecteren waarbij de bodem relatief ‘gezond’ is. Hieruit volgt het pragmatische uitgangspunt dat alle ecologische diensten in die situatie voldoende tot hun recht komen om het bodemgebruik als ‘duurzaam’ aan te merken. Hiermee wordt voorkomen dat er een ingewikkelde (en subjectieve) modellering van de parameters, regulatiefuncties (life support functies) en de ecologische diensten uitgevoerd moet worden, om een duurzame en hypothetische referentie op te stellen. Bovendien wordt men min of meer gedwongen om altijd een systeembenadering te volgen, waaraan de resultaten van specifieke parameters hoogstens een beperkte individuele bijdrage leveren. Deze aanpak kan overigens op termijn aangepast worden, als ervaringen met het systeem daar aanleiding toe geven.

De focus op bestaande situaties is mede door pragmatisme ingegeven, en heeft de beperking in zich dat duurzaamheid een relatief begrip wordt, met een begrenzing naar een maximaal duurzame situatie die gebaseerd is op bestaande kennis en meetgegevens. Het voordeel is dat de referentie realistisch is, want het beschrijft een bestaande situatie. Een ander voordeel is dat als er aanleiding is om nieuwe kennis voor een duurzame referenties te benutten, dit zonder meer mogelijk is. Dit laatste geldt ook voor locatiespecifieke omstandigheden die in het huidige, tamelijk generieke voorstel misschien onvoldoende tot hun recht komen. In die gevallen kan een locatiespecifieke referentie uitkomst bieden. Bij locatiespecifieke ecologische risicobeoordeling van bodemverontreiniging wordt al langer gebruikt gemaakt van locatiespecifieke referenties (Faber et al. 2004, Rutgers et al. 2004).

De typering bestaat uit een beschrijving van het bodemecosysteem, en een set met kwantitatieve gegevens, waarin zoveel mogelijk kennis over het bodemecosysteem wordt samengebracht, voor de duurzame en de gemiddelde situatie in Nederland. Als startpunt voor de typering wordt de Bobi-dataset gebruikt met biologische, chemische en een beperkt aantal fysische parameters, aangevuld met gegevens over het lokale bodembeheer. Op termijn wordt

uitbreiding van de systeemtypering voorzien met gegevens van andere kennisvelden, inclusief het bodembeheer. Hierbij valt te denken aan de kennis die aanwezig is bij het praktische bodembeheer (boeren, terreinbeheerders, eigenaars), bodemadviseurs, agrarische adviseurs, vegetatiedeskundigen, etc. Alle relevante kennis die op beargumenteerde wijze aan bodemkwaliteit valt te relateren zou uiteindelijk in de typering kunnen worden opgenomen. De ‘amoebe-grafiek’ is een makkelijk uit te breiden methode om alle gegevens overzichtelijk in één grafiek te presenteren (Figuur 2).

4.2 Handreiking voor de selectie van parameters voor een praktisch indicatorsysteem

Een typering van een bodemecosysteem bestaat uit een algemene beschrijving van de bodem, inclusief geografische spreiding in Nederland, een algemene beschrijving van het bodemgebruik, en een set kwantitatieve gegevens over het bodemecosysteem waarvan verondersteld wordt dat er een relatie is met de gezondheid van de bodem. Tevens zijn kwantitatieve gegevens opgenomen die relevant zijn voor het bodemecosysteem, maar die niet (eenvoudig) via het bodembeheer beïnvloed kunnen worden, zoals de bodemeigenschappen (bijvoorbeeld het lutumgehalte). Naarmate er meer bekend is kan een dergelijke set flinke proporties aannemen. In het Bobi gegevensbestand is momenteel per locatie ruimte gereserveerd voor meer dan 800 parameters. Veel van deze parameters kunnen verregaand geïntegreerd worden om de overzichtelijkheid te vergroten, maar hierbij kan nuttige informatie verloren gaan. Een bekende manier van integreren is bijvoorbeeld gegevens over de nematoden in de bodem (> 200 records in het Bobi-bestand) samen te vatten in de zogenaamde Nematode Maturity Index (Bongers 1990) of in de Nematode Channel Ratio (Yeates 2003, Mulder et al. 2005b).

Ook na integratie van gegevens tot op het niveau van bijvoorbeeld levensgemeenschappen of voedselgroepen blijven er veel parameters en somparameters over die niet eenvoudig verder geïntegreerd kunnen worden, omdat er nog geen wetenschappelijk geaccepteerde benadering beschikbaar is. In Tabel 3 is een lijst opgenomen van parameters die gedeeltelijk geïntegreerd zijn tot somparameters, maar deze telt toch nog 50 items. De mogelijkheden voor verdere integratie werden niet nader onderzocht en vielen buiten de context van het RBB project. De keuze in het RBB-project was juist om aan te sluiten bij de bestaande en geaccepteerde manieren van integratie van de parameters.

Het aantal parameters en somparameters in de amoebe-grafieken van Figuur 2 en 3 is omvangrijk, veel te omvangrijk voor de meeste praktijktoepassingen. Om tot een verantwoorde versimpeling te komen dient een kleiner aantal parameters op een onderbouwde en transparante wijze geselecteerd te worden. Parameters die relatief veel informatie geven over de gezondheid van de bodem zullen worden geselecteerd ten koste van parameters die relatief weinig informatie geven. Hiervoor is de systematiek gevolgd die in TCB-rapporten is voorgesteld (onder andere Faber 1997, Van de Leemkule 2001), door de kwaliteit van de bodem te beoordelen op basis van voor het bodemgebruik noodzakelijke ecologische functies en diensten van de bodem (Figuur 1, Box 1; TCB 2003). Ecologische diensten zijn de

cruciale schakel in de toepassing van kennis over de gezondheid van de bodem (via de regulatiefuncties; de wetenschappelijk term) voor het bodemgebruik, beheer en beleid¹. De Bodembioologische Indicator (Schouten et al. 1997) is op analoge wijze ontworpen, wat nadere prioritering vergemakkelijkt.

De koppeling van het bodemgebruik aan meetbare en berekenbare parameters werd in twee concrete stappen uitgewerkt, via een eenvoudige multicriteria analyse. In de derde stap werden de koppelingen uitgewerkt en de parameters op volgorde gezet.

4.3 Koppeling van het bodemgebruik aan ecologische diensten

De verantwoordelijkheid van deze koppeling ligt bij de beheerder of eigenaar van de locatie, bij het (lokale) bevoegd gezag en bij de landelijke overheid. Met het onderscheid in deze 3 niveaus wordt recht gedaan aan de functies die de bodem heeft voor ruimtelijke schaal van de beheerder/eigenaar (bijvoorbeeld bodemvruchtbaarheid), op gebiedsniveau, maar ook voor de maatschappij (bijvoorbeeld klimaatfuncties). Potentiële gebruikers bij Provincies, Gemeenten, Overheden, DLG, Staatsbosbeheer, adviesbureaus en bedrijven werden uitgenodigd voor een serie workshops (20, 21 en 27 juni 2005) om deze koppeling tussen het bodemgebruik en de ecologische diensten te maken. Er werd een invultabel opgesteld (Tabel 2) met een beperkt aantal bodemgebruikscategorieën: namelijk natuur, landbouw en overige groene functies van de bodem², en de set met ecologische diensten uit Box 1. De 13 deelnemers aan de workshops vertegenwoordigden de potentiële gebruikers en kregen de opdracht om Tabel 2 in te vullen, door voor een bepaalde ruimtelijke schaal de betekenis van elke ecologische dienst voor het bodemgebruik aan te geven, op een semi-kwantitatieve schaal van 1 (weinig relevant) tot en met 5 (zeer relevant).

De uitkomsten werden gebruikt om een gemiddelde score en een standaarddeviatie per score te berekenen per ecologische dienst, per type bodemgebruik, en per beoordelings-schaal. De standaarddeviatie werd berekend om de mate van overeenstemming te evalueren en te bediscussiëren tijdens de workshops in juni 2005. Voor de prioritering van de parameters bleek achteraf een herberekening van de scores nodig te zijn volgens de formule: $(\text{nieuwe score}) = 1,5 \cdot (\text{oude score}) - 2,5$. Dit was noodzakelijk omdat de schaal van 1 tot 5 door de deelnemers aan de workshops in absolute zin werd toegepast en niet in relatieve zin;

¹ De ecologische diensten van de bodem zijn in Box 1 nader beschreven (TCB 2003). Ecologische diensten zijn de functionele eigenschappen van de bodem, zoals door gebruiker, (de)centrale overheden, en maatschappij worden herkend en erkend. Voor een in de praktijk toepasbaar kader ten behoeve van duurzame bodemgebruik dienen relaties tussen ecologische diensten en het bodemgebruik eenduidig te zijn. Deze kan verkregen worden via een consensus benadering waarbij alle belangen meegenomen worden. Ecologische diensten zijn afhankelijk van het bodemgebruik en de beoordelingschaal. Hierdoor is overlap tussen de diensten mogelijk.

² De opdracht was om zoveel mogelijk aan te sluiten bij andere kaders voor de indeling van het bodemgebruik, met name die met een relatie tot bodemkwaliteit (VROM-project NOBO, VROM/IPO/VNG-project lokale bodemambities, ruimtelijke ordening (IPO-VNG), etc.). De optie om indien nodig extra onderscheid te maken werd onder meer toegepast voor heide en gras (Tabel 1).

er werden weinig lage waarderingen gegeven en het gemiddelde en de standaarddeviatie van alle scores bedroeg $3,76 \pm 0,77$.

Tevens is in een later stadium op speciaal verzoek (persoonlijke mededeling J. Faber en Ch. Mulder) de ecologische dienst 'weerstand en adaptatie' in twee deelaspecten gesplitst, namelijk:

- a. weerstand tegen stress en herstelvermogen (met de nadruk op continuïteit van het bodemgebruik), en
- b. flexibiliteit en adaptatie (met de nadruk op veranderingen in het bodemgebruik).

De motivatie hiervoor was dat deze deelaspecten elk zeer verschillende eigenschappen van de bodem representeren, met mogelijkerwijs eigen indicatoren.

4.4 Koppeling van ecologische diensten aan parameters

De aanname is dat de bodemgezondheid gemeten kan worden met meetbare en/of berekenbare parameters voor een kenmerk van het bodemecosysteem. Fysische, chemische, biologische en overige parameters zoals veedichtheid, bemesting en rotatie komen hiervoor in aanmerking. De kennis van de indicatieve waarde van de parameters voor de kwantificering van de ecologische diensten staat is vooral aanwezig bij wetenschappers en bodemdeskundigen, zoals bodemecologen en agrarische adviseurs. Op dit vlak bestaat er momenteel geen geaccepteerd kader voor de afleiding van de indicatieve waarde voor ecologische diensten, omdat subjectieve afwegingen noodzakelijk zijn (Van de Leemkule 2001). Daarom is aan vijf deskundigen gevraagd om voor een voorlopige lijst met 49 parameters (Tabel 3; NB: er werd één keer gebruik gemaakt van de optie om parameters toe te voegen, namelijk voor rotatie en vruchtwisseling) een schatting te geven van de relatieve indicatieve waarde van elke parameter voor de ecologische diensten uit Tabel 2 en Box 1. Dezelfde schaal werd gehanteerd, namelijk van 1 (geen of weinig indicatieve waarde) tot 5 (relatief zeer indicatief voor de betreffende ecologische dienst). Bij deze koppeling werd nog weinig of geen rekening gehouden met de praktische aspecten van de parameters, zoals de kosten, bewezen onderscheidend vermogen, en de nabijheid van analyse laboratoria. De uitkomsten werden gebruikt om een gemiddelde en een standaarddeviatie te berekenen per combinatie van parameter en ecologische dienst.

4.5 Gegevensanalyse

De 13 ingevulde tabellen van de deelnemers aan de RBB-workshops in juni 2005 werden samengevoegd, door het gemiddelde en de standaarddeviatie per score te berekenen. Een kleine standaarddeviatie gaf aan dat de betreffende koppeling tussen bodemgebruik en de ecologische dienst tamelijk eensluidend gewaardeerd werd. Een hoge standaarddeviatie gaf juist aan dat er grote verschillen voor de waardering was. Enkele koppelingen met een hoge standaarddeviatie werden binnen de beperkte setting van de drie speciaal georganiseerde

Tabel 2. Invulschema om een verband te leggen tussen het bodemgebruik en de ecologische diensten van de bodem.

In het schema kan aangegeven worden hoe relevant een bepaalde ecologische dienst is voor het bodemgebruik, bijvoorbeeld op een schaal van 1 (niet relevant) tot 5 (zeer relevant). Ook 0 kan worden gebruikt als de betreffende ecologische dienst buiten beschouwing dient te blijven. Het belang van de ecologische diensten wordt afzonderlijk aangegeven voor drie schalen van het bodembeheer: lokaal, regionaal en landelijk.

<input type="checkbox"/> * schaal 1 (natuurbeheerder, boer, eigenaar) <input type="checkbox"/> schaal 2 (gebied, provincie, gemeente) <input type="checkbox"/> schaal 3 (landelijk, Europa) * aankruisen welke schaal van toepassing is ecologische dienst:		natuur	landbouw	overig groen
1. bodemvruchtbaarheid	a. nutriënten retentie en levering			
	b. bodemstructuur, stabiele aggregaten en profielontsluiting			
	c. ziekten en plaagwering			
2. weerstand, adaptatie en veerkracht	a. weerstand tegen stress, veerkracht en herstelvermogen			
	b. adaptatie, flexibiliteit en veranderbaarheid van het bodemgebruik			
3. buffer en reactorfunctie	a. fragmentatie en mineralisatie van organische stof			
	b. zelfreinigend vermogen, schoon grondwater			
	c. waterretentie, opnemen, vasthouden, doorlaten			
	d. klimaatfuncties (luchtfILTER, broeikasgassen, temperatuur, vocht)			
X. biodiversiteit (buitencategorie, geen ecologische dienst <i>sensu stricto</i>)				

Tabel 3. Lijst met parameters waarvan verondersteld wordt dat ze een relatie hebben met de gezondheid van de bodem.

De tabel is gebaseerd op de parameters in Bobi, aangevuld met suggesties van de deelnemers aan het RBB-project. Cursief gedrukt zijn gedeeltelijk geïntegreerde parameters. Tussen haakjes staan parameters die (nog) niet tot het standaardpakket van de Bobi behoren. Er werd één keer een parameter toegevoegd (rotatie)

Microbiologie	
1	omvang bacteriegemeenschap (aantal en/of biomassa)
2	groeisnelheid bacteriën (DNA- en eiwitsynthese)
3	potentiële C-mineralisatie
4	potentiële N-mineralisatie en/of anaerobe N mineralisatie
5	genetische diversiteit bacteriën (DNA banden, samenstelling gemeenschap; DGGE)
6	fysiologische diversiteit bacteriën (substraten, Biolog evenness, samenstelling gemeenschap)
7	<i>[verhouding bacteriën organische stof]</i>
8	<i>[verhouding basale respiratie, substraat-geïnduceerde respiratie]</i>
9	<i>omvang schimmelgemeenschap (biomassa)</i>
10	fractie actieve schimmel biomassa
11	fysiologische diversiteit schimmels (Fungilog: hill's slope, gg50; CLPP)
12	<i>verhouding bacteriebiomassa/schimmelbiomassa</i>
13	<i>[mycorrhiza schimmels]</i>
[Protozoen]	
14	<i>[omvang protozoengemeenschap (aantal en/of biomassa)]</i>
15	<i>[diversiteit protozoengemeenschap]</i>
Nematoden	
16	omvang nematodengemeenschap (aantal en/of biomassa)
17	diversiteit nematoden (soortensamenstelling, voedingsgroepen, MI, NCR)
18	<i>[plantparasitaire nematoden]</i>
Potwormen	
19	omvang potwormengemeenschap (aantal en biomassa)
20	diversiteit potwormen (soortensamenstelling)
Regenwormen	
21	omvang regenwormengemeenschap (aantal en biomassa)
22	diversiteit regenwormen (soortensamenstelling)
Micro-arthropoden	
23	omvang micro-arthropodengemeenschap (aantal en biomassa)
24	diversiteit micro-arthropoden (soortensamenstelling; voedings- en functionele groepen)
Structuur en stabiliteit bodemecosysteem	
25	<i>stabiliteit (voedselwebpyramide)</i>
26	<i>stabiliteit (allometrische relaties)</i>
27	<i>potentieel productievermogen (allometrische relaties)</i>
28	<i>biodiversiteit bodemorganismen integraal</i>
Bodemchemische en bodemfysische parameters	
29	zuurgraad (pHx)
30	totaal N
31	totaal P
32	water oplosbaar P (Pw) en / of extraheerbaar P (PAI)
33	zware metalen
34	<i>[bestrijdingsmiddelen]</i>
35	<i>[uitspoeling gehalten nutriënten in grondwater]</i>
36	<i>[uitspoeling gehalten verontreinigingen in grondwater]</i>
37	bulkdichtheid
38	indringweerstand
39	gehalte organische stof
40	[C/N ratio organische stof]
41	<i>% leefruimte (water+lucht)</i>
42	[grondwaterstand]
43	<i>[waterdoorlatendheid]</i>
[Vegetatie]	
44	<i>[doorworteling]</i>
45	<i>[diversiteit]</i>
46	<i>[primaire productie]</i>
Bedrijfskenmerken	
47	Veebezetting
48	<i>[Mest aan- en afvoer (hoeveelheid en soort)]</i>
49	<i>[Frequentie graslandvernieuwing]</i>
'Vergeten' parameters	
50	<i>[rotatie en vruchtwisseling]</i>

workshops in juni 2005 bediscussieerd, en indien nodig bevonden aangepast. De gemiddelde, eventueel herberekende, scores werden gebruikt om inzicht te krijgen in de waardering voor:

- het belang van de gezondheid van de bodem voor verschillende typen bodemgebruik,
- het belang van de gezondheid van de bodem voor de verschillende ruimtelijke schalen waarop men de bodemkwaliteit beschouwt,
- specifieke ecologische diensten.

Tijdens de drie workshops in juni 2005 was er onvoldoende tijd om alle koppelingen met een hoge standaarddeviatie te bediscussiëren. Deze verbanden kunnen eventueel in een later stadium alsnog bediscussieerd worden.

De scores van de vijf ingevulde tabellen over de koppeling van (meetbare en/of berekenbare) parameters aan de ecologische diensten werden gemiddeld en de standaarddeviatie werd berekend. Binnen de setting van het RBB-project is er geen gelegenheid geweest om scores met een grote standaarddeviatie in breed verband te bediscussiëren.

De gelegenheid voor opmerkingen over de werkwijze met verschillende panels (gebruikers en deskundigen, via een eenvoudige multi-criteria analyse op basis van de semi-kwantitatieve gegevens) werd geboden tijdens de 3^e en laatste RBB-workshop d.d. 21 september 2005 (zie Bijlage 6). De scores werden gebruikt om inzicht te krijgen in de:

- parameters die een relatief grote indicatieve betekenis hebben voor bepaalde ecologische diensten, één en ander afhankelijk van de schaal, en van het bodemgebruik,
- parameters die kunnen bijdragen aan de ontwikkeling van een indicatorset voor de waardering van de gezondheid van de bodem.

Voor de prioritering van de parameters voor de eventuele indicatorset werden beide tabellen geïntegreerd door per parameter de gemiddelde scores te vermenigvuldigen en vervolgens per parameter alle producten op te tellen tot een eindscore. Omdat er 10 ecologische diensten werden onderscheiden, op 3 schaalniveaus, is de maximale eindscore voor een parameter $5 \times 10 \times 3 = 150$. De minimale eindscore is $1 \times 10 \times 3 = 30$. Deze eindscores werden gebruikt om de parameters te rangschikken naar de veronderstelde indicatieve waarde voor de bepaling van de integrale bodemkwaliteit.

5. Een uitwerking voor een praktische amoebe

5.1 *Koppeling van ecologische diensten aan het bodemgebruik*

Ecologische diensten werden op een schaal van 1 (onbelangrijke ecologische dienst) tot 5 (zeer belangrijke ecologische dienst) gekoppeld aan het bodemgebruik, op diverse schalen van de beoordeling. 15 Betrokkenen bij het RBB-project hebben aan deze exercitie bijgedragen door het invullen van Tabel 2. Als basis is hierbij gebruikt de omschrijving van de ecologische diensten in Box 1. De resultaten van deze exercitie zijn grafisch weergegeven in Figuur 4. Alle eindscores (gemiddelden en standaarddeviaties) zijn in Bijlage 2 opgenomen.

De gemiddelde score voor alle ecologische diensten, voor alle schalen van de beoordeling, en voor alle typen bodemgebruik bedroeg 3,77. Dit is waarschijnlijk indicatief voor een positieve grondhouding bij de betrokken personen voor het belang van een gezonde bodem (inclusief de ecologische diensten van de bodem). Omdat bij dit gemiddelde de schaal niet optimaal benut wordt, is een herschaling toegepast bij de verdere verwerking van gegevens ten behoeve van de selectie van parameters (zie Aanpak).

De standaarddeviatie van een score per ecologische dienst, per type bodemgebruik, voor een bepaalde schaal vormde een aanknopingspunt om verschillen in uitgangspunten of interpretatie te benoemen en te bediscussiëren. In de eerste versie van Tabel 2 werd bijvoorbeeld ‘bodemvruchtbaarheid’ ook nog aangeduid met de term ‘onderlegger landbouw’. Deze laatste toevoeging gaf verwarring, wat zichtbaar was aan de hoge standaarddeviatie in de score. De term ‘onderlegger’ is daarom in de latere versies van Tabel 2 weggelaten. Het kan ook zijn dat een hoge standaarddeviatie indicatief is voor daadwerkelijke verschillen in opvattingen van het belang van een ecologische dienst voor het bodemgebruik. De berekening van de standaarddeviatie was niet bedoeld om te beoordelen of verschillen tussen ecologische diensten ‘statistisch’ significant zijn.

De standaarddeviatie voor de scores van de ecologische diensten op het landelijke schaalniveau is veel groter dan voor de andere schaalniveaus. Dit kan betekenen dat de ecologische diensten minder eenduidig gedefinieerd zijn op het landelijk schaalniveau, met interpretatieverschillen als resultaat, of dat de geraadpleegde groep het belang van de ecologische diensten op het landelijke schaalniveau meer verschillend beoordeelde dan op lagere schaalniveaus.

In Figuur 4A zijn de gemiddelde scores per type bodemgebruik weergegeven, voor alle schaalniveaus. De gemiddelde scores voor landbouw, natuur en overige groene functies bedroegen respectievelijk 4,27, 3,94 en 3,07. Men vindt dus een ‘gezonde’ bodem voor de functie landbouw belangrijker dan voor de andere categorieën (natuur en overige groene functies). De hoogste score voor een individuele parameter werd verkregen bij de bodemvruchtbaarheid op het lokale schaalniveau voor de functie landbouw (gemiddelde 5; standaarddeviatie 0). De laagste score werd verkregen voor bodemvruchtbaarheid op het landelijke schaalniveau bij overige groene functies (gemiddelde 1,8; standaarddeviatie 0,8).

Waterretentie (opnemen, vasthouden en doorgeven van water) was over alle typen bodemgebruik, op alle schaalniveaus gemiddeld genomen de belangrijkste ecologische dienst, met een score van 4,46. Veerkracht en veranderbaarheid van de bodem scoorden relatief laag met een gemiddelde van 3,34, voornamelijk door de lage de waardering voor de functie natuur (2,80).

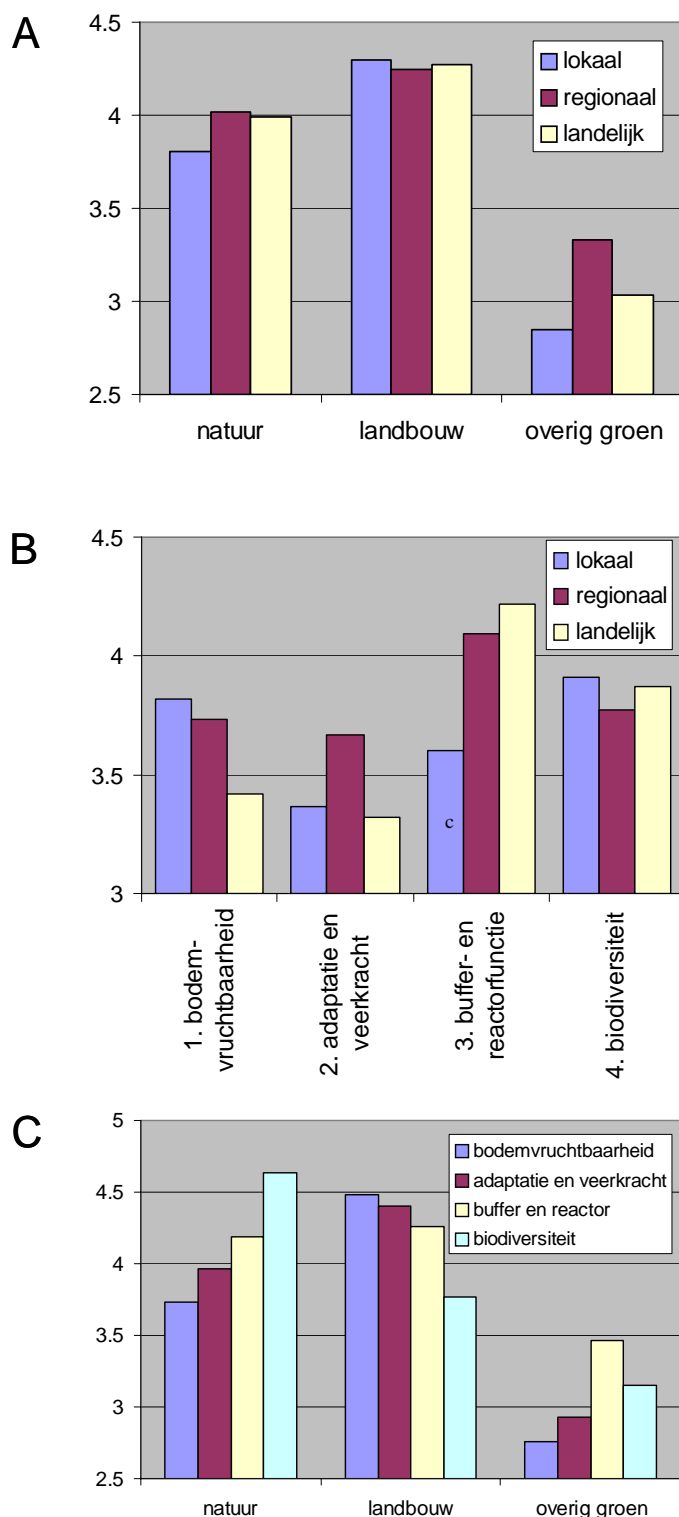
Het belang van bodemvruchtbaarheid neemt af wanneer men van de lokale schaal opklimt naar het landelijke schaalniveau (Figuur 4B). Daarentegen neemt het belang van de buffer- en reactorfunctie naar het landelijke schaalniveau toe (Figuur 4B). Onafhankelijk van het schaalniveau is bodemvruchtbaarheid de belangrijkste ecologische dienst voor de landbouw, biodiversiteit de belangrijkste ecologische dienst voor natuur, en de buffer en reactorfunctie de belangrijkste ecologische dienst voor de overige groene functies (Figuur 4C).

Deze scores en trends sluiten goed aan bij de algemene ideeën over het belang van ecologische diensten van de bodem voor verschillende vormen van bodemgebruik, op verschillende schaalniveaus. Deze exercitie was dan ook niet bedoeld om nieuwe inzichten te genereren, maar om via een proces gericht op consensus tot inzicht te komen welke ecologische diensten, in welke mate (in getal), van belang zijn voor het bodemgebruik. Dit inzicht kan vervolgens toegepast worden voor de selectie van de meetbare en/of berekenbare parameters (zie hierna). Een bijkomend aspect van dit type exercitie is dat gebruikers de mogelijkheid hebben om aan te geven welke deelaspecten van de bodemgezondheid, in termen van ecologische diensten, voor hun van belang zijn. Dit versterkt het draagvlak voor duurzaam bodembeheer. Gebruikers kunnen bijvoorbeeld de ecologische dienst ‘weerstand tegen stress en adaptatie’ buiten beschouwing laten door deze te waarderen met een 0.

5.2 Koppeling van parameters aan ecologische diensten

Bodemparameters waarvan verondersteld wordt dat ze het vermogen hebben om de bodemkwaliteit te kwantificeren (Tabel 3) werden in verband gebracht met de ecologische diensten van de bodem op een schaal van 1 (weinig indicatieve waarde) tot 5 (zeer hoge indicatieve waarde voor de ecologische dienst). Aan de bij het RBB-project betrokken deskundigen is gevraagd hieraan bij te dragen. Als basis is hierbij de omschrijving van de ecologische diensten in Box 1 gebruikt. Daarnaast moest de parate kennis over de betekenis van de parameters voor de bepaling van de bodemkwaliteit toegepast worden. Het uitgangspunt hierbij was om vooral rekening te houden met de ‘bruto’ indicatieve waarde door weinig of geen rekening te houden met de kosten voor de analyse, of de mogelijkheden voor standaardisering en routinematige analyse. Als onvoldoende parate kennis beschikbaar was, mocht de betreffende ‘cel’ in de spreadsheet leeg blijven. De gemiddelde scores per parameter en per ecologische dienst en de standaarddeviaties zijn weergegeven in de tabellen van Bijlage 3.

Een relatief klein panel van vijf deskundigen heeft de tabel op tijd ingevuld. De exercitie is dan ook vooral bedoeld om de werking van de handreiking te illustreren; het



Figuur 4. Histogrammen van de gemiddelde scores van het belang van de ecologische diensten voor het bodemgebruik, per schaalniveau.

A. Gemiddeld belang van alle ecologische diensten voor het bodemgebruik en de schaal waarop het bodemgebruik beschouwd wordt.

B. Gemiddeld belang van de ecologische diensten voor de schaal waarop het bodemgebruik beoordeeld wordt.

C. Gemiddeld belang van ecologische diensten voor het bodemgebruik

(NB: in absolute zin zijn de scores weinig verschillend door het niet optimaal benutten van de schaal tussen 1 en 5; zie bij Aanpak).

concrete resultaat is in belangrijke mate beïnvloed door de samenstelling van dit (te) kleine panel. Per ecologische dienst zijn de parameters gesorteerd op volgorde van de gemiddelde indicatieve waarde, en de eerste 5 of 6 parameters zijn weergegeven in Tabel 4. Er ontstaat een breed palet van parametersselecties dat sterk afhankelijk is van de ecologische dienst. Voor de ecologische dienst 'biodiversiteit' kregen alle groepen bodemorganismen de maximale score. Wanneer alle ecologische diensten samen genomen worden scoorde de bepaling van de kwaliteit en het gehalte van organische stof het hoogst (4,36) gevolgd door de omvang van de regenwormengemeenschap (3,84). De laagste gemiddelde scores waren weggelegd voor de uitspoeling van verontreiniging naar het grondwater (1,75) en de bepaling van de plantparasitaire nematoden (1,99).

Ook bij deze exercitie kan de standaarddeviatie in de scores gebruikt worden om aan te geven waar de waardering van de koppeling tussen een parameter en een ecologische dienst overeenkomstige resultaten opleverde, of juist verschillen van inzicht aangaf. In de tabel in Bijlage 3 is te zien dat relatief eensluidende scores werden gegeven aan de ecologische diensten 'ziekten en plaagwering' en 'adaptatie en veerkracht', en aan de parameters 'plantparasitaire nematoden' en 'gehalte organische stof'. Relatief verschillende waarderingen werden gegeven voor de ecologische diensten, waterretentie, klimaatfuncties en biodiversiteit (vooral voor wat betreft de microbiologische parameters) en voor de parameters 'potentieel productievermogen uit allometrie', de 'omvang mycorrhiza coenose' (schimmelmenggemeenschap), en de 'potentiële N-mineralisatie'. Deze exercitie is uitgevoerd met een te beperkt aantal bodemdeskundigen (5). Het valt te verwachten dat met een grotere of andere groep deskundigen de scores voor de indicatieve waarde van de parameters anders zullen uitpakken.

5.3 Koppeling van parameters aan het bodemgebruik

Met behulp van de waardering van het belang van de ecologische diensten voor het bodemgebruik, en de waardering van de indicatieve waarde van meetbare en/of berekenbare parameters voor de verschillende ecologische diensten, kan een ingeperkte indicatorset worden geselecteerd. De vraag hoeveel parameters nodig zijn om de 'bodemgezondheid' te bepalen is helaas niet eenduidig te beantwoorden. De gewenste nauwkeurigheid, de verschillen tussen het bodemecosysteem op de locatie en de referentie, spelen bijvoorbeeld een belangrijke rol. In de meeste gevallen zal één parameter onvoldoende zijn om de (integrale) bodemkwaliteit vast te stellen, omdat dat relatief weinig zegt over de bodem als systeem. Idealiter bestaat een complete set (cf *minimal data set*; Sparling et al. 2004) uit elkaar aanvullende parameters die juist voldoende 'systeeminformatie'³ bevat om de

³ Met systeeminformatie wordt hier bedoeld de gecombineerde analyse van verschillende gegevens teneinde de bodem als een systeem te kunnen beschouwen. Dit betekent strikt genomen dat de bodemkwaliteit niet met slechts één enkele parameter gekwantificeerd kan worden (bijvoorbeeld met behulp van het gehalte organische stof), maar dat alleen een (geïntegreerde) systeembenadering kan volstaan.

bodemkwaliteit te kwantificeren, en juist voldoende gevoelig is om relevante verschillen in beeld te krijgen. Een overcomplete set indicatoren is interessant voor de wetenschappelijke discussie, maar stuit wel op financiële en praktische bezwaren omdat er een onnodig zwaar instrumentarium wordt ingezet.

In de Beleidsbrief Bodem (VROM 2003) en door anderen (bijvoorbeeld Mulier et al. 2005, Nortcliff 2002, TCB 2003, Lancaster 2000) wordt aangegeven dat zowel chemische, fysische en biologische parameters nodig zijn om de bodemkwaliteit te beoordelen en de bodem als een dynamisch systeem te beschouwen. Deze zouden ook nog aangevuld kunnen worden met andere parameters, bijvoorbeeld met betrekking tot het bodembeheer (bijvoorbeeld veedichtheid). Tot op heden zijn de verschillende typen parameters niet apart beschouwd, maar als één complete set. Het is mogelijk om uit deze complete set selecties te maken met slechts chemische, fysische, biologische of overige parameters.

Op basis van de scores voor de parameters van de 5 deskundigen is het mogelijk een volgorde aan te brengen van parameters met een relatief hoge en lage indicatieve waarde. Het bodemgebruik (nu of in de toekomst) is hierbij het uitgangspunt, waaraan ecologische diensten gekoppeld worden. Uit het belang van de ecologische diensten volgt dan een set parameters, gesorteerd op volgorde van indicatieve waarde voor de ‘integrale’ bodemgezondheid. Voor het belang van de verschillende schalen van het bodembeheer kunnen aparte prioriteringen gemaakt worden.

In Tabel 5 zijn de parameters met de hoogste indicatieve waarde weergegeven voor de drie typen bodemgebruik, waarbij alle drie schalen van het bodembeheer gelijk gewogen zijn. Het is opvallend dat het gehalte (en de kwaliteit) van het organische stof de parameter is met de hoogste indicatieve waarde, ongeacht het bodemgebruik. ‘Waterdoorlatendheid’ (geen parameter uit het LMB) is een parameter die indicatief is voor overige groene functies, maar relatief weinig indicatieve waarde heeft gekregen voor de functie landbouw.

Het is opvallend dat de verschillen tussen de parameters met de hoogste indicatieve waarde voor de verschillende vormen van bodemgebruik niet groot zijn. De parameters met de hoogste indicatieve waarde hebben dit te danken aan het feit dat ze indicatief zijn voor meerdere ecologische diensten tegelijk. Organische stof is bijvoorbeeld indicatief voor ‘nutriënten retentie en levering’, ‘bodemstructuur’ en ‘klimaatfuncties’.

Tabel 4. Eerste 5 of 6 parameters met de hoogste gemiddelde score voor indicatieve waarde per ecologische dienst.

		top 5 of 6 parameters met hoge scores
1. bodemvruchtbaarheid	a. nutriënten retentie en levering	<ol style="list-style-type: none"> 1. omvang bacteriegemeenschap 2. gehalte organische stof 3. totaal N 4. potentiële N mineralisatie en anaërobe N mineralisatie 5. C/N ratio organische stof
	b. bodemstructuur, stabiele aggregaten en profielontsluiting	<ol style="list-style-type: none"> 1. omvang regenwormengemeenschap 2. gehalte organische stof 3. frequentie graslandvernieuwing / ploegen 4. indringweerstand 5. percentage leefruimte 6. rotatie en vruchtwisseling
	c. ziekten en plaagwering	<ol style="list-style-type: none"> 1. plantparasitaire nematoden 2. biodiversiteit bodemorganismen integraal 3. diversiteit vegetatie 4. rotatie en vruchtwisseling 5. mycorrhiza schimmels 6. genetische diversiteit bacteriën
2. weerstand tegen stress en adaptatie	a. weerstand tegen stress, flexibiliteit en herstelvermogen	<ol style="list-style-type: none"> 1. biodiversiteit bodemorganismen integraal 2. stabiliteit (voedselweb piramide) 3. stabiliteit (allometrie) 4. genetische diversiteit bacteriegemeenschap 5. functionele diversiteit bacteriegemeenschap 6. rotatie en vruchtwisseling
	b. adaptatie, veerkracht, en veranderbaarheid van het bodemgebruik	<ol style="list-style-type: none"> 1. biodiversiteit bodemorganismen integraal 2. stabiliteit (voedselweb piramide) 3. stabiliteit (allometrie) 4. wateroplosbaar / extraheerbaar P 5. genetische diversiteit bacteriegemeenschap 6. mest aan cq afvoer, type
3. buffer en reactorfunctie	a. fragmentatie en mineralisatie van organische stof	<ol style="list-style-type: none"> 1. potentiële C mineralisatie 2. omvang regenwormengemeenschap 3. zuurgraad 4. C/N ratio organische stof 5. omvang bacteriegemeenschap
	b. zelfreinigend vermogen, schoon grondwater	<ol style="list-style-type: none"> 1. uitspoeling nutriënten naar grondwater 2. uitspoeling verontreiniging naar grondwater 3. omvang bacteriegemeenschap 4. potentiële C mineralisatie 5. genetische diversiteit bacteriegemeenschap 6. fysiologische diversiteit bacteriegemeenschap
	c. waterretentie, opnemen, vasthouden, doorlaten	<ol style="list-style-type: none"> 1. waterdoorlatendheid 2. omvang regenwormengemeenschap 3. bulkdichtheid 4. percentage leefruimte 5. doorworteling vegetatie
	d. klimaatfuncties (luchtfilter, broeikasgassen, temperatuur, vocht)	<ol style="list-style-type: none"> 1. gehalte organische stof 2. potentiële C mineralisatie 3. waterdoorlatendheid 4. verhouding bacteriën / organische stof 5. bulkdichtheid
X. biodiversiteit (buitencategorie, geen gebruiksfunctie <i>sensu stricto</i>)		<ol style="list-style-type: none"> 1. biodiversiteit bodemorganismen integraal <ol style="list-style-type: none"> a. bacteriën (genetisch en fysiologisch) b. schimmels (fysiologisch) c. protozoën d. aaltjes e. potwormen f. regenwormen g. micro-arthropoden

Tabel 5. Parameters voor de kwantificering van het bodemecosysteem, op volgorde van geschatte indicatieve waarde voor drie typen bodemgebruik.

Alle schalen van het bodemgebruik zijn met een gelijk gewicht in beschouwing genomen. De eerste 20 parameters voor het bodemgebruik landbouw zijn op volgorde geplaatst, volgens de scores van de parameters.

Parameter:	volgorde parameters (alle ecologische diensten)		
	landbouw	natuur	overig groen
gehalte organische stof	1	1	1
omvang schimmelmenggemeenschap (biomassa)	2	3	3
omvang regenwormengemeenschap (aantal en biomassa)	3	2	2
biodiversiteit bodemorganismen integraal	4	4	5
omvang bacteriemenggemeenschap (aantal en/of biomassa)	5	5	6
verhouding bacteriebiomassa/schimmelbiomassa	6	7	8
[C/N ratio organische stof]	7	8	10
fysiologische diversiteit bacteriën (Biolog: slope, gg50, samenstelling gemeenschap; CLPP)	8	9	11
[waterdoorlatendheid]	9	6	4
genetische diversiteit bacteriën (aantal DNA banden, samenstelling gemeenschap; DGGE)	10	10	9
Mest aan- en afvoer (hoeveelheid en soort)	11	11	12
fractie actieve schimmel biomassa	12	13	14
[doorworteling]	13	12	7
stabiliteit (allometrische relaties)	14	15	19
zuurgraad (pHx)	15	17	22
Frequentie graslandvernieuwing	16	16	20
stabiliteit (voedselwebpyramide)	17	25	28
[mycorrhiza schimmels]	18	19	21
[verhouding bacteriën organische stof]	19	18	18
rotatie en vruchtwisseling	20	30	31

6. Discussie

6.1 *Het RBB-project als brug tussen kennis, beleid en praktisch bodembeheer*

Het RBB-project is uitgevoerd als uitvloeisel van de aangekondigde veranderingen in het bodembeleid (VROM 2003), en de ondersteunende activiteiten daarbij. Het project had als doel om de *state of the art* van de wetenschappelijke kennis van de bodem beschikbaar te maken voor het nieuwe bodembeleid en praktijktoepassingen bij het bodembeheer, specifiek gericht op het duurzamer maken van het bodemgebruik. In concrete bewoordingen zijn de resultaten: 1. referenties voor twee vormen van duurzaam bodemgebruik op basis van chemische, fysische en biologische parameters, en 2. een handreiking voor de samenstelling van een instrument waarmee in de praktijk de gezondheid van de bodem bepaald kan worden. Eind 2005 is het project afgerond, en zijn de resultaten ter advies aan de TCB voorgelegd en ter goedkeuring aan de Stuurgroep Bodem (StuBo) aangeboden. Het eindresultaat bestaat uit 2 delen, een door VROM opgesteld rapport over het RBB-project waarin tevens de beleidscontext uiteen wordt gezet (VROM 2005), en dit RIVM-rapport met een uiteenzetting van de onderliggende werkwijze.

Vanwege de beperkte middelen en tijd van het RBB-project kunnen vanuit wetenschappelijk oogpunt kanttekeningen bij de resultaten worden gezet. Tijdens het project is een aantal keuzes gemaakt om tot de gewenste resultaten te komen, die wetenschappelijk niet altijd te verdedigen zijn, maar noodgedwongen gemaakt moesten worden binnen de mogelijkheden van het RBB-project. De cruciale aspecten hierbij waren de drie panels met gebruikers, deskundigen en wetenschappers, en de basisinformatie uit de Bobi-database van 15 oktober 2005. De panels werden geacht om subjectieve keuzes te maken voor de selectie van de 'duurzame' locaties, en voor de afleiding van een praktisch instrumentarium, in lijn met de voorstellen van Van de Leemkule (2001) en de TCB (2003). De Bobi-database heeft beperkingen voor wat betreft de kwaliteit, de compleetheid, en het soort informatie wat er in opgeslagen is. Het spreekt voor zich dat deze elementen in sterke mate het huidige voorstel voor de duurzame referenties van het RBB-project, en de selectie van de parameters voor het praktijkinstrument, bepaald hebben.

De mogelijkheden om alle beschikbare informatie uit de Bobi-database te verwerken tot een concreet eindresultaat waren beperkt door tijd en menskracht. De Bobi-database bevat momenteel grofweg 800 potentiële gegevens per locatie, 50000 gevulde records (exclusief taxa die niet zijn aangetroffen), afkomstig van ongeveer 540 bemonsterde locaties, met een uiteenlopende kwaliteit en compleetheid (persoonlijke mededeling J. Bogte). De keuze is gemaakt om deze informatie voorlopig niet te gebruiken voor de selectie van de parameters, omdat dit een enorme inspanning zou vergen, en er wetenschappelijk gezien haken en ogen aan een dergelijke evaluatie zitten (zie ook Bijlage 1).

Het resultaat van het RBB-project in termen van een systematiek voor het opstellen van duurzame referenties, en de wijze van selecteren van parameters met een hoge

indicatieve waarde voor de bepaling van de gezondheid van de bodem, is naar de mening van de auteurs robuust en generiek. Met andere woorden, de gevolgde werkwijze heeft als perspectief dat er: 1) altijd een duurzame referentie geformuleerd kan worden. Hierbij is duurzaamheid dus op een pragmatische wijze ingevuld als de locatie of locaties waar op basis van kennis en kunde verondersteld wordt dat de bodem relatief gezond is. En 2) er een handvat ligt waarmee altijd parameters geselecteerd kunnen worden met een relatief hoge indicatieve waarde. Voor een robuust en generiek raamwerk voor duurzaam bodemgebruik is het essentieel dat de systematiek altijd tot een resultaat leidt. Er zullen echter gevallen zijn waarbij de nauwkeurigheid in de bepaling van de bodemkwaliteit vanuit wetenschappelijk oogpunt te wensen overlaat. Het is daarom van belang om deze systematiek met verstand te gebruiken, en voorlopig nog niet routinematig uit te voeren.

De referenties van het RBB-project, en de parametersselectie voor de praktijk-amoebe moeten niet worden gezien als de definitieve ('in beton gegoten') instrumenten voor het raamwerk duurzaam bodemgebruik. Nieuwe kennis, nieuwe gegevens, alternatieve en subjectieve keuzes, andere accenten, en locatiespecifieke afwegingen kunnen en zullen de referentie en de selectie van parameters beïnvloeden. Pilot-projecten vormen een geschikt platform om dit te demonstreren (zie Bijlage 6).

6.2 *Bodemecosysteemyperingen inclusief de duurzame referentie*

Het totaalbeeld

Twee typeringen van bodemecosystemen werden beschreven, op basis van gegevens uit de bodembioïologische en abiotische monitoring in het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB) en daarbuiten, namelijk voor melkveehouderij op zandgrond, en voor halfnatuurlijke graslanden op zandgrond. De typeringen bestaan uit waarden voor parameters waarvan de verwachting is dat ze relevant zijn voor de kwantificering van de gezondheid van de bodem, ruwweg te verdelen in chemische, fysische, biologische en overige parameters. Behalve de gemiddelden, en de 5% en 95% percentielen, is ook een 'duurzaam niveau' afgeleid uit de set met gegevens. Dit niveau werd bepaald op basis van speciaal geselecteerde locaties waarbij de veronderstelling was dat op die locaties de bodem gezond was, en indicatief is voor duurzaam bodemgebruik.

Het is de bedoeling dat deze typeringen gebruikt kunnen worden om te beoordelen hoe 'gezond' de bodem is. Daarbij kan het gaan om een duurzamer bodemgebruik bij intensieve melkveehouderijbedrijven in Nederland, maar ook om de verbreding en verandering van bodemgebruik, bijvoorbeeld van grasland met een productiedoelstelling naar grasland met een natuurdoelstelling, of een combinatie van functies (productie en natuur).

Breure et al. (2005) bediscussieren de verschillende opties voor ecologische classificatie en beoordeling van bodems. De onderliggende kennisbasis dient bij voorkeur te worden opgebouwd via robuuste monitoring, waarbij op een gestandaardiseerde en gestructureerde wijze gegevens verzameld worden. Zowel de duurzame referenties, als de 'normaal' ranges dienen uit deze kennisbasis afgeleid te worden. Hoewel de monitoring in

het LMB en daarbuiten aan deze voorwaarden voldoet, is de wijze waarop de bemonstering plaatsvindt niet optimaal voor de afleiding van referenties voor een praktische toepassing. Het lokale bodembeheer vindt plaats op het niveau van percelen of terreinen. De bemonstering in het LMB vindt plaats op het niveau van bedrijven, waarbij mengmonsters van verschillende percelen worden gemaakt. Hierdoor is de kans groot dat er bij gebruik van de gegevens uit het LMB verlies van onderscheidend vermogen optreedt bij de praktische toepassing op het niveau waar het lokale bodembeheer plaatsvindt (percelen). In andere projecten, zoals het project BBB ('Boeren, Bedrijven, Biodiversiteit'; coördinatie door het Louis Bolk Instituut), wordt dit probleem onderzocht, en wordt gewerkt aan een instrumentarium voor beoordeling op perceelsniveau en hun effect op de gezondheid van de bodem.

De configuratie van het LMB, inclusief aanvullende locaties, is bepalend voor de in dit rapport beschreven typering en referentie. LMB-locaties werden geselecteerd op basis van een gestratificeerde steekproef voor Nederland, waarbij een minimum van 20 locaties (bedrijven) representatief geacht werd voor één combinatie van bodemtype en bodemgebruik, namelijk extensieve melkveehouderij, intensieve melkveehouderij, en intensieve melkveehouderij met een neventak, zoals varkens en kippen (Schouten et al. 2002). Ten behoeve van de monitoring met Bobi is nog een 4^e categorie ingericht met biologische melkveehouderij-bedrijven (zie Bijlage 7; Schouten et al. 2002). De halfnatuurlijke graslanden werden geselecteerd uit het Meetnet Flora en Milieu- en Natuurkwaliteit (De Knecht et al. 2003) op basis van de bodemeigenschappen, vegetatiekenmerken en de grondwaterstand (persoonlijke mededeling Ch. Mulder en T. Schouten). Qua omvang is het Bobi-bestand één van de grootste in zijn soort, maar is het toch nog beperkt om volledig representatief te zijn voor Nederland of voor een raamwerk voor lokale toepassing. Wanneer het raamwerk voor duurzaam bodemgebruik ingang zal vinden, levert dit nieuwe gegevens op die gebruikt kunnen worden ter completering van de Bobi-database.

Mulder et al. (2004) hebben reeds 2 typering afgeleid, voor melkveehouderij op zand, en voor melkveehouderij op rivierklei. De referentie, de gemiddelden, de minimale en de maximale waarden voor verschillende parameters werden gerapporteerd, zodat volgens de definitie sprake is van een bodemecosysteemypering. Ook deze typering werden gebaseerd op gegevens van de monitoring met Bobi, maar anders dan bij het RBB-project, werd bij de selectie van de locatie met de veronderstelde 'gezonde' bodem slechts gebruik gemaakt van de deskundigheid van één bodemcoloog. Met andere woorden, de selectie voor de duurzame referentie was uitsluitend gebaseerd op de stabiliteit van het voedselweb (allometrische relaties; Mulder et al. 2005a). Impliciet werd er wel met andere deskundigheid rekening gehouden door de referentie te kiezen uit de categorie van biologische melkveehouderijbedrijven op zand. De nieuwe referentie voor melkveehouderij op zand (dit rapport) is enigszins, maar niet sterk, verschillend van de referentie van Mulder et al. (2004 en 2005a). Voor melkveehouderij op (rivier)klei zal in de nabije toekomst een nieuwe typering worden gemaakt, volgens de uitgangspunten zoals die tijdens het RBB-project zijn geformuleerd.

Van der Waarde et al. (2003) hebben binnen PERISCOOP (platform voor ecologische risicobeoordeling) ook twee referenties afgeleid voor bodemkwaliteit, namelijk voor graslanden in uiterwaarden en ondiepe, slibrijke waterbodems. Deze referenties werden

opgesteld voor de beoordeling van verontreinigde (water)bodem. Zowel veldecologische gegevens als resultaten van toxiciteitstesten zijn een onderdeel van deze beoordelings-systematiek, de zogenaamde TRIADE (Van der Waarde et al. 2003, Rutgers et al. 2004, 2005).

De duurzame referentie

Een sleutel tot classificatie en beoordeling wordt gevormd door de zogenaamde duurzame referentie (Breure et al. 2005). Ten opzichte van het gemiddelde en de percentielen voor heel Nederland geeft de duurzame referentie aan hoe een gezonde bodem er uit kan zien en waar een afwijking in de bodemgezondheid bij een te beoordelen perceel of bedrijf op berust. Met een duurzame referentie is het mogelijk om hogere ambities te formuleren voor een duurzamer bodembeheer. De duurzame referentie is gebaseerd op gemeten niveaus voor de verschillende parameters op één of meer bestaande locaties met een veronderstelde 'gezonde' bodem. Deze locaties werden zorgvuldig geselecteerd met de hulp van verschillende deskundigheid, binnen de mogelijkheden van het RBB-project voor wat betreft tijdigheid en mogelijkheden voor analyse van de op dat moment beschikbare gegevens. Kennis over het bodemecosysteem (stabiliteit van het voedselweb, en andere eigenschappen), het bodembeheer (maaien, scheuren, bemesten, veedichtheid, productiecapaciteit, etc.), en de vegetatie (bij half-natuurlijke graslanden) werden daarbij ingezet. De duurzame referentie is cruciaal voor de toepassing van de bodemecosysteemtyperingen. De voorstellen in dit rapport moeten daarom beschouwd worden binnen de context van het RBB-project. Nieuwe gegevens en aanvullende deskundigheid kunnen en zullen een toekomstige selectie van locaties met een 'gezonde' bodem en de referentiewaarden beïnvloeden.

Een selectie van locaties met de veronderstelde 'gezonde' bodem is ook mogelijk met de methode van de kwalitatieve voedselwebanalyse (Smeding et al. 2005). Door het relateren van de verandering in voedselweb structuren en verloop in bedrijfsintensiteit (veedichtheid, rotatie, kan deze methode helpen bij het identificeren van locaties met duurzame bodemkwaliteit. De Ruiter (2004) stelt voor om stabiliteit te baseren op de balans die aanwezig is in de trofische relaties in het bodemvoedselweb, waarvoor gegevens nodig zijn over de materiaal voorraden, stromen, energiebudgetten, nutriënten, en groei en afbraaksnelheden. De laatste benadering is zeer compleet, maar eist een relatieve intensieve meet- en rekeninspanning om alle benodigde gegevens te verkrijgen. Deze benadering is met succes toegepast op de analyse van de stabiliteit in het bodemvoedselweb op de Lovinkhoeve, een proefboerderij bij Marknesse in de Noord-Oostpolder (De Ruiter et al. 1993).

Het RBB-project stelde eisen voor wat betreft de termijn waarop de eerste duurzame referenties opgeleverd moesten worden. Hierdoor waren de mogelijkheden voor het betrekken van deskundigen bij de selectie van locaties met een gezonde bodem beperkt. Slechts 2 deskundigen werden geraadpleegd voor beide categorieën melkveehouderij en halfnatuurlijk grasland op zand. Meer en andere deskundigheid in combinatie met geavanceerde selectiemethoden op basis van multivariate analyse (cf. Didden 2003, Van der Waarde et al. 2002) zal mogelijk tot andere waarden van de parameters voor de duurzame referentie leiden. Het huidige voorstel voor de duurzame referentie moet dan ook worden beschouwd binnen de context en de mogelijkheden van het RBB project. Boeren zouden in

theorie ook kennis kunnen bijdragen voor de selectie van locatie met een ‘gezonde’ bodem, maar kennisoverdracht over bodemkwaliteit door boeren is nog onvoldoende geformaliseerd voor toepassing ten behoeve van een raamwerk voor duurzaam bodemgebruik.

De typeringen van bodemecosystemen zijn gebaseerd op de situatie bij bestaande locaties. De referentie bestaat uit een complete beschrijving van het bodemecosysteem, met alle parameters ‘die er toe doen’. Dit doet recht aan het feit dat alleen met een systeembenadering de complexiteit van het bodemecosysteem beschouwd kan worden, waarbij vele parameters geïntegreerd zijn. Het beschouwen van één enkelvoudige parameter voldoet dus niet. Het nadeel is wel dat het systeem de eigen grenzen bepaalt, met andere woorden de ‘meest gezonde’ bodem is de referentie en bepaalt de grens, ongeacht of deze bodem wel aan alle denkbare eisen van een ‘gezonde’ bodem voldoet. De voorlopige aanname is dat de ‘bodemgezondheid’ op diverse plaatsen in Nederland voldoende uiteenloopt om een bruikbaar systeem te ontwikkelen, met de meest gezonde bodem als richtinggevend concept. Dit uitgangspunt wordt ook toegepast bij bijvoorbeeld de beoordeling van aquatische systemen (RIVPACS en afgeleide versies; Wright 2000).

Een andere methode, niet door ons toegepast, is gebaseerd op de evaluatie van gegevens per individuele parameter. Sparling et al. (2003) stellen voor om referenties voor het gehalte organische stof te baseren op gegevens uit een grote database, toepassing van modellen, en op *expert judgement*. Voor een complete bodemecosysteemypering dient een dergelijk intensieve exercitie voor elke parameter (chemisch, fysisch, biologisch en overig) apart uitgevoerd te worden. Het nadeel van een dergelijke benadering is dat het duurzame niveau van alle parameters apart, geen potentieel bestaande bodem schetst, en daarom onrealistisch is. Een exercitie per parameter voldoet niet aan de eis van een systeembenadering. Het voordeel zou kunnen zijn dat een relatief eenvoudig beoordelings-systeem opgezet kan worden met een beperkt aantal, van te voren vastgelegde parameters.

6.3 Selectie van parameters voor een praktisch indicatorsysteem

Ranking van de verschillende parameters

In het RBB-project werd een eenvoudige handreiking ontwikkeld om uit de complete lijst met alle parameters die met de bodemgezondheid te maken hebben (de zogenaamde totale bodemecosysteemypering) een selectie te maken van parameters met een relatief hoge indicatieve waarde. Deze selectie is afhankelijk van het bodemgebruik, de schaal waarop men de bodem wenst te beoordelen, en de geschatte indicatieve waarde van de parameters voor de ecologische diensten van de bodem. Als eerste handreiking werd een relatief simpel systeem voorgesteld, met een beperkt aantal bodemgebruiksvormen (met drie hoofdcategorieën en zes subcategorieën), een beperkt aantal ruimtelijke schalen voor de beoordeling (drie), en een beperkt aantal ecologische diensten van de bodem (vier hoofdcategorieën, inclusief subcategorieën 10). Via een eenvoudige multi-criteria-analyse kunnen in twee stappen parameters geselecteerd worden met een hoge indicatieve waarde. In de eerste stap worden ecologische diensten semi-kwantitatief aan het bodemgebruik gekoppeld (voor één of

meerdere schalen van de beoordeling). In de tweede stap worden meetbare en/of berekenbare indicatoren aan de ecologische diensten gekoppeld. Bij het RBB-project was de opdracht om de koppeling semi-kwantitatief te maken van 1 tot en met 5 (weinig relevant, tot zeer relevant). In een pilot werd aangetoond dat een dergelijke exercitie behulpzaam kan zijn bij de selectie van parameters voor een praktisch indicatorsysteem, door: 1) aan te geven bij welke parameters, en ecologische diensten de mening tussen diverse deskundigen en betrokkenen sterk verschilt voor wat betreft het relatieve belang van de bodemgezondheid, en 2) vice versa waar relatief veel overeenstemming over bestaat. Dergelijk inzicht kan gebruikt worden voor discussies die het doel hebben om consensus te bereiken over het instrumentarium. Tijdens de workshops in juni 2005 bleek dat bodemvruchtbaarheid door sommigen sterk geassocieerd werd met landbouw, maar niet met natuur: men denkt hierbij dan alleen aan nutriëntenrijkdom. Anderzijds is bodemvruchtbaarheid van belang voor de ontwikkeling van de vegetatie bij natuurontwikkeling, maar dan vooral de aspecten van schraalheid. Dit verschil kwam duidelijk aan het licht, en werd vervolgens bediscussieerd tijdens de workshops in juni 2005 totdat overeenstemming werd bereikt. Bodemvruchtbaarheid werd breed ingekaderd waarbij aspecten van nutriëntenrijkdom en schraalheid en de bodemstructuur voor vegetatie, voor alle vormen van bodemgebruik (landbouw, natuur, en overige groene functies) aan bod kwamen.

Het gehalte organische stof bleek een parameter met een relatief hoge indicatieve waarde te zijn voor de gezondheid van de bodem, voor alle bodemgebruiken, en voor alle ruimtelijke beoordelingsschalen. Ook parameters van de schimmel-, bacterie- en regenwormengemeenschap scoorden hoog. Hierbij dient opgemerkt te worden dat het vaak lastig is de parameters op hun merites te beoordelen, omdat bijvoorbeeld bij organische stof (en de meeste andere parameters) vele opties voor kwantificering open zijn, waarbij naast het gehalte organische stof ook trends in de tijd, samenstelling en kwaliteit van de organische stof, en eventueel zelfs humusprofielen ingezet kunnen worden. De mathematische en statistische bewerking van de gegevens is eveneens van sterke invloed op de potentie van de indicatoren. De eerste opdeling in slechts 49 parameters die van belang zijn voor de bepaling van de gezondheid van de bodem was nodig om het systeem hanteerbaar te houden, maar is arbitrair en heeft dus beperkingen. De uiteindelijke uitvoering van de analyses en de berekeningen zijn in belangrijke mate bepalend voor het succes van de parameters. Eenzelfde redenering kan opgezet worden voor de opdeling tot in totaal 10 ecologische diensten (die elkaar ook nog gedeeltelijk overlappen). Bij dergelijke grove indelingen is er een groot risico dat er details verloren gaan. Men moet de geschetste aanpak dan ook beschouwen als een handreiking die de selectie kan ondersteunen, maar dat een brede (en veelzijdige) deskundigheid vereist blijft bij de uiteindelijke selectie van de parameters en bij de toepassing van het indicatorsysteem. Ook locatiespecifieke details kunnen en zullen de onderliggende keuzes voor het indicatorsysteem beïnvloeden.

Naast de eenvoudige handreiking in het RBB-project, via een eenvoudige multi-criteria analyse in twee stappen, is er een derde stap nodig om tot een uiteindelijke selectie te komen. Nielsen en Winding (2002) geven aan dat ranking van parameters subjectief is, met name de criteria voor de economie en de gevoeligheid van de parameters. Inderdaad, in deze derde stap dienen de kosten, de te verwachten gevoeligheid, de standaardisatie, en andere

praktische aspecten zoals daadwerkelijke mogelijkheden voor analyse (aantal en ligging analyse laboratoria, seizoen) te worden betrokken. Door de beperkte scope van het RBB-project is hier weinig aandacht aan gegeven.

Tijdens de laatste RBB-workshop werd gesuggereerd om geen onderscheid te maken tussen de diverse ruimtelijke schalen, omdat dit verwarring in de hand werkt. Het bezwaar is bijvoorbeeld dat de ecologische dienst 'klimaatfuncties' voor de lokale schaal geheel andere milieuaspecten behelst dan voor de landelijke schaal, en dus eigenlijk anders benoemd zou moeten worden. Het is uiteraard mogelijk om geen rekening te houden met de ruimtelijke schalen door in Tabel 2 geen onderscheid meer te maken. De verschillende ruimtelijke niveaus waren ingevoerd om verschillende belangen zichtbaar tot uitdrukking te laten komen in de keuzes voor het instrumentarium. Het bleek dat bodemvruchtbaarheid voor het lokale bodembeheer (landbouw) een belangrijke ecologische dienst was, terwijl de buffer en reactorfunctie een belangrijke dienst was voor het landelijke schaalniveau. Zonder het onderscheid in de ruimtelijke schalen is dit minder zichtbaar, en kan het leiden tot een score met een hoge standaarddeviatie, afhankelijk van de samenstelling van de gebruikersgroep die Tabel 2 invult. De TCB stelde voor om twee ruimtelijke schalen te onderscheiden, namelijk een lokale en een landelijke schaal (TCB 2003). In het RBB-project is gekozen voor drie ruimtelijke schalen (lokaal, gebied, landelijk) conform de Beleidsbrief Bodem (VROM 2003).

De praktische vraag is hoeveel parameters noodzakelijk zijn voor een bruikbaar indicatorsysteem. Dit is sterk afhankelijk van de nauwkeurigheid die nodig wordt geacht. In het algemeen kan gesteld worden dat meer parameters het beoordelingsinstrument een grotere nauwkeurigheid geven. Het is de kunst om juist voldoende parameters te selecteren waarbij de gewenste nauwkeurigheid net gehaald wordt, en waarbij het systeem nog praktisch is. Vaak is het moeilijk om vooraf aan te geven hoeveel parameters nodig zijn voor een robuust en voldoende gevoelig systeem. In die gevallen kan een zogenaamde 'getrapte (Engels: *tiered*) benadering uitkomst bieden. Hierbij wordt gestart met een beperkte meet- en rekeninspanning, en wordt de nauwkeurigheid (of de onzekerheidsreductie) geëvalueerd. Bij onvoldoende nauwkeurigheid volgt een tweede, meer intensieve meet- en rekeninspanning. Een dergelijke aanpak wordt ook toegepast bij de ecologische risicobeoordeling van bodemverontreiniging volgens de zogenaamde TRIADE (Faber et al. 2004, Rutgers et al. 2004, Rutgers en Den Besten 2005).

6.4 Biodiversiteit als ecologische dienst

Een terugkerend punt van discussie is de positie van 'biodiversiteit' in het raamwerk voor duurzaam bodemgebruik. Het RBB-project heeft hierin de lijn van de TCB gevolgd (TCB 2003). Biodiversiteit komt op twee manieren terug in het raamwerk voor duurzaam bodemgebruik, namelijk als:

1. een ecologische dienst. De bescherming van biodiversiteit is een beleidsdoelstelling, die vastgelegd is in (inter)nationale verdragen. Dit is een aanvullende eis aan het

raamwerk, bovenop de opvatting dat het ecosysteem gezien moet worden als een pure ‘nutsvoorziening’ die dóór en vóór het bodemgebruik in stand moet worden gehouden. Hierdoor ontstaat een onderscheid tussen aan de ene kant biodiversiteit en aan de andere kant de andere ecologische diensten die wel gekoppeld kunnen worden aan het bodemgebruik. Biodiversiteit moet hier dus beschouwd worden als een toekomstige bron van biologisch materiaal, genen en onbekende functies met een intrinsieke waarde, die momenteel niet benoembaar zijn, of direct gekoppeld kunnen worden aan het bodemgebruik. Dit wordt ook wel de ‘niet-functionele’ biodiversiteit genoemd (Faber 1997).

2. een parameter voor de kwantificering van de ‘bodemgezondheid’. Structurele, functionele en genetische biodiversiteit kan als parameter (indicator) gebruikt worden voor de kwantificering van ecologische diensten, zoals ‘weerstand tegen stress en adaptatie’ en ‘ziekten en plaagwering’ (en ook natuurlijk voor de ‘biodiversiteit’ als ecologische dienst). Biodiversiteit als parameter is dus geen doel op zich, maar een middel om (andere) ecologische diensten te kwantificeren.

Overigens is de in dit rapport gerapporteerde handreiking zo flexibel, dat naar behoefte rekening gehouden kan worden met de intrinsieke waarde van biodiversiteit. Als de beoordeling zich slechts dient te richten op de pure nutsvoorzieningen van de ecologische diensten voor het bodemgebruik, zal men in Tabel 2 de (buitencategorie) biodiversiteit met een nul moeten waarderen. Het resultaat zal zijn dat er geen parameters worden geselecteerd die als doel hebben om de biodiversiteit te kwantificeren. Er kunnen dan nog wel biodiversiteitparameters worden geselecteerd voor de kwantificering van de andere ecologische diensten.

6.5 Integratie, presentatie en weergave van de resultaten

Het RBB-project heeft zich geconcentreerd op twee aspecten van het raamwerk voor duurzaam bodemgebruik, namelijk 1) het opstellen van het totaalbeeld inclusief de keuze voor de duurzame referentie, en 2) een eenvoudige systematiek om parameters te selecteren met een hoge indicatieve waarde voor de gezondheid van de bodem. Buiten de scope van het RBB-project is de wijze waarop uiteindelijk de integrale beoordeling van de bodemkwaliteit dient plaats te vinden.

Eén van de manieren om de kwantificering van de bodemgezondheid vorm te geven is via de zogenaamde ‘amoebe-grafiek’ (Figuren 2 en 3). Elke parameter wordt apart in een cirkel uitgezet, ten opzichte van een referentie die op 100% wordt gesteld. Over de exacte wijze van weergave is uitgebreid gediscussieerd, en verschillende opties zijn de revue gepasseerd (zie ook Bijlage 5). Hieronder worden verschillende amoebe-grafieken, inclusief voor- en nadelen besproken:

1. In de meest oorspronkelijke vorm werden verschillen ten opzichte van de referentie in procenten berekend en uitgezet (Schouten et al. 2001; Figuur 2). Op deze wijze bevat de amoebe zowel parameters die lager scoren dan de referentie (< 100%) als

parameters die hoger scoren dan de referentie (> 100%). Het grote voordeel van deze amoebe is dat de afbeelding relatief dicht bij de gemeten en berekende parameters blijft. Er zijn twee bezwaren ingebracht tegen deze presentatiewijze: 1) een hogere score dan 100% kan ten onrechte suggereren dat het goed gesteld is met de betreffende parameter, en 2) bij meerdere (sub)locaties kunnen hoge en lage scores uitmiddelen tot ongeveer op het referentieniveau, terwijl er wel duidelijke verschillen tussen de locaties bestaan. Deze verschillen kunnen dan niet opgemerkt worden via analyse van de amoebe-grafiek.

2. Vanwege deze nadelen is voorgesteld om de absolute verschillen ten opzichte van de referentie te berekenen, dus ook voor parameters die hoger scoren. Op deze wijze is de score altijd kleiner of gelijk aan 100%. Het voordeel is dat de afwijking ten opzichte van de referentie goed zichtbaar wordt. Het nadeel is dat voor sommige parameters de logica lijkt te ontbreken, met name in die gevallen waar een laag getal een 'gezonde' bodem indiceert (bijvoorbeeld veedichtheid). Wanneer meerdere locaties worden beschouwd, worden verschillen uitvergroot, omdat natuurlijke ruis ook meewerkt in de uitdrukking van de afwijking ten opzichte van de referentie.
3. Het relatieve belang van elke parameter voor de bepaling van de gezondheid van de bodem kan via de handreiking met de koppeling berekend worden. De verkregen scores kunnen gebruikt worden om de verkregen waarden voor de parameters te wegen. Deze kunnen ook 'gewogen' worden weergegeven in de amoebe, door elke taartpunt het formaat te geven van het relatieve belang. Het is echter lastig om dit goed in de amoebe tot uiting te brengen, omdat de relatie tussen de oppervlak en de breedte van een taartpunt afhankelijk is van de waarde. Met de amoebe zelf kan dit niet goed opgelost worden. Een ander belangrijk bezwaar is volgens de auteurs dat door deze weging te veel betekenis aan de scores voor de diverse parameters wordt gehecht. De handreiking moet gezien worden als een hulpmiddel bij de selectie van parameters, en niet meer dan dat. Welke definitieve weging van de parameters van toepassing moet zijn teneinde de bodemgezondheid integraal vast te stellen is een onderwerp van verdere studie.
4. Voor de amoebe-grafiek die ingezet wordt bij de praktijktoepassing is een voorstel gedaan om naast de cirkel met de duurzame referentie (100%) ook een ander 'ankerpunt' op te nemen, namelijk een cirkel met het Nederlandse gemiddelde. Zo'n extra cirkel kan handig zijn om beter in te schatten hoe het gesteld is met de gezondheid van de bodem, namelijk ten opzichte van de duurzame referentie, en ten opzichte van de gemiddelde situatie in Nederland. Deze extra informatie kan gebruikt worden om gericht te zoeken naar maatregelen om de gezondheid van de bodem te verbeteren. Tijdens de 3^e workshop in september (zie Bijlage 6) werden echter kritische opmerkingen geplaatst bij de extra hulp­cirkel. De informatie hieruit is onbetrouwbaar wanneer het Nederlandse gemiddelde ongeveer dezelfde waarde heeft als de duurzame referentie.
5. Als het toch als nuttig wordt gezien om gegevens over het landelijke gemiddelde in de amoebe-grafiek voor een locatie op te nemen, kan er voor gekozen worden om de twee amoebe-grafieken over elkaar heen te projecteren, waarbij het landelijk

gemiddelde transparant wordt afgebeeld (zie Bijlage 5 voor een voorbeeld). Deze amoëbe-grafiek ziet er ingewikkelder uit, maar de benodigde informatie per taartpunt kan er uit afgelezen worden.

6. Een andere wens die werd geuit tijdens de 3^e RBB-workshop (Bijlage 6) is om een amoëbe te construeren waarin de ecologische diensten worden gekwantificeerd, door de informatie van de gemeten en berekende parameters te integreren. Een dergelijke amoëbe kan zeer behulpzaam zijn om de resultaten van een beoordeling te communiceren met de gebruikers van de systematiek. Immers, gebruiksdoelen zijn niet geënt op de bescherming van het bodemleven, maar wel op de door de gebruikers gedefinieerde en gewaardeerde ecologische diensten. De vraag waarom je het instrumentarium moet gebruiken wordt daarmee automatisch beantwoord, en de acceptatie wordt dus eenvoudiger. Hoewel er geen technische problemen zijn voor een dergelijke omrekening (zie Bijlage 5 voor een voorbeeld), zijn bodemdeskundigen beducht voor de betrouwbaarheid en de betekenis van de algoritmes voor het kwantificeren van de ecologische diensten.

Op basis van de informatie uit de gemeten en berekende parameters dient de 'bodemgezondheid' op een locatie ten opzichte van de duurzame referentie te worden afgelezen. De wijze waarop de informatie van de verschillende (chemische, fysische, biologische en overige) parameters moet worden toegepast, was geen onderwerp van discussie voor het RBB-project. Dit is wel van belang voor de daadwerkelijke toepassing van gegevens over de bodemkwaliteit. De opties zijn legio en variëren van een simpele berekening van een index, zoals bijvoorbeeld de bodemkwaliteitsindex (BKI; Schouten et al. 2000, 2002), tot een uitgebreide multiple regressie, of multivariate analyse, inclusief statistische evaluaties (Van der Waarde et al. 2002, Didden 2003, Mulder et al. 2003, 2005b, 2005c). De betekenis van de verschillende opties moet tijdens pilots voor toepassing getest worden.

7. Aanbevelingen

7.1 Implementatie

Het RBB-project markeert het begin van een concrete uitwerking van de adviezen van de TCB (2003). Het resultaat kan beschouwd worden als een deel van een raamwerk op hoofdlijnen om de gezondheid van de bodem te beoordelen. De duurzaamheid van het bodemgebruik kan vervolgens in beeld worden gebracht, evenals het effect van maatregelen om de duurzaamheid te verbeteren. Een belangrijk aspect van het raamwerk is dat het bodemgebruik en de bodemgezondheid centraal staan, los van het bodembeheer, beleid op specifieke stressfactoren (V-thema's) en de andere aspecten van duurzaamheid, zoals economische en maatschappelijk factoren. Het raamwerk voorziet in een handreiking om de 'bodemgezondheid' integraal vast te stellen op basis van de zogenaamde 'ecologische diensten' van de bodem. De gezondheid van de bodem kan worden vastgesteld door een integrale benadering met chemische, fysische en biologische parameters, passend in het voorgenomen bodembeleid (VROM 2003). Een nu nog ontbrekend onderdeel in het raamwerk zijn voorstellen voor maatregelen en de te verwachten invloed van deze maatregelen op de 'bodemgezondheid', bijvoorbeeld maatregelen die zich specifiek richten op de vermindering van milieustress (verdroging, verzuring, verontreiniging, verstoring, vermessing, etc.).

Een aanbeveling die tijdens de RBB-workshops werd gedaan is het uitvoeren van een of meer pilots teneinde het raamwerk in de praktijk uit te testen. Het raamwerk is onder meer op verzoek van het Interprovinciaal Overleg (IPO) globaal van opzet gebleven, en legt vast hoe op hoofdlijnen de systematiek met de ecologische diensten, typeringen van bodemecosystemen en de duurzame referenties kan worden toegepast. Bij de toepassing in de praktijk zal het gaan om specifieke locaties, waarbij locatiespecifieke afwegingen een grote rol moeten krijgen. Hierdoor moeten afwijkingen ontstaan ten opzichte van de meer generieke afwegingen ten aanzien van de ecologische diensten die tijdens het RBB-project werden gedaan. Afwijkingen moeten gewaardeerd en aangemoedigd worden zolang ze gebaseerd worden op inhoudelijke en/of locatiespecifieke afwegingen.

Bij het toepassen van een bodemecosysteemypering en een referentie voor duurzaam bodemgebruik op een specifieke locatie of in een bepaald gebied, dient mogelijk een aantal stappen door de bij de pilot betrokken personen en instanties opnieuw te worden uitgevoerd. Het belang van de ecologische diensten voor het bodemgebruik (op lokale, regionale en landelijke schaalniveau) dient te worden vastgesteld door gebruikers en deskundigen die vertrouwd zijn met de kenmerken van de specifieke locatie (of gebied). Hiervoor kan Tabel 2 opnieuw worden gebruikt. Dit is nodig omdat de koppeling tussen het bodemgebruik en de ecologische diensten in het RBB-project op een generieke wijze tot stand is gekomen. Naar behoefte kan ook bijvoorbeeld het belang van een 'gezonde' bodem voor de landelijke schaal buiten beschouwing worden gelaten. Tijdens de RBB-workshop werd al gesteld dat er locatiespecifieke afwegingen kunnen zijn die de door de voorgestelde koppelingen tussen het

bodemgebruik en de ecologische diensten beïnvloeden of herroepen. Het is zelfs mogelijk om geheel nieuwe (unieke) ecologische diensten te benoemen, als deze onvoldoende via Tabel 2 tot hun recht komen. Als dit allemaal niet het geval is kan er gebruik worden gemaakt van de kwantitatieve gegevens van de koppelingen van de ecologische diensten aan het bodemgebruik zoals die beschreven zijn in dit rapport.

De koppeling tussen de parameters die ingezet kunnen worden om de 'bodemgezondheid' vast te stellen en de ecologische diensten dient eveneens opnieuw te worden uitgevoerd, met deskundige bodemecologen en andere deskundigen (landschapsecologen, natuurbeheerders, bodemadviseurs, etc.). In het RBB-project is deze koppeling met een relatief beperkte inspanning tot stand gekomen, via consultatie van 5 deskundige bodemecologen.

Daarnaast is een 3^e subjectieve stap nodig (die het RBB-project niet heeft gezet), namelijk door de praktische en financiële consequenties van bepaalde keuzes mee te wegen bij de selectie van de parameters. Zijn de metingen praktisch uitvoerbaar, leveren ze 'waar voor hun geld', worden ze geaccepteerd door bodemgebruikers, etc.?

Er dient een referentie voor duurzaam bodemgebruik te worden vastgesteld. Dit kan via de selectie van één van de bestaande referenties (momenteel dus 2, op korte termijn wordt dit aangevuld) of via het afleiden van een gebiedseigen of locatiespecifieke referentie op basis van de gegevens in het bestand van Bobi, of door metingen in eigen beheer uit te voeren aan andere locaties met een 'gezonde bodem' (de locatiespecifieke referentie).

Tevens dient aandacht geschonken te worden aan de punten die bij het RBB-project niet, of onvoldoende bediscussieerd zijn:

Teneinde de relatie met het bodembeheer zichtbaar te maken dient in de pilot aandacht geschonken te worden aan maatregelen waarvan verondersteld kan worden dat deze de bodemgezondheid beïnvloeden. Het raamwerk duurzaam bodemgebruik zal pas ingang kunnen vinden als duidelijk is dat er een relatie is tussen de bodemgezondheid en maatregelen die via het bodembeheer te implementeren zijn, zodat inderdaad het bodemgebruik duurzamer wordt.

Er dienen ambities te worden opgesteld voor de gezondheid van de bodem, of voor de maatregelen om de 'bodemgezondheid' te verbeteren. Omdat er nog geen ervaringsgegevens beschikbaar zijn, zullen de ambities een voorlopige status moeten krijgen. De typering van bodemecosystemen en de referenties voor duurzaam bodemgebruik zijn nog onvoldoende in de praktijk toegepast, waardoor het lastig is om de haalbaarheid van ambities voor de verbetering van de bodemgezondheid te voorspellen. Zonder de formulering van ambities is echter de relatie met het praktische bodembeheer en het bodembeleid niet goed zichtbaar, waar het raamwerk juist voor bedoeld is. De pilots vormen een ideaal forum om voorlopige ambities te formuleren. Bij een ecologische risicobeoordeling van bodemverontreiniging met afval gedempte sloten in de Krimpenerwaard is aangetoond dat het goed mogelijk is om in overleg met stakeholders vanuit de gebruiksdoelstellingen relevante onderzoeksparameters te selecteren en de resultaten te beoordelen aan de hand van gebiedseigen beoordelingscriteria (Faber et al. 2004).

Het wordt tevens aanbevolen om bij de inrichting van een pilotproject op een specifieke locatie of gebied te beginnen met een opzet die relatief eenvoudig is, met weinig

ecologische diensten, een beperkte indicatorset voor de bodemgezondheid en met beperkte doelen voor het bodembeheer of de bodemgezondheid. Een eenvoudige, maar goed te communiceren aanpak, zal de maatschappelijke acceptatie van een raamwerk voor duurzaam bodemgebruik vergemakkelijken. Communicatie met potentiële gebruikers van een raamwerk voor duurzaam bodemgebruik dient bij de pilots aandacht te krijgen.

7.2 *Aanbevelingen voor Bobi*

De kennisbasis over biologische bodemkwaliteit wordt gesteund via de monitoring in het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB) en aanvullende locaties daarbuiten. De bodemecosysteem-typeringen en de referenties voor het RBB-project zijn voor een groot deel gebaseerd op gegevens in het bestand van de Bodembiologische Indicator (Bobi). De monitoring en de Bobi-gegevens zijn niet optimaal geconfigureerd voor afleiding van referenties, maar in de korte termijn van het RBB-project zijn er geen alternatieve bronnen van gegevens, binnen of buiten Nederland, te vinden.

Voor melkveehouderij en halfnatuurlijk grasland op zandgrond zijn de eerste typeringen en referenties afgeleid. Voor deze categorieën grasland zijn relatief veel gegevens in de Bobi-database aanwezig. In totaal zijn er 15 combinaties van bodemgebruik en grondsoort benoemd waarvoor referenties afgeleid dienen te worden. Voor een aantal van deze combinaties zijn gegevens in de Bobi-database aanwezig en deze zullen in opdracht van VROM op relatief korte termijn kunnen worden opgesteld (2006-2007). Voor de categorieën die tot op heden niet gemonitord zijn en waarvan geen gegevens aanwezig zijn, zal een deel van het budget voor monitoring worden besteed, en worden de typeringen en referenties op langere termijn opgesteld (2007-2008).

Het RBB-project heeft een aantal aanbevelingen gedaan voor wat betreft relevante parameters voor de bepaling van de 'bodemgezondheid'. Voor de set met biologische parameters zullen deze aanpassingen worden doorgevoerd, indien ze haalbaar zijn voor wat betreft de stand der techniek, de praktische mogelijkheden voor analyse, de gevoeligheid, de indicatieve waarde van de parameters, de betekenis voor de continuïteit van de monitoring en de financiële consequenties. Er zijn tevens aanbevelingen gedaan voor bodemfysische en overige parameters die informatie geven over de bodemkwaliteit. Deze zullen worden bediscussieerd in het kader van de uitvoering van de abiotische metingen binnen de infrastructuur van het LMB.

Een hoofddoel van de monitoring en het LMB is om trends in de bodemkwaliteit vast te kunnen stellen. De bemonstering en de analyse zijn daarom zo ingericht dat er uitspraken mogelijk zijn voor Nederland per combinatie van bodemgebruik en grondsoort. Een ander doel is het verklaren van de bodemkwaliteit in termen die voor het bodembeleid relevant zijn, met name op landelijk schaalniveau. Tijdens een evaluerende workshop is het belang van deze monitoring voor het onderhoud en de opbouw van de kennisbasis onderkend, en is geadviseerd om de monitoring te continueren (Rutgers et al. 2002).

Dezelfde workshop gaf aan dat er behoefte is aan gegevens voor het bodembeheer op lokaal en regionaal niveau (Rutgers et al. 2002). De relatie tussen de bodemkwaliteit, het actuele bodembeheer, en de mogelijke maatregelen om de bodemkwaliteit te beïnvloeden zijn voor dit schaalniveau van belang. De typering en referenties voor duurzame bodemgebruik zijn een eerste stap om hieraan tegemoet te komen. Een tweede stap is om inzicht te krijgen in de maatregelen die de (lokale) bodembeheerder kan treffen om de 'bodemgezondheid' te beïnvloeden. Deze tweede stap zal voor een deel via aanpalende projecten onderzocht worden (onder andere via het project Bodem, Bedrijf, Biodiversiteit (coördinatie door het Louis Bolk Instituut), en het LNV-DWK onderzoeksprogramma Agrobiodiversiteit).

Wanneer de 'bodemgezondheid' bij het lokale bodembeheer meer aandacht krijgt, zal er een sterke behoefte ontstaan naar makkelijk beschikbare en betrouwbare gegevens, op verschillende technische niveaus. Voor de introductie is toegankelijke literatuur over het raamwerk voor duurzaam bodemgebruik nodig. Voor een state-of-the-art toepassing zullen rekensystemen en openbare gegevensbestanden met details van bodemecosystemen op diverse locaties nodig zijn. Voor de verbetering van de toegankelijkheid wordt momenteel de haalbaarheid onderzocht van een toegankelijke Bobi-database, zodat de gegevens over bodemecosystemen publiek toegankelijk worden. Dit systeem in oprichting heeft parallellen met de onlangs opgerichte database voor toxiciteitsgegevens (RIVM 2005).

Een ander aandachtspunt betreft de standaardisering en normalisering van de meet- en rekenmethoden die ingezet worden bij de bepaling van de gezondheid van de bodem. Een gestandaardiseerde methode wordt eerder toegepast dan een niet-gestandaardiseerde methode. Momenteel wordt in internationaal verband (ISO) gewerkt aan de erkenning van een standaardmethode voor de bepaling van de samenstelling van de nematodengemeenschap (persoonlijke mededeling J. Römbke en T. Schouten). Dit is ook van belang voor de internationale afstemming, bijvoorbeeld in het kader van de Kaderrichtlijn Bodem (in oprichting) en internationale projecten over monitoring, bodemkwaliteit en duurzaam bodemgebruik in de kaderprogramma's van de EU.

Literatuur

- Bal, D., Beije, H.M., Fellingner, M., Haveman, R., Van Opstal, A.J.F.M., Zadelhoff, F.J. (2001) Handboek natuurdoeltypen, 2^e geheel herziene druk. Rapport 2001/020, Expertise Centrum LNV, ISBN 90-75789-09-2, Wageningen.
- Bloem, J., Breure, A.M. (2003) Microbial indicators. In: B. Markert, A.M. Breure, H. Zechmeister (eds.) Bioindicators and Biomonitors, Trace Metals and other Contaminants in the Environment 9. Elsevier, pp. 259-282.
- Bloem, J., Schouten, A.J., Sørensen, S.J., Rutgers, M., Van der Werf, A., Breure, A.M. (2005) Monitoring and evaluating soil quality. In J. Bloem, A. Benedetti & D.W. Hopkins (eds.) Microbiological Methods for Assessing Soil Quality. CABI, Wallingford, UK, pp. 23-49.
- Bongers, T. (1990) The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia* 83:14-19
- Breure, A.M., Rutgers, M., Bloem, J., Brussaard, L., Didden, W., Jagers op Akkerhuis, G., Mulder, Ch., Schouten, A.J., Van Wijnen, H.J. (2003) Ecologische kwaliteit van de bodem. Rapport 607604005, RIVM, Bilthoven.
- Breure, A.M., Mulder, Ch., Römbke, J., Ruf, A. (2005) Ecological classification and assessment concepts in soil protection. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 62: 211-229.
- De Knegt, B., Van Veen, M.P., Esbroek, M.L.P. (2003) Waarde van het Landelijk Meetnet Flora - Milieu- en Natuurkwaliteit voor de bepaling van de Natuurwaarde van de Flora. Rapport 718101002, RIVM, Bilthoven.
- De Ruiter, P.C., Van Veen, J.A., Moore, J.C., Brussaard, L., Hunt, H.W. (1993) Calculation of nitrogen mineralisation in soil food webs. *Plant and Soil* 157, 263-273.
- De Ruiter, P. (2004) Chapter 7 - Balance and stability in vital soil. In: Doelman, P., Eijsackers, H.J.P., (eds.) Vital soil – function, value and properties. In: A.E. Hartemink, A.B. McBratney (series eds.), *Developments in Soil Science – Volume 29*. Elsevier, Amsterdam.
- Didden, W. (2003) Development and potential of a stereotype as a references site in ecological monitoring. *Newsletter on Enchytraeidae* 8: 33-40.
- Doelman, P., Eijsackers, H.J.P., eds. (2004) Vital soil – function, value and properties. In: A.E. Hartemink, A.B. McBratney (series eds.), *Developments in Soil Science – Volume 29*. Elsevier, Amsterdam.
- Faber, J.H. (1997) Ecologische risico's van bodemverontreiniging; Ecologische bouwstenen. Rapport TCB R07(1997), Technische Commissie Bodembescherming, Den Haag.
- Faber, J.H., Van der Pol, J.J.C., Van den Brink, N.W. (2004) Verificatieonderzoek ecologie Krimpenerwaard – eindrapport. Rapport 1016, Alterra, Wageningen.
- Groot, M.S.M., Bronswijk, J.J.B., Van Leeuwen, T.C. (2003) Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit – resultaten 1997. Rapport 714801029, RIVM, Bilthoven.

- Iepema, G., Baars, T. (2005) Afgewenteld grondgebruik op melkveebedrijven: externe hectares. Bioveem, Rapport 10, Louis Bolk Instituut, Driebergen.
- Lancaster, J. (2000) The ridiculous notion of assessing ecological health and identifying the useful concepts underneath. *Human and Ecological Risk Assessment* 6: 213-222.
- Mulder, Ch., De Zwart, D. Van Wijnen, H.J., Schouten, A.J., Breure, A.M. (2003) Observational and simulated evidence of ecological shifts within the soil nematode community of agroecosystems under conventional and organic farming. *Functional Ecology* 17: 516-525.
- Mulder, Ch., Van Wijnen, H.J., Den Hollander, H.A., Schouten, A.J., Rutgers, M., Breure, A.M. (2004) Referenties voor bodemecosystemen: evaluatie van functies en ecologische diensten. Rapport 607604006, RIVM, Bilthoven.
- Mulder, Ch., Cohen, J.E., Setälä, H., Bloem, J., Breure, A.M. (2005a) Bacterial traits, animals' body mass and numerical abundance in the detrital soil food web of Dutch agricultural grasslands. *Ecology Letters* 8: 80-90.
- Mulder, Ch., Dijkstra, J.B., Setälä, H. (2005b) Nonparasitic Nematoda provide evidence for a linear response of functionally important soil biota to increasing livestock density. *Naturwissenschaften* 92: 314-318.
- Mulder, Ch., Van Wijnen, H.J., Van Wezel, A.P. (2005c) Numerical abundance and biodiversity of below-ground taxocenes along a pH gradient across the Netherlands. *Journal of Biogeography* 32: 1775-1790.
- Mulder, Ch., Schouten, A.J., Hund-Rinke, K., Breure, A.M. (2005d) The use of nematodes in ecological soil classification and assessment concepts. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 62: 278-289.
- Mulier, A., Nevens, F., Meul, M., Hofman, G. (2005) Indicatoren voor bodemkwaliteit: ontwikkeling van een raamwerk en verkenning van de mogelijkheden voor monitoring op beleids- en bedrijfsniveau. Publicatie 16. Steunpunt Duurzame Landbouw, Gontrode, België.
- Nielsen, M.N., Winding, A. (2002) Microorganisms as indicators of soil health. Technical report 388, National Environmental Research Institute, Denmark.
- Nortcliff, S. (2002) Standardisation of soil quality attributes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 88: 161-168.
- RIVM (2005) RIVM e-toxBase. Download d.d. <datum>. RIVM, Bilthoven.
- Rutgers, M., Bloem, J., Groeneveld, K., eds. (2002) Bodemleven, bodemkwaliteit en duurzaam bodemgebruik - verslag van de workshop 3 oktober 2002. Rapport 607604004, RIVM, Bilthoven.
- Rutgers, M., Mesman, M., Otte, P. (2004) TRIADE – instrumentarium voor geïntegreerde ecotoxicologische beoordeling van bodemverontreiniging. ISBN 90-6960-111-7, RIVM, Bilthoven. 46 p.
- Rutgers, M., Den Besten, P. (2005) 9. Approach to legislation in a global context, B. The Netherlands perspective - soils and sediments. In: K.C. Thompson, K. Wadhia, A.P. Loibner (eds.) *Environmental Toxicity Testing*. Blackwell Publishing, Oxford, pp. 269-289.

- Schaminée, J.H.J., Smits, A.A.C. (2001) Halfnatuurlijke graslanden, definiëring en afbakening voor het landelijk meetnet flora (milieu en natuurkwaliteit). Alterra, Wageningen.
- Schouten, A.J., Brussaard, L., de Ruiter, P.C., Siepel, H., van Straalen, N.M. (1997) Een indicatorsysteem voor life support functies van de bodem in relatie tot biodiversiteit. Rapport 712910005, RIVM, Bilthoven.
- Schouten, A.J., Bloem, J., Breure, A.M., Didden, W.A.M., van Esbroek, M., de Ruiter, P.C., Rutgers, M., Siepel, H., Velvis, H. (2000) Pilotproject bodembioologische indicator voor life support functies van de bodem. Rapport 607604001, RIVM, Bilthoven.
- Schouten, A.J., Rutgers, M., Breure, A.M. (2001) Bobi op weg – tussentijdse evaluatie van het project bodembioologische indicator. Rapport 607604002, RIVM, Bilthoven.
- Schouten, A.J., Bloem, J., Didden, W., Jagers Op Akkerhuis, G., Keidel, H., Rutgers, M. (2002) Bodembioologische indicator 1999 – ecologische kwaliteit van graslanden op zandgrond bij drie categorieën melkveehouderijbedrijven. Rapport 607604003, RIVM, Bilthoven.
- Schouten, T., Breure, A.M., Mulder, Ch., Rutgers, M. (2004) Nematode diversity in Dutch soils, from Rio to a Biological Indicator for Soil Quality. In: R.C. Cook, D.J. Hunt (eds.) Proceedings of the Fourth International Congress of Nematology Nematology Monographs and Perspectives 2: 469-482.
- Smeding, F.W., Van Eekeren, N., Schouten, A.J. (2005) Bodemvoedselwebben op melkveebedrijven -Methode voor een kwalitatieve analyse van de voedselwebstructuur. Intern rapport 14, Bioveem, Lelystad.
- Sparling, G., Parfitt, R.L., Hewitt, A.E., Schipper, L.A. (2003) Three approaches to define desired soil organic matter contents. *Journal of Environmental Quality* 32: 760-766.
- Sparling, G.P., Schipper, L.A., Bettjeman, W., Hill, R. (2004) Soil quality monitoring in New Zealand: practical lessons from a 6 year trial. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104: 523-534.
- Tansley, A.G. (1935) The use and abuse of vegetational terms and concepts. *Ecology* 16: 284-307.
- TCB (2003) Advies duurzaam bodemgebruik op ecologische grondslag. Rapport TCB A33(2003), Technische Commissie Bodembescherming, Den Haag.
- Ten Brink, B.J.E., Hoster, S.H. (1989) Naar toetsbare ecologische doelstellingen voor het waterbeheer: de AMOEBA-benadering. *H₂O* 22: 612-618.
- Van de Leemkule, M.A. (2001) Characterizing land use related soil ecosystem health – discussion paper. Report R15, Technische Commissie Bodembescherming, Den Haag.
- Van der Waarde, J., Wagelmans, M., Knoben, R., Schouten, T., Bogte, J., De Goede, R., Bongers, T., Didden, W., Doelman, P., Keidel, H., Kerkum, F., De Jonge, J. (2002) Analyse nematodenbestand. Rapport SV-315. Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem (SKB), Gouda.
- Van der Waarde J., Wagelmans, M., Crommentuijn T., Hopman, M., De Jonge, J., Rutgers, M., eds. (2003) Periscoop – platform ecologische risicobeoordeling. Eindrapport SP-015, Stichting Kennisontwikkeling en Kennisoverdracht Bodem, Gouda.

- Van Eekeren, N., Heeres, E., Smeding, F. (2003) Leven onder de graszode - Discussiestuk over het beoordelen en beïnvloeden van bodemleven in de biologische melkveehouderij. Rapport LBI 2003-LV52, Louis Bolk Instituut, Driebergen.
- VROM (2001) Een wereld een wil: werken aan duurzaamheid. Nationaal Milieubeleidsplan 4 (NMP4), Kenmerk 14548/176, Ministerie van VROM, Den Haag.
- VROM (2003) Beleidsbrief Bodem. Kenmerk BWL/2003 096250, Ministerie van VROM, Den Haag.
- VROM (2005) Eindrapportage referenties voor de bodembioologische kwaliteit. RBB eindrapport, Ministerie van VROM, Den Haag.
- Wright, J.F. (2000) An introduction to RIVPACS. In: J.F. Wright, D.W. Sutcliffe, M.T. Furse (eds.) Assessing the biological quality of fresh waters. RIVPACS and other techniques. Freshwater Biological Association, Ambleside, UK, pp. 1-24.
- Yeates, G.W. (2003) Nematodes as soil indicators: functional and biodiversity aspects. *Biology and Fertility of Soils* 37: 199-210.

Bijlage 1. Verantwoording

Het project RBB heeft twee resultaten opgeleverd die van belang zijn voor de uitwerking van een raamwerk voor duurzaam bodemgebruik. Bij de totstandkoming van de resultaten zijn keuzes gemaakt, waarvoor hieronder verantwoording zal worden gegeven. De keuzes hebben betrekking op het RBB-project en moeten gezien worden als het begin van een proces waarin gebruikers en wetenschappers gezamenlijk aan de uitwerking van het raamwerk bijdragen. De keuzes kunnen tijdens het vervolg nog aangepast worden.

Resultaat 1, typering en duurzame referentie

Er zijn twee kwantitatieve beschrijvingen van bodemecosystemen opgesteld, op basis van gegevens uit het monitoringnetwerk van het RIVM, WUR en TNO, het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB) en gegevens van metingen op andere locaties. Voor een categorie bodemgebruik en bodemtype worden per bodemparameter de gemiddelde waarden gegeven van de in Nederland gemeten locaties, inclusief de 5% en 95% percentielen. Tevens is een niveau aangegeven in meetbare eenheden, waarvan verondersteld wordt dat ze een relatief duurzaam gebruikte bodem indiceert. Bij de totstandkoming van dit duurzame niveau speelden twee overwegingen een rol:

1. er is voor gekozen om bestaande locaties te selecteren, waarvan met relevante deskundigheid verondersteld wordt dat op die locaties de bodem relatief 'gezond' is. De relevante deskundigheid bij de categorie melkveehouderij op zand werd ingebracht door een bodemecoloog en een agrarische adviseur voor (biologische) veeteelt. De relevante deskundigheid voor halfnatuurlijk grasland op zand werd ingebracht door een bodemecoloog en een graslanddeskundige. Er is niet voor gekozen om per bodemparameter een duurzaam niveau af te leiden. De reden hiervan was:

- een dergelijke aanpak leidt slechts tot een beschrijving van een theoretisch duurzaam bodemecosysteem, met een geringe praktische betekenis voor de integrale beschouwing van de bodemkwaliteit. Het geheel van de parameters kan niet met elkaar in verband worden gebracht, het is geen systeembenadering, en de som der delen (integratie van de parameters) is onrealistisch.
- de beperkte scope van het project stond een uitgebreide evaluatie per parameter niet toe. Via een proces met diverse deskundigen dienen per parameter onderbouwde en door eindgebruikers aangedragen elementen ingebracht te worden voor de afleiding van het duurzame niveau. Sparling et al. (2003) hebben dit gedaan voor organische koolstof in de bodem van Nieuw Zeeland met behulp van meetgegevens, modellen, en expert judgement.

De inbreng van deskundigen beperkte zich in het RBB-project tot 2 personen, zowel voor de melkveehouderij als voor halfnatuurlijk grasland. De inbreng van de deskundigen is bepalend voor de afleiding van de referentie. Bij het gebruik van deze of andere (in eigen

beheer opgestelde) referenties is het van belang de herkomst van de gegevens goed te documenteren.

2. Elke parameter waarvan verondersteld wordt dat deze een relatie heeft met de bodemkwaliteit komt in principe in aanmerking voor de in dit rapport beschreven kwantitatieve beschrijving van het bodemecosysteem: de typering van het bodemecosysteem. De selectie van relevante parameters valt buiten de scope van de typering. Als kengetallen van de typering zijn in een eerste benadering de gemiddelden, de 5% en 95% percentielen en het duurzame niveau gegeven. Dit kan eventueel uitgebreid worden met andere (inclusief multi-dimensionele) kengetallen. Uit pragmatische overwegingen is begonnen met gegevens van het LMB: biologische, chemische, een beperkt aantal fysische parameters, en andersoortige parameters (bijvoorbeeld gegevens over het bodembeheer), die soms al gedeeltelijk tot somparameters zijn uitgewerkt, maar verder nog in een enkelvoudige vorm worden toegepast.

Voor het totaalbeeld van de typering is dus geen selectie gemaakt van de meest relevante parameters voor de beoordeling van de bodemkwaliteit, omdat hierbij afwegingen gemaakt moeten worden die niet in alle facetten te objectiveren vallen. Niet alle mogelijke parameters worden in het LMB gemonitord. Het is daarom op termijn noodzakelijk om de in dit rapport beschreven typering aan te vullen met gegevens die ook van belang zijn voor de bodemkwaliteit (bijvoorbeeld omvang schimmelmicrobiële gemeenschap, type meststoffen, frequentie van scheuren, waterdoorlatendheid).

Resultaat 2, selectie van parameters op basis van de ecologische diensten van de bodem

De bodemecosysteemtyperingen voor melkveehouderij en half-natuurlijk grasland op zand zijn te uitgebreid om direct te kunnen toepassen in de praktijk van bodembeoordeling, omdat het in de meeste gevallen niet mogelijk zal zijn (en ook niet nodig) om de bodem voor wat betreft alle bekende parameters te analyseren. Bovendien is de typering opgesteld op basis van parameters waarvan de gegevens voorhanden zijn. Op termijn zal aanvullende informatie beschikbaar komen, bijvoorbeeld voor parameters waar Bobi momenteel niet in voorziet (bijvoorbeeld de schimmel- en protozoëngemeenschap) of met gegevens van locaties die nog niet bemonsterd zijn.

Om tot een praktisch instrument te komen is een eenvoudige systematiek ontwikkeld om parameters met een hoge indicatieve waarde te scheiden van parameters met een lage indicatieve waarde. Hiervoor is een aanpak gebruikt die voorgesteld werd door de TCB (2003) en anderen (Van de Leemkule 2001, Mulder et al. 2003). In 2 stappen is deze benadering toegepast. Ten eerste is het bodemgebruik in verband gebracht met de zogenaamde ecologische diensten van de bodem. Een panel van betrokkenen bij bodembeheer en beleid hebben bijdragen geleverd om deze relaties te definiëren en te kwantificeren. In de tweede stap zijn de ecologische diensten gekoppeld aan de (meetbare of berekenbare) parameters van de bodem, inclusief gegevens over het bodemmanagement. De

tweede stap is uitgevoerd door diverse bodemdeskundigen. Met de resultaten was het mogelijk om het bodemgebruik te koppelen aan een beperkte set parameters met een hoge indicatieve waarde voor de bodemkwaliteit, op basis van de ecologische diensten die de bodem aan de eigenaar en de maatschappij levert. Een dergelijk set zou voorgesteld kunnen worden voor een praktische pilot, gegeven de beperkingen van het RBB-project voor wat betreft de verschillende bijdragen van gebruikers, deskundigen en de wetenschappers, en de beperkte tijd.

Er is in het RBB-project niet voor gekozen om uit het Bobi-gegevensbestand de parameters te selecteren met een sterk onderscheidend vermogen voor de diverse vormen van bodemgebruik en bodemtypen. Hier is een aantal goede redenen voor:

- Het meetnet waarin Bobi draait is niet ontwikkeld voor toepassing bij de beoordeling van de bodemkwaliteit op locaties (percelen, terreinen). De techniek van het bemonsteren is ontwikkeld voor bodemmonitoring over een grotere geografische schaal (bedrijfsniveau; 5 - 100 hectares). Bepaling van de gezondheid van de bodem op lokale schaal kan niet optimaal op basis van deze gegevens uitgevoerd worden.
- Het Bobi-gegevensbestand is niet groot genoeg om al de verschillende parameters met elkaar te vergelijken. Van bijvoorbeeld nematoden zijn ruim twee keer zoveel gegevens aanwezig als van de andere parameters. Dit verklaart voor een deel de gevoeligheid van de nematodenanalyse voor bodemkwaliteitsbeoordeling (Van der Waarde et al. 2002, Rutgers et al. 2004). Bovendien is de nauwkeurigheid en de kwaliteit van de gegevens divers (persoonlijke mededeling J. Bogte).
- Het onderscheidende vermogen van de (multidimensionale) parameters is niet eenvoudig in absolute zin te toetsen. Afhankelijk van de inspanning en de gebruikte mathematische en statische technieken kan er meer of minder onderscheidend vermogen gevonden worden. Hierdoor is de kans op de zogenaamde type 2 fout (de parameter wordt ten onrechte uitgesloten, omdat het onderscheidende vermogen niet werd aangetoond) reëel.
- Het onderscheidende vermogen blijft afhankelijk van alle andere (bodem)parameters. Sommige zijn wel bepaald (GVE's en pH), andere (nog) niet (stikstof, lutum), waardoor onderscheidend vermogen verborgen kan zijn, en ten onrechte de parameter niet voor toepassing in aanmerking zou komen.

Bijlage 2. Ecologische diensten en bodemgebruik

In onderstaande tabel zijn de gemiddelden en standaardafwijkingen weergegeven van de scores voor het belang van ecologische diensten voor het bodemgebruik. Drie typen bodemgebruik werden onderscheiden (natuur, landbouw, overige groene functies) en drie ruimtelijke schaalniveaus (lokaal, regionaal, landelijk). Aan deelnemers aan het RBB-project werd gevraagd de scoretabel (Tabel 2) in te vullen op een semi-kwantitatieve schaal van 1 (weinig belang) tot 5 (zeer relevant). De in de tabel weergegeven waarden zijn het gemiddelde van 15 waarden, afkomstig van de ingevulde tabellen door 15 deelnemers aan het RBB-project, tijdens een drietal workshops in juni 2005. De grijstint op de achtergrond geeft de standaardafwijking aan in drie klassen:

wit: relatief kleine standaarddeviatie (kleiner dan 1),

lichtgrijs: matige standaarddeviatie (tussen 1 en 1,4)

donkergrijs: relatief grote standaarddeviatie (groter dan 1,4)

		lokaal			regionaal			landelijk		
		gemiddelden + stand.dev.			gemiddelden + stand.dev.			gemiddelden + stand.dev.		
		natuur	landbouw	overig groen	natuur	landbouw	overig groen	natuur	landbouw	overig groen
1. bodemvruchtbaarheid	a. nutriënten retentie en levering	4.1	5.0	2.5	3.9	4.6	2.1	3.4	4.4	1.8
	b. bodemstructuur, stabiele aggregaten en profielontsluiting	4.2	4.8	3.1	3.8	3.9	3.4	3.4	3.8	3.0
	c. ziekten en plaagwering	3.2	4.9	2.6	3.7	4.7	3.4	3.9	4.2	2.9
2. weerstand tegen stress en adaptatie	a. weerstand stress en herstel	4.1	4.5	2.3	4.2	4.3	2.8	3.6	3.8	2.4
	b. veerkracht, veranderbaarheid	2.3	4.2	2.8	3.1	4.3	3.3	3.0	4.4	2.7
3. buffer en reactorfunctie	a. fragmentatie en mineralisatie van organische stof	3.9	4.7	2.7	3.8	3.9	3.0	3.9	4.0	2.8
	b. zelfreinigend vermogen, schoon grondwater	3.9	4.2	3.3	4.4	4.6	3.9	4.6	4.6	3.9
	c. waterretentie, opnemen, vasthouden, doorlaten	4.5	4.3	3.7	4.9	4.8	4.6	4.7	4.7	4.0
	d. klimaat (luchtfilter, broeikasgassen, temperatuur, vocht)	3.0	2.7	2.3	3.8	3.8	3.7	4.9	4.8	3.8
X. biodiversiteit (buitencategorie, geen gebruiksfunctie sensu stricto)	4.8	3.7	3.2	4.6	3.6	3.1	4.5	4.0	3.1	
gemiddelde >>>		3.8	4.3	2.9	4.0	4.3	3.3	4.0	4.3	3.0

Bijlage 3. Bodemparameters en ecologische diensten

Tabel met gemiddelde scores (uit 5 ingevulde tabellen) van de koppeling van parameters aan ecologische diensten. De schaal liep van 1 (weinig indicatieve waarde) tot 5 (grote indicatieve waarde).

Matrix voor de koppeling tussen 'ecologische diensten' (kolommen) en meetbare en/of berekenbare bodemparameters (rijen). Alle parameters die informatie leveren over duurzame bodemkwaliteit kunnen als potentiële parameter beschouwd worden (dus niet: lutumgehalte; dus wel: regenwormdichtheid, frequentie van scheuren van het grasland, bodem pH). Invulaanwijzingen: Tabel verticaal invullen (1= niet relevant, 5 zeer relevant), beginnen met toedelen van 1 en 5 teneinde maximaal van de schaal gebruik te maken. Cursief = berekende parameter. Tussen haken = (nog) niet in BoBI opgenomen. Velden leeg laten ingeval van onvoldoende kennis. Onderin (vanaf A72) aangeven welke parameters nog toegevoegd moeten worden, inclusief de waardering (van 1 tot en met 5) per ecologische dienst. Bij het invullen hoeft geen rekening gehouden te worden met de mogelijkheden met praktische aspecten van de analyse (standaardisering, kosten per analyse, kwaliteitskeurmerken, aantal analyse laboratoria,....)	1. bodemvruchtbaarheid			2. adaptatie, veerkracht, weerstand, herstelvermogen		3. buffer en reactorfunctie				X. biodiversiteit (buitencategorie, geen gebruiksfunctie sensu stricto)	
	a. nutriënten retentie en levering	b. bodemstructuur, stabiele aggregaten en profielontsluiting	c. ziekten en plaagwering	a. weerstand tegen stress, herstelvermogen	b. adaptatie en veerkracht, veranderbaarheid	a. fragmentatie en mineralisatie van organische stof	b. zelfreinigend vermogen, schoon grondwater	c. waterretentie, opnemen, vasthouden, doorlaten	d. klimaattfuncties (luchtfilter, broeikasgassen, temperatuur, vocht)		
Microbiologie											
1 omvang bacteriegemeenschap	5.0	3.8	3.6	3.0	3.0	4.8	5.0	2.4	2.6	4.0	
2 groeisnelheid bacteriën	3.6	2.0	3.0	3.8	3.4	3.6	4.2	1.6	3.0	2.3	
3 potentiële C-mineralisatie	2.8	2.8	2.3	2.8	3.5	5.0	4.8	2.5	4.5	2.5	
4 potentiële N-mineralisatie (incl anaerob)	4.4	2.6	2.0	2.8	3.5	4.3	4.3	2.5	3.5	2.5	
5 genetische diversiteit bacteriën	2.2	2.2	4.2	4.4	4.6	3.0	4.6	1.8	3.8	5.0	
6 fysiologische diversiteit bacteriën	3.2	2.0	4.0	4.2	4.4	3.3	4.6	1.8	3.5	5.0	
7 [verhouding bacteriën organische stof]	3.6	3.4	2.3	3.0	4.0	4.2	4.0	2.4	4.0	3.0	
8 [basal- respiratie /substraat-geïnduceerde-respiratie]	4.0	2.0	2.6	3.5	3.3	3.3	3.7	1.0	3.3	1.0	
9 omvang schimmelgemeenschap (biomassa)	4.2	4.2	3.6	3.4	3.4	4.6	4.6	3.4	2.8	4.0	
10 fractie actieve schimmel biomassa	4.0	2.6	3.2	3.6	4.2	4.6	4.4	2.2	3.0	3.3	
11 fysiologische diversiteit schimmels	2.2	1.6	4.0	3.6	4.0	4.2	4.2	1.4	3.0	5.0	
12 verhouding bacteriebiomassa/schimmelbiomassa	3.6	3.2	3.8	3.8	4.3	4.3	3.8	2.8	3.5	3.5	
13 [mycorrhiza schimmels]	3.6	3.6	4.2	3.8	3.8	2.8	2.6	3.2	2.4	3.7	
[Protozoën]											
14 [omvang protozoengemeenschap]	3.8	2.4	2.6	2.3	2.0	3.4	3.4	1.4	2.0	4.0	
15 [diversiteit protozoengemeenschap]	2.4	1.6	2.6	2.8	2.6	2.8	3.5	1.3	1.5	5.0	
Nematoden											
16 omvang nematodengemeenschap	3.4	1.4	2.8	2.4	2.2	2.6	2.0	1.2	1.6	3.5	
17 diversiteit nematoden	3.0	1.8	4.0	3.6	4.4	2.6	2.6	1.0	1.2	5.0	
18 [plantparasitaire nematoden]	1.0	1.0	4.8	3.6	3.2	1.0	1.0	1.0	1.0	2.3	
Potwormen											
19 omvang potwormengemeenschap	3.0	3.6	2.2	3.0	3.2	3.6	2.0	2.2	1.4	4.0	
20 diversiteit potwormen	2.4	3.0	3.2	3.2	3.6	3.2	2.6	1.0	1.2	5.0	
Regenwormen											
21 omvang regenwormengemeenschap	4.2	5.0	2.2	3.2	3.4	5.0	3.2	4.6	3.6	4.0	
22 diversiteit regenwormen	2.6	3.6	2.2	3.6	3.8	4.2	3.4	3.6	1.8	5.0	
Micro-arthropoden											
23 omvang micro-arthropodengemeenschap	2.4	2.3	2.6	2.6	3.0	3.4	2.8	1.4	1.2	3.5	
24 diversiteit micro-arthropoden	2.4	1.3	3.4	3.4	4.4	3.4	2.6	1.2	1.2	5.0	
Structuur en stabiliteit bodemecosysteem											
25 stabiliteit (voedselwebpyramide)	3.2	2.0	3.8	4.8	5.0	3.8	3.2	2.4	2.5	3.0	
26 stabiliteit (allometrische relaties)	3.0	1.8	3.8	4.8	5.0	3.6	3.4	2.6	2.3	4.3	
27 potentieel productievermogen (allometrische relaties)	3.2	2.0	3.4	4.2	4.0	3.8	3.6	2.3	2.3	2.7	
28 biodiversiteit bodemorganismen integraal	3.0	3.4	4.4	4.8	5.0	3.8	4.2	2.2	2.4	5.0	
Bodemchemische en bodemfysische parameters											
29 zuurgraad (pHx)	4.0	3.8	3.6	3.0	3.2	5.0	3.8	1.8	2.3	3.7	
30 totaal N	4.5	2.8	1.8	2.6	4.4	3.3	3.4	2.8	3.5	4.0	
31 totaal P	3.0	2.3	1.5	1.4	3.2	2.3	2.2	2.0	1.5	4.0	
32 water oplosbaar P (Pw) en / of extraheerbaar P (PAI)	3.8	1.5	1.3	1.6	4.8	3.5	3.2	1.8	1.5	3.3	
33 zware metalen	1.7	1.5	2.6	3.0	4.0	2.5	4.2	1.8	1.0	1.3	
34 [bestrijdingsmiddelen]	1.5	1.3	3.0	3.6	3.0	2.0	3.8	1.0	1.0	2.5	
35 [uitspoeling gehalten nutriënten in grondwater]	3.0	1.3	1.0	2.3	2.5	1.8	5.0	1.0	2.0	2.0	
36 [uitspoeling gehalten verontreinigen in grondwater]	1.5	1.3	1.0	1.5	2.2	1.5	5.0	1.0	1.0	1.5	
37 bulkdichtheid	3.3	4.2	2.5	2.2	3.0	3.5	3.6	4.4	4.0	1.5	
38 indringweerstand	3.0	4.3	2.5	2.2	2.6	3.3	3.8	4.2	3.8	1.0	
39 gehalte organische stof	4.6	5.0	3.8	3.6	4.4	4.5	4.2	4.2	5.0	4.3	
40 [C/N ratio organische stof]	4.4	3.6	2.8	2.4	4.2	4.8	4.0	2.3	4.0	4.0	
41 % leefruimte (water+lucht)	3.7	4.3	3.0	3.0	3.0	2.7	3.3	4.3	3.3		
42 [grondwaterstand]	2.5	2.3	2.3	2.8	3.5	3.5	3.6	4.0	4.0	4.0	
43 [waterdoorlatendheid]	2.8	4.0	2.5	2.8	3.0	4.0	3.8	5.0	4.3	3.5	
[Vegetatie]											
44 [doorworteling]	3.2	4.3	3.3	2.8	3.2	4.0	3.8	4.2	3.5	2.5	
45 [diversiteit]	2.8	3.0	4.3	3.8	4.4	3.3	2.8	2.0	2.5	4.5	
46 [primaire productie]	3.8	3.0	3.0	3.2	2.8	3.0	3.2	2.6	3.0	3.5	
Bedrijfskenmerken											
47 Veebezetting	2.5	3.5	2.7	4.0	3.8	2.5	3.3	2.7	3.0	4.5	
48 [Mest aan- en afvoer (hoeveelheid en soort)]	3.8	2.5	3.0	4.0	4.5	3.8	4.3	1.7	3.8	4.5	
49 [Frequentie graslandvernieuwing]	4.0	4.5	2.8	3.8	3.3	4.0	2.7	2.8	3.5	3.0	
"Vergeten" parameters											
50 [rotatie en vruchtwisseling]	4.0	4.3	4.3	4.3	4.0	3.3	3.0	3.0	2.3		

Bijlage 4. Koppeling parameters aan bodemgebruik

Lijst van parameters op volgorde van de scores voor landbouw. De positie van parameters voor andere vormen van bodemgebruik is ook gegeven (alle beoordelingschalen hebben een gelijk gewicht).

Parameter:	volgorde parameters (alle ecologische diensten)		
	landbouw	natuur	overig groen
gehalte organische stof	1	1	1
omvang <i>schimmelmenggemeenschap (biomassa)</i>	2	3	3
omvang regenwormengemeenschap (aantal en biomassa)	3	2	2
<i>biodiversiteit bodemorganismen integraal</i>	4	4	5
omvang bacteriegemeenschap (aantal en/of biomassa)	5	5	6
<i>verhouding bacteriebiomassa/schimmelbiomassa</i>	6	7	8
[C/N ratio organische stof]	7	8	10
fysiologische diversiteit bacteriën (Biolog: slope, gg50, samenstelling gemeenschap; CLPP)	8	9	11
[waterdoorlatendheid]	9	6	4
genetische diversiteit bacteriën (aantal DNA banden, samenstelling gemeenschap; DGGE)	10	10	9
Mest aan- en afvoer (hoeveelheid en soort)	11	11	12
fractie actieve schimmel biomassa	12	13	14
[doorworteling]	13	12	7
<i>stabiliteit (allometrische relaties)</i>	14	15	19
zuurgraad (pHx)	15	17	22
Frequentie graslandvernieuwing	16	16	20
<i>stabiliteit (voedselwebpyramide)</i>	17	25	28
[mycorrhiza schimmels]	18	19	21
[<i>verhouding bacteriën organische stof</i>]	19	18	18
rotatie en vruchtwisseling	20	30	31
diversiteit regenwormen (soortensamenstelling)	21	14	13
[diversiteit vegetatie]	22	24	27
potentiële C-mineralisatie	23	20	15
totaal N	24	23	25
fysiologische diversiteit schimmels (Fungilog: hill's slope, gg50; CLPP)	25	22	23
potentiële N-mineralisatie en/of anaerobe N mineralisatie	26	28	29
bulkdichtheid	27	27	17
[grondwaterstand]	28	21	16
Veebezetting	29	26	24
<i>potentieel productievermogen (allometrische relaties)</i>	30	32	33
<i>% leefruimte (water+lucht)</i>	31	33	30
[primaire productie]	32	29	32
indringweerstand	33	31	26
groeisnelheid bacteriën (DNA- en eiwitsynthese)	34	34	34
diversiteit nematoden (soortensamenstelling, voedingsgroepen, MI, NCR)	35	35	36
[<i>verhouding basale respiratie, substraat-geïnduceerde respiratie</i>]	36	40	40
diversiteit potwormen (soortensamenstelling)	37	37	37
omvang potwormengemeenschap (aantal en biomassa)	38	36	35
diversiteit micro-arthropoden (soortensamenstelling; voedings- en functionele groepen)	39	39	38
[omvang protozoengemeenschap (aantal en/of biomassa)]	40	38	39
water oplosbaar P (Pw) en / of extraheerbaar P (PAI)	41	42	42
[diversiteit protozoengemeenschap]	42	41	41
omvang micro-arthropodengemeenschap (aantal en biomassa)	43	43	43
zware metalen	44	46	44
totaal P	45	44	45
omvang nematodengemeenschap (aantal en/of biomassa)	46	45	48
[bestrijdingsmiddelen]	47	47	46
[uitspoeling gehalten nutriënten in grondwater]	48	48	47
[plantparasitaire nematoden]	49	49	50
[uitspoeling gehalten verontreinigen in grondwater]	50	50	49

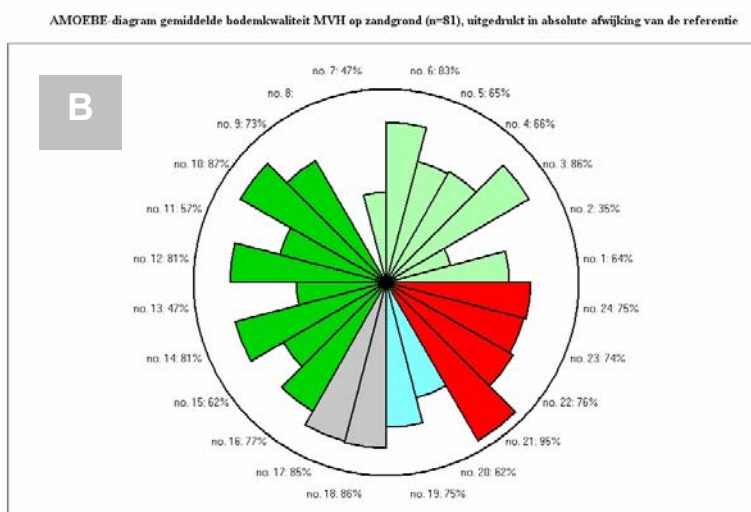
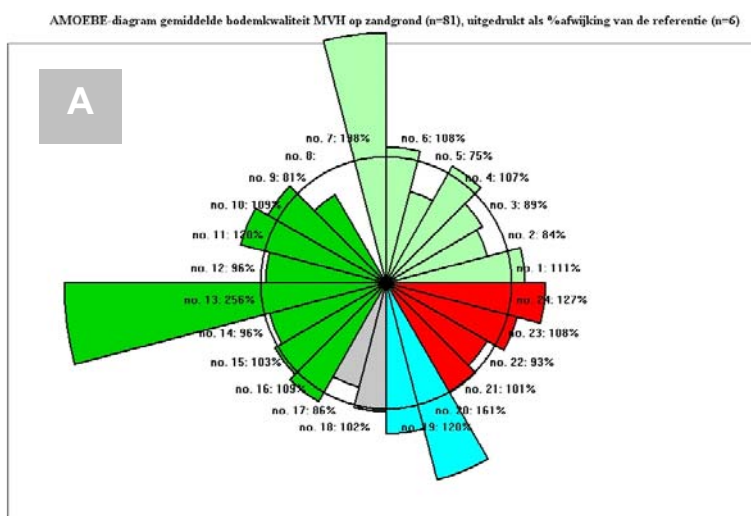
Bijlage 5. Verschillende amoebe-grafieken

Figuur 5. Twee amoebe-grafieken voor melkvee-houderij op zand.

Het gemiddelde van 81 bedrijven is uitgezet ten opzichte van de duurzame referentie (de cirkel; gemiddelde van 6 bedrijven). De kleuren en de parameters zijn identiek met Figuur 3.

A. In amoebe-grafiek A zijn alle waarden gemiddeld en rechtstreeks uitgedrukt als percentage van de waarde van de duurzame referentie (zowel hoger als lager dan 100% is mogelijk).

B. In amoebe-grafiek B is eerst een absolute schaling toegepast, zodat alle afwijkingen in absolute zin zijn gebruikt voor de berekening van de waarde gemiddelde waarde. Hierdoor worden positieve en negatieve verschillen niet uitgemiddeld en is de gemiddelde waarde altijd kleiner dan 100%. In de Aanpak, Discussie en Bijlage 7 zijn nadere gegevens over de amoebe-grafieken te vinden. Amoebe-grafiek 5A is identiek aan Figuur 3A.



Verklaring parameters:

- | | |
|------------------------------------|--|
| no. 1: Bacteriële biomassa: | no. 13: Regenwormendichtheid: |
| no. 2: Bacteriële activiteit: | no. 14: Regenwormendiversiteit: |
| no. 3: Bacteriële diversiteit: | no. 15: Micro-arthropoden dichtheid: |
| no. 4: Potentiële C-mineralisatie: | no. 16: Micro-arthropoden diversiteit: |
| no. 5: Potentiële N-mineralisatie: | no. 17: Allometric (M,N) regression: |
| no. 6: Biolog helling: | no. 18: Biodiversiteit (integraal): |
| no. 7: Biolog omzettingcapaciteit: | no. 19: Aandeel grasland: |
| no. 8: Schimmel biomassa: | no. 20: Veebezetting: |
| no. 9: Nematodendichtheid: | no. 21: Zuurgraad: |
| no. 10: Nematodendiversiteit: | no. 22: Organische stof: |
| no. 11: Potwormendichtheid: | no. 23: Wateroplosbaar P (Pw): |
| no. 12: Potwormendiversiteit: | no. 24: Extraheerbaar P (PAI): |

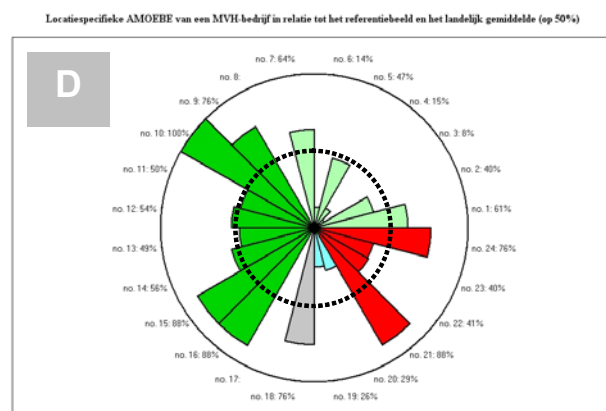
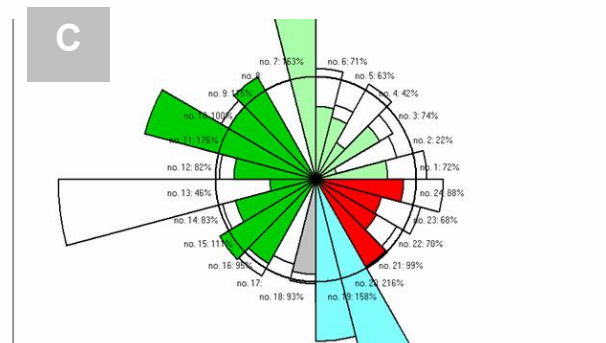
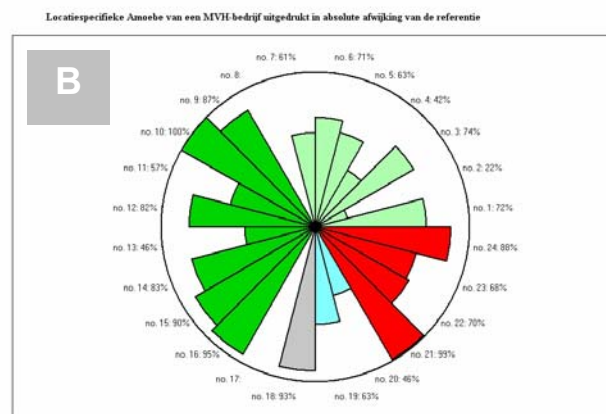
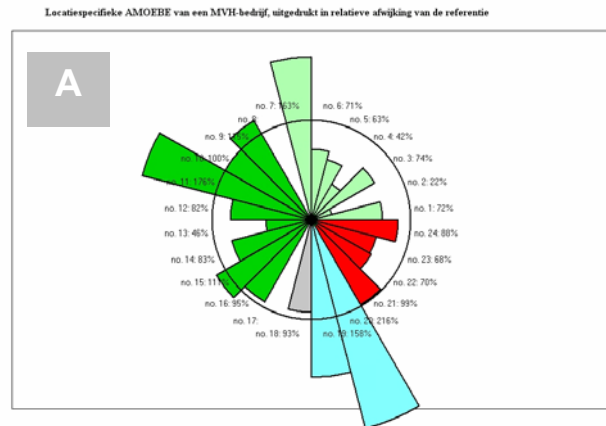
Figuur 6. Vier amoebe-grafieken voor één melkveehouderijbedrijf op zand.

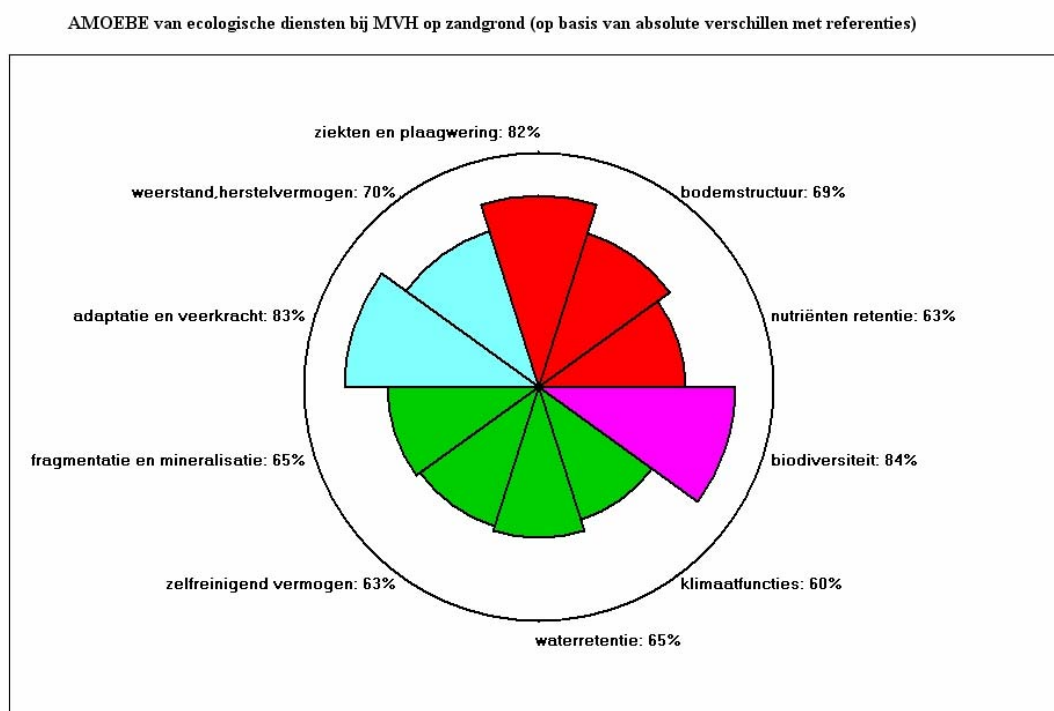
De parameterwaarden voor één bedrijf zijn uitgezet ten opzichte van de duurzame referentie voor melkveehouderij op zand (gemiddelde van 6 bedrijven). Dit is in alle gevallen de (buitenste) cirkel (100%).

A en B. Amoebe-grafieken A en B zijn op een vergelijkbare manier uitgerekend als de amoebe-grafieken in Figuur 5.

C. Deze amoebe-grafiek is gebaseerd op amoebe-grafiek A met extra informatie van het Nederlands gemiddelde voor de categorie melkveehouderij op zand. Dit is aangegeven met de ‘open’ taartpunten (zwarte lijnen) die geprojecteerd zijn over de amoebe-grafiek bij A.

D. Deze amoebe-grafiek bevat een extra hulpcirkel zodat de waarde van de parameters ten opzichte van het gemiddelde van Nederland (81 bedrijven; de hulpcirkel) ingeschat kan worden. Om deze gegevens op de cirkel te projecteren is een omrekening toegepast (zie Aanpak). De extra hulpcirkel is arbitrair op 50% gezet. De actuele waarde van een parameter op bedrijf x (de taartpunt) kan dus ten opzichte van de duurzame referentie (buitenste cirkel) en het gemiddelde in Nederland geëvalueerd worden.





Figuur 7. Amoebe-grafiek met waarden voor de ecologische diensten na integratie van de waarden van verschillende parameters.

De 10 diensten uit Tabel 2 worden hierbij onderscheiden in 4 hoofdkleuren: rood: bodemvruchtbaarheid, blauw: weerstand en adaptatie, groen: buffer en reactor functie, paars: biodiversiteit. Voor de berekening van de geïntegreerde waarde voor de ecologische diensten zijn de waarden van de 5 a 6 meest indicatieve parameters gebruikt (zie Tabel 4). In dit bedrijf scoren de aan biodiversiteit gerelateerde ecologische diensten (biodiversiteit, weerstand en adaptatie, en ziekten en plaagwering) relatief hoog (gemiddeld 83%) en de diensten die aan stofkringlopen zijn gerelateerd (nutriënten retentie, zelfreinigend vermogen, fragmentatie en mineralisatie organische stof) relatief laag (gemiddeld 64%).

Deze amoebe-grafiek (Figuur 7) en de onderliggende berekeningen moeten met de nodige omzichtigheid beschouwd worden. Voor de omrekening van de waarde van parameters tot een waarde voor een ecologische dienst is een eenvoudige schaling toegepast, waarbij elke afwijking ten opzichte van de referentie meetelt in een afwijking voor de ecologische dienst. Voor sommige parameters is dit een niet-acceptabele wijze van schalen en zou er eigenlijk een specifieke functie ontworpen moeten worden, waarmee het maximum, minimum en het optimum gedefinieerd worden. Idealiter zouden voor de relevante combinaties van parameter, ecologische dienst, bodemgebruik en ruimtelijk schaal aparte functies opgesteld moeten worden. Dit betekent (diensten \times parameters \times bodemgebruik \times schalen) maximaal $10 \times 50 \times 3 \times 3 = 4500$ specifieke functies. Deze amoebe-grafiek kan wel de relatie tussen de waarden van individuele parameters en de bodemgezondheid als concept voor duurzaamheid illustreren. Met andere woorden, het is niet het bodemleven waarop beoordeeld wordt, maar de ecologische diensten.

Bijlage 6. Verslag van de 3^e en laatste RBB-workshop

Datum 3^e Workshop RBB: woensdag 21 september 2005, vanaf 13:00 uur

Plaats: Stadskaasteel Oudaen, Oudegracht 99, Utrecht

Doelstelling van de workshop

In twee algemene en drie specifieke workshops met gebruikers en wetenschappers is een raamwerk opgesteld voor het opstellen van referenties voor biologische bodemkwaliteit, en een handreiking voor het ontwerpen van een meet- en rekeninstrument voor praktische toepassing. Deze laatste workshop van het RBB-project is gericht op de plenaire beoordeling van dit raamwerk, de uiteindelijke referenties voor duurzaam bodemgebruik, en de handreiking voor praktische toepassing.

Programma

- 13.00 – 13:15 Opening en inleiding door Lijbert Brussaard, voorzitter (WU-Bodemkwaliteit)
- 13:15 – 13:30 Welkom door Jan Roels, de plaatsvervangend directeur Bodem, Water, Landelijk Gebied (VROM)
- 13:30 – 13:50 Presentatie van projectteam (LNV, IPO en VROM): Arthur Eijs (VROM)
- 13:50 – 14:30 Het referentiesysteem en de eerste referenties: Anton Breure (RIVM)
- 14.30 – 15:15 Discussie
- 15:15 – 15:45 Theepauze
- 15:45 – 16:15 Suggesties voor implementatie en communicatie
- 16:15 – 16:30 Conclusies en afsluiting: Lijbert Brussaard

Inleiding

De derde workshop in het RBB-project was bedoeld om de eerste twee referenties voor duurzaam bodemgebruik te presenteren en te bediscussiëren. De referenties en de gevolgde stappen werden toegelicht in inleidende presentaties. De deelnemers is vervolgens gevraagd om kanttekeningen en suggesties voor verbetering aan te dragen.

Onderstaand verslag is vooral gericht op de plenaire discussie over de methodiek en de samenstelling van de eerste twee referenties voor graslanden op zand (MVH-bedrijven) en halfnatuurlijke graslanden. De inhoud van de presentaties is verwerkt in de hoofdtekst van het rapport en is hier niet apart weergegeven.

Hoofdconclusies

- In algemene zin is door de deelnemers steun uitgesproken voor de ontwikkeling van referenties voor de bodembioologische kwaliteit, voor de tot nu toe gemaakte keuzes en de gepresenteerde uitwerking.
- Wel is een groot aantal aandachtspunten en suggestie meegegeven aan het projectteam en RIVM (welke inmiddels binnen de beperkte mogelijkheden van het project zijn meegenomen in dit rapport). Het betreft ondermeer de manier waarop de beschikbare informatie in een amoebe wordt weergegeven.

- Daarnaast zullen de doorlopen stappen, waarbij bodemgebruik aan ecosysteemdiensten, en ecosysteemdiensten aan parameters worden gekoppeld, uitgebreid moeten worden toegelicht.
- Ook de onzekerheden zullen nadrukkelijk moeten worden benoemd. Er is echter voldoende voortgang gemaakt om de stap te zetten naar identificatie en uitvoering van pilot-projecten in 2006. Daarvoor zijn in de workshop suggesties gedaan:
- Aanpassing van de amoebe-grafiek:
 - zo mogelijk gewicht geven aan verschillende parameters,
 - amoebe-grafieken niet alleen baseren op absolute verschillen met de referentie, maar ook positieve en negatieve afwijkingen laten zien,
 - de aanduiding van het Nederlandse gemiddelde (arbitrair op 50 %) naast de duurzame referentie in de 'praktijk-amoebe' wordt niet als verduidelijkend ervaren.
- Afhankelijk van de invalshoek of vraagstelling moeten verschillende vormen van de amoebe-grafieken beschikbaar kunnen zijn (In Bijlage 5 zijn verschillende amoebe-grafieken weergegeven).
- De herkomst van de keuzes voor de duurzame referentie en de selectie van de parameters voor de 'praktijk-amoebe' dient in de rapportage zichtbaar te zijn. Deze zijn namelijk cruciaal voor het resultaat. Dit wordt opgenomen in het RIVM-rapport.
- Een oplossing zoeken voor de wens om dicht bij de gemeten parameters te blijven (en dus niet te integreren), waardoor de systematiek voor de deskundige gebruiker concreet blijft, en tegelijkertijd ook een geïntegreerde benadering in beeld te brengen (waardoor het zicht op onderliggende informatie juist verdwijnt en verloren kan gaan).
- Er moet worden gekeken naar de noodzaak om onderscheid te maken in schaalniveaus, versus clustering schaalniveaus.
- Selecteren van parameters niet alleen op basis van belang voor het ecosysteem functioneren (zoals nu is gebeurd), maar ook op basis van gevoeligheid.
- Parameters selecteren die belangrijk worden gevonden maar nog niet worden gemeten. Dit heeft dus consequenties voor de dataverzameling in bijvoorbeeld het project Bobi (bodembioologische indicator).
- Reikwijdte en tijdigheid van de amoebe-grafieken aangeven. De amoebe-grafieken zijn op dit moment de 'state of the art'. Als er meer aanvullende, gestructureerde of geïntegreerde gegevens over de bodemkwaliteit beschikbaar komen, kunnen de typeringen en de amoebe-grafieken worden bijgewerkt. Ondertussen kan al wel ervaring met een dergelijk systeem worden opgedaan.
- Met verschillende organisaties dient nader overleg plaats te vinden over de identificatie en uitwerking van pilot-projecten.

Weergave van de discussies

Hieronder volgt een gedetailleerde weergave van vragen en opmerkingen die gemaakt zijn tijdens de plenaire discussie van de workshop. De discussie werd door de dagvoorzitter gesplitst in vier delen. Aansluitend op de presentaties was er gelegenheid tot het stellen van verduidelijkende vragen. Vervolgens werd aan de hand van een aantal onderdelen uit de presentaties een inhoudelijke discussie gevoerd over de gevolgde werkwijze met betrekking

tot de selectie van duurzame locaties, en de koppeling tussen parameters, ecologische diensten en het bodemgebruik. De discussie werd afgesloten met de vraag of er nu een bruikbaar systeem ligt. De hoofdlijnen uit de discussie en voornaamste conclusies zijn hierboven samengevat.

1) Verduidelijkende vragen naar aanleiding van de presentaties:

Vraag: De amoebe-grafieken laten alleen maar afwijkingen zien die kleiner zijn dan de referentie. Dat houdt in dat alles ‘negatief is geschaald’. Het kan dus zijn dat de oorspronkelijke waarde van een parameter groter is dan de referentie. Bijvoorbeeld in het geval van veebezetting geeft dit intuïtief een verkeerd beeld.

Antwoord: Het is juist dat de absolute afwijking ten opzichte van de referentie is weergegeven. Het voordeel hiervan is dat positieve en negatieve afwijkingen niet worden uitgemiddeld. Een dergelijke amoebe is wel te maken, maar voor details is ook terug te grijpen op achterliggende tabellen met parameterwaarden.

Vraag: In de praktijk-amoebe staat een 50% cirkel als landelijk gemiddelde. Dat kan alleen als per parameter opnieuw is geschaald. Dit kan ook een hele vreemde vertekening geven, bijvoorbeeld doordat kleine verschillen sterk worden opgerekt. Deze vorm van presentatie leidt makkelijk tot misverstanden.

Antwoord: Dat is juist geconstateerd. De dubbele schaling in de praktijk-amoebe vraagt ook een voorzichtige interpretatie. Mogelijk is het beter om hier ook een meer eenvoudige presentatie te gebruiken. Dit zal in het eindrapport worden aangepast.

Vraag: De gepresenteerde referentiebeelden gaan helemaal uit van de ‘planet’ kant van duurzaamheid. De ‘twee andere P’s’ zouden in de amoebe moeten worden weergegeven om een compleet beeld van de duurzaamheidsaspecten te krijgen. Ook: De ambities voor bodemkwaliteit komen niet terug in de amoebe-grafiek. Dit niveau is eigenlijk een punt in de segmenten van de amoebe-grafiek. Kan dit niet worden toegevoegd?

Antwoord: Indien gewenst is het technisch mogelijk om deze informatie in de amoebe-grafiek op te nemen.

Vraag: Ecologische duurzaamheid was uitgangspunt bij het kiezen van de referenties, maar is dat ook getoetst bij de afzonderlijke ecologische functies?

Antwoord: De selectie van referenties is door een aantal deskundigen gedaan op basis van verschillende criteria en een totaal beeld. Dat wil niet zeggen dat op een referentielocatie alle parameterwaarden optimaal zijn.

Vraag: De amoebe-grafiek suggereert dat alle segmenten even belangrijk zijn, maar in werkelijkheid is dat niet het geval. Hoe moet hier mee worden omgegaan?

Antwoord: Prioritering van parameters komt terug in de praktijk-amoebe en blijkt uit de scoringstabellen voor ecologische diensten versus parameters.

Vraag: Welke maatregelen kunnen genomen worden om ambities te halen?

Antwoord: Dit is eigenlijk alleen in te vullen door gebruik te maken van zogenaamde respons-curven die de relatie tussen parameters en omgevingsvariabelen in een statistisch model beschrijven. Aanvulling door Arthur Eijs: de referenties worden ontwikkeld en beschikbaar gesteld aan bodemgebruikers in samenhang met een overzicht van bestaande kennis over maatregelen. Die kennis wordt ondermeer opgedaan in het project Boeren,

Bedrijf, Biodiversiteit (BBB) van het Louis Bolk Instituut (met RIVM en Alterra), en in een breder kennis- en leerproject (BOB) dat door de landbouwsector (LTO) is opgezet.

Vraag: Voor hoelang is een referentiebeeld geldig?

Antwoord: Dat hangt af van de snelheid waarmee nieuwe inzichten of gegevens beschikbaar komen.

Vraag: Zijn het deskundigen-oordeel en de referentieselectie herleidbaar?

Antwoord: De criteria en keuzes zullen worden beschreven. Wat zich in het hoofd van een deskundige afspeelt is lastig vast te leggen.

Vraag: Het functioneren van een ecosysteem is in de amoëbe niet te zien, of een vraag als hoe vruchtbaar is de bodem?

Antwoord: De amoëbe bevat een aantal integrale parameters. Deze geven aan hoe compleet en stabiel een bodemecosysteem is. Daarnaast zijn er gegevens over voedingsstoffen (bijvoorbeeld P-Al getal) opgenomen. Bodemvruchtbaarheid is echter ook een containerbegrip met meerdere aspecten (nutriënten(voorziening), bodemstructuur, geografische omstandigheden). Daardoor is het lastig in enkele simpele parameters te beschrijven.

2) Inhoudelijke discussie onder leiding van Lijbert Brussaard

Als inleiding op de discussie wordt een aantal dia's uit de presentatie van Anton Breure teruggehaald over de afleiding en prioritering van parameters voor verschillende ecologische functies. Het publiek wordt de vraag gesteld of dit een goede aanpak is.

Reactie: In de lijst van diensten staat een aantal eigenschappen als veerkracht en weerstand van ecosystemen, die eigenlijk een extra dimensie vormen op elk van de andere ecologische diensten. Dit maakt de lijst verwarrend.

Antwoord: Daar zit een kern van waarheid in. Alle aspecten (functies en diensten) hangen echter met elkaar samen; de schematisering is typisch antropocentrisch en kunstmatig. 'Bodemecosystemen trekken zich hier niets van aan'. Het is de bedoeling geweest het web van functies te ontrafelen tot een praktisch bruikbaar geheel.

Reactie: Het is al heel erg moeilijk geweest om een ecologische component in te brengen in het denken over bodemkwaliteit. Discussies kunnen tot andere inzichten leiden, maar het is niet meer mogelijk dat het beleid nu een heel andere kant op gaat. Dat had dan al in een veel eerder stadium moeten gebeuren.

Antwoord: De indeling die je volgt is sterk afhankelijk van de invalshoek. Voor de één kan bodemvruchtbaarheid een hoofdthema zijn om overige aspecten onder te rangschikken, voor de ander de samenstelling van het voedselweb. Een strakke indeling is eigenlijk niet mogelijk.

Reactie: 15 personen hebben de scoringstabel voor het belang van ecologische diensten op verschillende schaalniveau's ingevuld. Er werd veel toelichting gegeven en discussie gevoerd, waardoor een aantal zaken helderder neergezet kon worden. Dit wijst er ook op dat er veel overlap bestaat tussen de verschillende categorieën.

Antwoord: Voorgaande punten zijn correct, maar vormen tevens geen belemmering. Onze visie is een abstractie van het functioneren van de bodem. Ecologische diensten overlappen dus, maar dat is niet erg. De genomen stappen moeten echter wel duidelijk zijn.

Reactie: De discussie over de scoringstabel met de deskundigen was ook verhelderend.

Tevens moet men voorzichtig zijn met de trends die bepaalde scores per schaalniveau laten zien. Het resultaat hangt ook sterk af van de visie van de deskundige.

Antwoord: Het is van belang dat er vooraf voldoende informatie is over de strekking van bepaalde parameters of ecologische diensten. Bijvoorbeeld, de visie op biodiversiteit, het belang en de invloed ervan, verschilt nogal tussen deskundigen. Hierdoor kan de uitkomst van de score worden beïnvloed.

Reactie: Het koppelen van het belang van ecologische diensten aan schaalniveau's blijft een moeilijke en gevaarlijke actie. Het lijkt meer vragen op te roepen dan op te lossen. Is het niet mogelijk om dit onderscheid (voorlopig) weg te laten?

Antwoord: De indeling naar schaalniveau's komt voort uit de tweede workshop. Het is niet noodzakelijk om er gebruik van te maken. Het gaat in eerste instantie om de systematiek voor het afleiden van referentiebeelden. Deze moet wel helder zijn.

Reactie: Hoe relevant is de indeling in schaalniveau's eigenlijk voor het einddoel?

Antwoord: Misschien komt het schaalniveau later in het proces weer terug, bijvoorbeeld bij het formuleren van ambities. Voor de meetinstrumenten is het niet van belang.

Reactie A: In de landbouwsector wordt er geredeneerd vanuit perceelsniveau. Is dat nu hetzelfde als de lokale schaal in het systeem?

Reactie B: Wat wordt er eigenlijk precies bedoeld met lokale en regionale schaal? Het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit en het meetprogramma van de Bodembioologische Indicator werken met een agrarisch bedrijf als 'oppervlakte c.q. bemonsterings-eenheid'. Hoe leidt je hier andere schaalniveaus van af?

Antwoord: De schalen zijn gemaakt om een oppervlak aan te duiden waarvoor je ambities zou willen formuleren. Boven de betreffende tabellen is duidelijk aangegeven wat onder de verschillende schaalniveau's wordt verstaan. Uit het feit dat op de landelijke schaal meer belang wordt gehecht aan de buffer- en reactorfunctie van de bodem, terwijl een boer meer oog heeft voor de bodemvruchtbaarheid, blijkt het belang van de verschillende schalen. Per schaal zal er een ander beoordelingsinstrument kunnen ontstaan. Wil je alle schalen bedienen, dan zullen de twee instrumenten tot één instrument geïntegreerd kunnen worden.

Reactie: Uit de gepresenteerde resultaten blijkt dat de ecologische diensten weinig van belang worden geacht voor stedelijk groen. Het is eigenlijk een soort restpost geworden, terwijl dit voor de burger c.q. bewoners van grote steden wel degelijk een belangrijk facet van de leefomgeving is.

Antwoord: Het is de vraag welke ecologische diensten geleverd worden door het openbaar groen. Dit heeft meestal veel meer een belevingswaarde en dat is geen onderdeel van deze systematiek.

Reactie: Ook hier moet weer in de gaten gehouden worden hoe de uitkomst tot stand is gekomen. Het kan zijn dat er bij het toekennen van scores vanuit een andere visie is gewerkt dan bedoeld bij het opstellen van de indeling.

Antwoord: Stedelijk groen is wel degelijk van belang bij de waterretentie. Er ontstaat ook in steden steeds meer wateroverlast doordat het regenwater nergens meer de bodem in kan.

3) Discussie over de werkwijze van de scoringstabel voor het belang van ecologische diensten in landbouw, natuur en overig groen:

Reactie: Het is nog niet duidelijk hoe de beoordeling precies tot stand is gekomen. Is ieder onderdeel afzonderlijk beoordeeld met een waarde 1 t/m 5 of is er direct een volgorde (ranking) aangebracht?

Antwoord: Alle afzonderlijke combinaties zijn apart beoordeeld. Daarna is er een gemiddelde berekend van alle scores en deze zijn vervolgens aflopend gesorteerd. De lijst is eventueel opnieuw in te delen in de categorieën biologisch, fysisch, chemisch dat geeft een herkenbare groepering maar minder zicht op de het belang dat aan individuele combinaties wordt gehecht.

Reactie: Als je naar het uiteindelijke resultaat kijkt lijkt elke samenhang te ontbreken. Het project heeft de titel 'Biologische referenties' staan. Gezien de gekozen parameters (ook fysische en chemische) is het meer correct om van Ecologische referenties te spreken. Er is nu te weinig inzicht in het keuze proces dat tot de uiteindelijke parameters leidt.

Antwoord: De Bodembiologische Indicator (Bobi) was al enige jaren in uitvoering voordat het RBB-project startte. De parameterkeuze is dus niet onafhankelijk geweest, maar is mede beïnvloed door de beschikbare meetgegevens. Toch is al enigszins rekening gehouden met aanvullende parameters (nu nog niet in Bobi) die in het verloop van het RBB-project gesuggereerd werden. Dit kan uiteraard nog verder doorgevoerd worden.

Reactie: De uitkomst van de scoringstabel (belang van parameters voor diensten) is niet goed geëvalueerd. De uitkomst met organische stof als belangrijkste parameter over alle diensten is misschien vreemd. Organische stof is een algemene parameter die op zich niet zoveel zegt. De samenstelling en kwaliteit zijn van veel groter belang. Ook de uitkomsten voor bodemdieren zijn bedenkelijk. Regenwormen komen bovenaan, vervolgens alleen microbiologische parameters. De overige bodemdieren zijn in deze lijst niet zichtbaar. Hoe kan dat?

Antwoord: De geprojecteerde lijst bevat de eerste 20 parameters, de ontbrekende parameters komen pas na de 20^e positie.

Reactie: Er wordt gevraagd of er wel voldoende bekend is over de relatie tussen de lijst met parameters en ecologische diensten om een scoring en prioritering uit te kunnen voeren.

Antwoord: De scoring is uitgevoerd vanuit de vraag naar 'het belang van bodem(biologische) parameters voor ecologische diensten'. Daardoor krijg je als resultaat dat relaties belangrijk worden gevonden zonder dat de gevoeligheid, meetbaarheid of kosten in ogenschouw zijn genomen. De uitkomst wordt waarschijnlijk ook beïnvloed doordat (slechts) 5 deskundigen de scoringstabel hebben ingevuld.

4) Slotdiscussie

Brussaard opent het laatste deel van de discussie met de hamvraag of de gepresenteerde methodiek voor referentiebeelden en de eerste praktijkvoorbeelden een bruikbaar resultaat hebben opgeleverd.

Reactie C: Het vaststellen van referentiebeelden heeft nog een aantal haken en ogen in methodische zin en keuzes die nu niet helder zijn omschreven. Dat maakt het moeilijk om te beslissen of dit nu al tot een systeem met bruikbare resultaten heeft geleid.

Reactie D: Het systeem van afleidingen en de amoebe-grafiek lijken nu nog veel ‘rekenfratsen’ te bevatten. Je zou moeten proberen om zo dicht mogelijk bij het uitgangsmateriaal te blijven en zowel positieve als negatieve afwijkingen laten zien. De presentatie van een amoebe met een dubbele vergelijking (schaling) naar referentie en landelijk gemiddelde of ambitieniveau onder het optimum is lastig uit te leggen. Dat kun je beter anders doen.

Antwoord: De nu gepresenteerde referenties komen uit de bestaande dataset om dichtbij de realiteit te blijven. Het systeem is echter flexibel en kan worden bijgesteld als dat gewenst is. Uiteindelijk moet er een soort handboek bodemdoeltypen komen.

Reactie: Bij bodemverontreiniging geldt dat gehalten onder de norm (referentie) beter zijn dan die daar boven. In het geval van biologische variabelen is dat niet persé zo. Hoe kan hier nu het best mee worden omgegaan?

Antwoord: De selectie van referenties lijkt heel kritisch voor de afwijkingen die vervolgens op andere locaties worden bepaald. Daarvoor moet te controleren zijn hoe de duurzame referentie tot stand is gekomen.

Reactie: Er is voor gekozen om de parameters niet te integreren tot één indicatorwaarde of index. Per parameter (partje van de amoebe) kunnen er echter binnen de groep referentielocaties (vormen samen de duurzame referentie) afwijkingen voorkomen. Dit is inherent aan het behouden van de details. Het alternatief zou zijn een theoretische referentie te maken, bijvoorbeeld op basis van responscurven van parameters.

Antwoord: De opzet is helder en heeft goede elementen, maar de vertaalslag naar bestuurders is nog niet zo gemakkelijk gemaakt.

Reactie E: De werkwijze is omslachtig voor de agrarische praktijk. Hier is de bodembioïecologie in eerste instantie niet nodig om het ecologisch functioneren te beschrijven. Er wordt direct gekeken naar de gewasproductie en de input van voedingsstoffen.

Reactie F: Een zwak punt in het geheel is de vraag hoe we toe gaan passen. Beleidsevaluatie en sturing zijn niet mogelijk. Om die redenen is het systeem niet direct bruikbaar voor het Planbureau. Een tweede punt is de vraag hoe parameters gaan veranderen bij de overgang naar een ander landgebruik.

Antwoord: In de landbouw heb je een dergelijk systeem niet nodig voor het schatten van de productie, maar bij duurzaamheid gaat het om het in stand houden van het hele ecosysteem. Ook in de landbouw moet je naar de bodem blijven kijken.

Reactie G: Het systeem wordt echt bruikbaar als er een relatie te leggen is met het handelen. Het is nog maar de vraag of het zal lukken om er een dynamisch systeem van te maken.

Reactie H: Er zit een gat tussen de wetenschap en de praktijk. De landbouw redeneert vanuit de markt en economie. In dit project is helemaal van uit de ‘planet’-kant van duurzaamheid gewerkt. Overlap ontbreekt.

Antwoord: Milieumaatregelen kosten in eerste instantie inderdaad geld. Dit project biedt ook handvaten om van ‘A naar B te komen’. Planet-aspecten van duurzaamheid zijn niet eenvoudig in financiële kosten of -opbrengst uit te drukken. De mogelijkheden van sturing zijn een punt van aandacht. De referentiebeelden voor bodemecosystemen zijn niet bedoeld om er maatregelen mee op te leggen. Het systeem moeten als handleiding

worden gezien om ecologische bodemkwaliteit praktisch vorm te geven, onder andere bij verandering van bodemgebruik.

Suggesties voor een pilot Ecologische Referentiebeelden voor de Bodem

Reactie I: Er wordt voorgesteld om aan te sluiten bij het Functionele AgroBiodiversiteit project (FAB) dat in de Hoekse Waard wordt uitgevoerd (akkerland op klei). Dit onderzoek is nu hoofdzakelijk op de bovengrondse biodiversiteit gericht. Een andere mogelijkheid is onderzoek te doen in het veenweide gebied, bijvoorbeeld op toemaakdegronden. Hier is veel discussie over de mogelijkheden van natuurontwikkeling.

Reactie J: Vele situaties zijn denkbaar. Problemen liggen vooral in de bollenteelt, fruitteelt, veenkoloniale akkerbouw. Het is belangrijk dat plannen in wisselwerking met boeren worden gemaakt. Dit is een groep die vanuit de markt redeneert. Een pilot wordt dan geënt op de uitdaging om gezamenlijk tot een bruikbare methodiek te komen.

Reactie K: Het is verstandig om onderscheid te maken tussen een verdiepende en een verbredende aanpak. Het stedelijk groen heeft nog weinig aandacht gekregen in termen van biologische bodemkwaliteit. Hier is de komende decennia wel steeds meer behoefte aan. Uitbreiding naar een dergelijke categorie grondgebruik is een verbreding van de huidige kennis.

Reactie L: Het is nuttig om de invloed van 'bagger op de kant' te onderzoeken en dit te koppelen aan maatregelen.

Reactie M: In het project Koeien en Kansen is reeds een grote hoeveelheid informatie verzameld over duurzame bedrijfsvoering. Sinds twee jaar wordt ook aandacht besteed aan bodemkwaliteit. Hier liggen goede mogelijkheden.

Reactie N: Het is inderdaad het meest efficiënt om aan te sluiten bij langlopende onderzoekprogramma's waar veel bedrijfsgegevens beschikbaar zijn. Tevens kan gedacht worden aan een ruimtelijke serie waarnemingen als benadering voor een temporele ontwikkeling bij een bepaald type bodemgebruik of omschakeling.

Reactie O: Het beschikbare budget zal beperkt zijn. De inrichting van de pilots zal dus goed moeten worden overdacht. Bodemgebruikers moeten zelf ook willen investeren. In de komende maanden moeten de mogelijkheden op een rij worden gezet, en eventueel in een aparte bijeenkomst worden besproken. Ter afronding van de eerste fase zou het best verder gewerkt kunnen worden aan de graslanden op zandgrond.

Reactie P: Communicatie met de deelnemers bij het uitvoeren van dit soort pilots is zeer belangrijk. De boer loopt ook risico en dat moet worden afgedekt.

Reactie Q: Er is een studie uitgevoerd naar de kosteneffectiviteit van monitoring. Hierin wordt geconstateerd dat bijvoorbeeld de wettelijke verankering van het LMB nog ontbreekt. Dit levert risico's op voor de continuïteit.

Antwoord: Deze situatie is bij DGM bekend en besproken. De structurele basis van het bodemmeetnet is bij DGM verzekerd.

De workshop wordt afgesloten met dankzegging aan alle aanwezigen en de bijdrage die zij hebben geleverd.

Bijlage 7. Bodemecosysteemtypering en referentie: melkveehouderij op zand

Preambule

In Bijlage 7 en 8 zijn twee typeringen van bodemecosystemen opgenomen inclusief de duurzame referentie, namelijk voor melkveehouderij op zand en voor halfnatuurlijk grasland op zand. Dit zijn de eerste typeringen die opgesteld zijn, volgens de in dit rapport beschreven werkwijze. Uiteindelijk zullen in een eerste fase 15 typeringen worden opgesteld, voor verschillende bodemtypen en categorieën bodemgebruik, die tezamen een handboek zullen vormen. De typeringen bevatten de volgende informatie:

1. Algemene beschrijving van het bodemgebruik en de bodem op dit type locatie,
2. Beschrijving van de locaties waarvan gegevens opgenomen zijn in het bestand van de Bodembioologische indicator (Bobi) en de procedure die is gevolgd om de locaties met een relatief ‘gezonde’ bodem te selecteren.
3. Kwantitatieve gegevens van de duurzame referentie (het gemiddelde van de locaties met en relatief gezonde bodem), en van alle andere locaties in het bestand (gemiddelden, 5% en 95% percentielen),
4. Een amoëbe-grafiek van alle parameters (totaalbeeld) en de zogenaamde ‘praktijk-amoëbe’ met een beperkt aantal parameters, en
5. Een opsomming van de opties voor de bodembeheerder om de ‘bodemgezondheid’ te beïnvloeden, door specifieke maatregelen te implementeren in het bodembeheer.

Niet alle gegevens waren aanwezig, of werden tijdens het RBB-project voldoende uitgewerkt. De huidige typeringen in Bijlage 7 en 8 moeten daarom gezien worden als *the state of the art*, maar niet als een stabiele standaard voor een lange tijd. Aanpassingen zijn mogelijk als nieuwe informatie zich aandient, of als locatiespecifieke afwegingen dat opleggen.

Inleiding

Melkveehouders beheren ongeveer 65% van de cultuurgrond in Nederland, en ontwikkelen en onderhouden een groot deel van het landschap. Op ruim 1,2 miljoen hectare, met 1,4 miljoen melkkoeien produceren 25.000 melkveehouders in Nederland ruim 10 miljoen ton melk per jaar. Het aantal bedrijven laat al een paar jaar een dalende tendens zien, evenals het totaal aantal runderen, maar de melkproductie blijft ongeveer gelijk, en de bedrijven worden groter.

De traditionele melkveehouderij is gericht op het maximaliseren van de melkproductie per hectare en per koe. Dit heeft in het verleden geleid tot overmatig mestgebruik (zowel kunstmest als organische mest) en gebruik van extra krachtvoer voor de koeien wanneer de melkproductie terugliep omdat het grasland en ruwvoer te weinig opleverden. Als gevolg van overproductie in Europa en ontwikkelingen bij het milieubeleid is het accent ook

op bescherming van het milieu en duurzaamheid komen te liggen. Hierdoor is het gebruik van hulpstoffen beduidend gedaald, terwijl de melkproductie een licht dalende trend volgt.

De sector levert aanzienlijke bijdragen aan het verwerken van rest- en bijproducten van de samenleving tot hoogwaardig voedsel en het zuiveren van verontreinigd water en depositie afkomstig van de samenleving. Bovendien is het energieverbruik zeer gering ten opzichte van de totale energiebehoefte in Nederland ($< 0,5\%$). Bovendien zorgt de melkveehouderij voor een open en gevarieerd landschap.

Er zijn ook erkende en minder erkende milieuproblemen aan de bedrijfstak gekoppeld. Nitraat spoelt uit naar het bovenste grondwater door overmatig gebruik van meststoffen, waarbij dus stikstofverliezen optreden. De aanwending van meststoffen en krachtvoer (bijvoorbeeld soja) is alleen mogelijk door import uit andere landen, zodat de ecologische voetafdruk (uitgedrukt in externe hectares) vaak vele malen groter dan het eigen areaal (N. van Eekeren, persoonlijke mededeling 2005). De eenzijdige aandacht voor de melkproductie heeft als nadelig gevolg dat de bodemkwaliteit vermindert, wat bijvoorbeeld tot uiting komt in een lagere biodiversiteit bij bodemorganismen (Schouten et al. 2001, Mulder et al. 2003, 2005b).

De bodem onder de bedrijven

De categorie melkveehouderij op zandgrond ligt op de droge zandgronden in het midden, oosten en zuiden van Nederland, de zogenaamde enkeerd gronden, holtpodzol gronden en veldpodzol gronden. De bodem is overwegend zanderig (90% $> 50 \mu\text{m}$) met weinig leem en kleideeltjes (5% $< 2 \mu\text{m}$), organische stof (3,8%) en nutriënten. De pH is laag, maar wordt op peil gehouden via een actief bekalkingsbeheer (gemiddelde $\text{pH}_{(\text{KCl})} = 4,7$). De grondwaterstand is relatief laag (ongeveer 1 m; grondwatertrap 3 tot 5). Als onderdeel van de bedrijfsvoering wordt grasland van tijd tot tijd gescheurd en opnieuw ingezaaid, en worden bepaalde percelen (soms tijdelijk) ingezet voor de productie van maïs. Het gemiddelde aandeel bouwland (onder andere maïsvelden) als percentage van het totale bedrijfsareaal bij melkveehouderijbedrijven in Nederland bedraagt ongeveer 23% (data uit het Bobi-gegevensbestand d.d. 15 oktober 2005). De vegetatie wordt voor een groot deel door de boer bepaald, en bestaat voornamelijk uit een mengsel met verschillende soorten Engels raaigras en ook timoteegras (*Lolium perenne* en *Phleum pratense*). Steeds vaker wordt ook ingezaaid met witte klaver (*Trifolium repens*) om de stikstofhuishouding te beïnvloeden. In kleinere hoeveelheden worden ook veldbeemd en Italiaans raaigras toegepast (*Poa pratensis* en *Lolium multiflorum*).



Figuur 8. Foto van een melkveehouderijbedrijf op hoge zandgrond. De percelen zijn vaak gesitueerd in een landschap met coulissen (broekbossen).

De melkveehouderijbedrijven en de selectie van locaties met een ‘gezonde’ bodem

De gegevens over de bodem van melkveehouderijen op zand in het monitoringsprogramma (Schouten et al. 2002) met de bodembioologische indicator bevat 81 locaties (bedrijven). Deze zijn in categorieën in te delen (Schouten et al. 2002), namelijk:

- biologisch: bedrijven niet slechts gericht op de melkproductie, maar ook op de verduurzaming van het bodembeheer via vermindering van het gebruik van hulpstoffen (krachtvoer, mest en bestrijdingsmiddelen). Er worden in principe geen kunstmest, chemische bestrijdingsmiddelen, preventieve geneesmiddelen, en mest uit de gangbare veehouderij toegepast. De bedrijven hebben een relatief lage veedichtheid (minder dan 2,8 GVE/ha).
- extensief: conventionele veehouderijbedrijven met een relatief lage veedichtheid (minder dan 2,8 GVE/ha).
- intensief: veehouderijbedrijven met een gangbare veedichtheid (2,8 tot 5 GVE/ha).
- intensief-plus: intensieve melkveehouderijbedrijven met een neventaak naast de productie van melk, bijvoorbeeld varkens- en kippenhouderij. Het vee bevindt zich vaak in stallen en de percelen worden gebruikt voor de afzet van dierlijke mest.

Gegevens over de bodem van in totaal 81 bedrijven (ongeveer 20 bedrijven per categorie) zijn in het Bobi-gegevensbestand (per 15 oktober 2005) aanwezig. Hieruit is een selectie gemaakt van bedrijven waarbij de bodem waarschijnlijk ‘gezond’ is. De volgende criteria voor de gezondheid van de bodem werden hierbij gebruikt:

- de ‘stabiliteit’ van het bodemecosysteem. Stabiliteit werd gedefinieerd op basis van allometrische relaties in het bodemvoedselweb (Mulder et al. 2004, 2005a). Een allometrische relatie voor het gemiddelde gewicht van de bodemorganismen, en hun

aantallen, resulteert onder duurzame condities in een helling die gelijk aan -1 is.

Geïntegreerd over alle lagen van het bodemvoedselweb zijn onder deze omstandigheden de prooien in evenwicht met de predatoren. Dit is een stabiele toestand.

- de 'productiviteit' van het bodemecosysteem, op basis van de abundantie van het bodemleven, en andere bodemeigenschappen die een relatie hebben met de productiviteit.
- het bodembeheer is gericht op de vermindering van het gebruik van hulpstoffen (soort en type mest) en bestrijdingsmiddelen.
- de hoeveelheid 'externe hectares' van een bedrijf moet tussen -10 en 50% liggen.
- frequentie scheuren grasland minder dan 1 keer per 5 jaar.
- percentage bouwland. Op een bedrijf mag het percentage bouwland (meestal maïs) maximaal 25% bedragen.

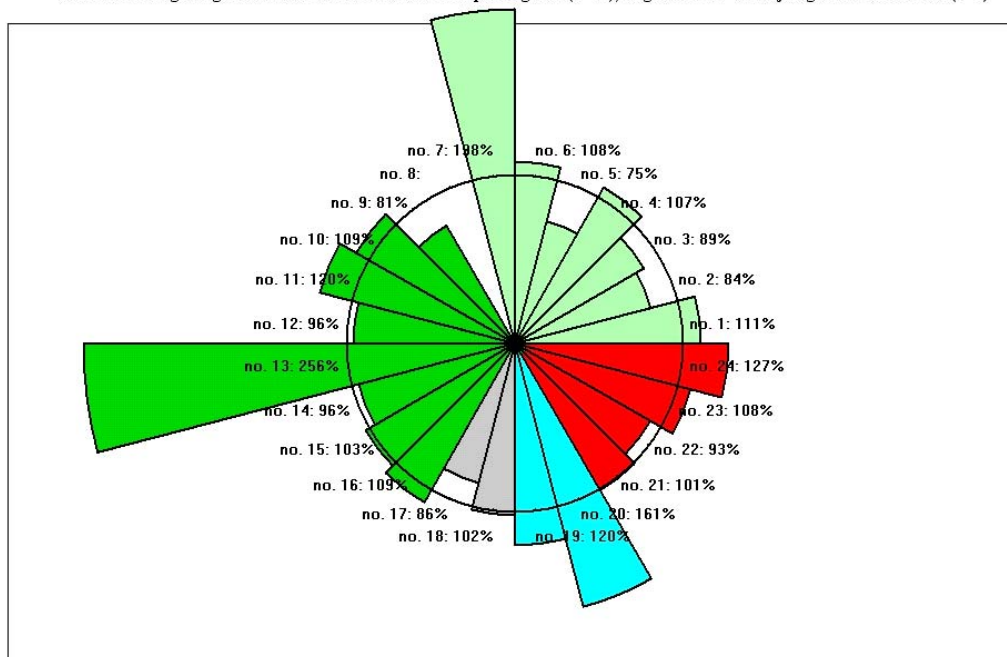
Uit de totale set van 81 locaties werden 6 locaties (bedrijven) geselecteerd die voor 5 van de 6 bovengenoemde kenmerken voldeden aan de criteria voor duurzaamheid. Vier bedrijven bleken biologische bedrijven te zijn en twee conventioneel-extensief. Er was geen enkel bedrijf dat aan alle opgelegde criteria voor duurzaamheid voldeed. De duurzame referentie werd bepaald door het gemiddelde te berekenen van de gegevens van deze 6 geselecteerde bedrijven. De gegevens van de overige 75 bedrijven werden gebruikt om het gemiddelde voor Nederland te berekenen, en de 5 en 95% percentielen. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 9 en Tabel 6.

Maatregelen

De beoordeling van de gezondheid van de bodem en de duurzaamheid van het bodemgebruik is pas compleet als naast een beoordelingsmethode ook bruikbare maatregelen te geven zijn om de processen in de bodem een gewenste kant op te sturen. Hiervoor moet er voldoende bekend zijn over het verband tussen beheer c.q. bedrijfsvoering en de reactie van bodemorganismen hierop. Een groot deel van deze informatie is in principe in de Bobi-dataset aanwezig. Helaas zijn de gegevens over bedrijfsvoering niet compleet en te algemeen. Om die reden is in 2004 gestart met het opvullen van dit hiaat in de kennis door gericht onderzoek te doen in veldproeven. Er is een aantal praktijkexperimenten geselecteerd waarin verschillende vormen van bemesting en grondbewerking kunnen worden vergeleken. Daarnaast wordt op een meer systematische wijze bedrijfsinformatie verzameld op alle locaties die ook bodembiologisch worden geanalyseerd. In het project Bodem, Bedrijf, Biodiversiteit (BBB; coördinatie door het LBI) wordt aandacht besteed aan de relatie tussen bedrijfsvoering en bodembiologische aspecten. Met deze gegevens is het binnen een paar jaar mogelijk om zogenaamde 'habitat-respons relaties' af te leiden voor bodemgebruik, zoals inmiddels al voor abiotische kenmerken kan worden gedaan (Mulder et al. 2005d).

In het BBB- en RBB-project is daarnaast een voorstel gedaan om tot een verantwoorde vermindering van het aantal te meten of te berekenen parameters te komen. Niet alle parameters zijn nodig om een betrouwbaar beeld van de gezondheid van de bodem te verkrijgen. Het resultaat is weergegeven in Figuur 10 in de zogenaamde praktijk-amoebe. De onderbouwing van de praktijk-amoebe is te vinden in onderdelen van dit rapport.

AMOEBE-diagram gemiddelde bodemkwaliteit MVH op zandgrond (n=81), uitgedrukt als %afwijking van de referentie (n=6)

**Verklaring parameters:**

no. 1: Bacteriële biomassa:	no. 13: Regenwormendichtheid:
no. 2: Bacteriële activiteit:	no. 14: Regenwormendiversiteit:
no. 3: Bacteriële diversiteit:	no. 15: Micro-arthropoden dichtheid:
no. 4: Potentiële C-mineralisatie:	no. 16: Micro-arthropoden diversiteit:
no. 5: Potentiële N-mineralisatie:	no. 17: Allometric (M,N) regression:
no. 6: Biolog helling:	no. 18: Biodiversiteit (integraal):
no. 7: Biolog omzettingcapaciteit:	no. 19: Aandeel grasland:
no. 8: Schimmel biomassa:	no. 20: Veebezetting:
no. 9: Nematodendichtheid:	no. 21: Zuurgraad:
no. 10: Nematodendiversiteit:	no. 22: Organische stof:
no. 11: Potwormendichtheid:	no. 23: Wateroplosbaar P (Pw):
no. 12: Potwormendiversiteit:	no. 24: Extraheerbaar P (PAI):

Figuur 9. Amoebe-grafiek met gemiddelde waarden van diverse bodemkwaliteitsparameters ten opzichte van een 'duurzame' referentie (op 100% gesteld) voor melkveehouderij op zand.

De cirkel representeert de duurzame situatie (gemiddelde van 6 locaties). Via de taartpunten is aangegeven hoe de gemiddelde toestand van de melkveehouderij in Nederland afwijkt van de duurzame referentie (op basis van 75 locaties):

- lichtgroene en gele taartpunten: microbiële parameters
- donkergroene taartpunten: overige biologische parameters
- grijze taartpunten: biodiversiteit
- blauwe taartpunten: gegevens over het bodembeheer
- rode taartpunten: chemische parameters
- ontbrekende taartpunten: geen gegevens van betreffende parameter aanwezig.

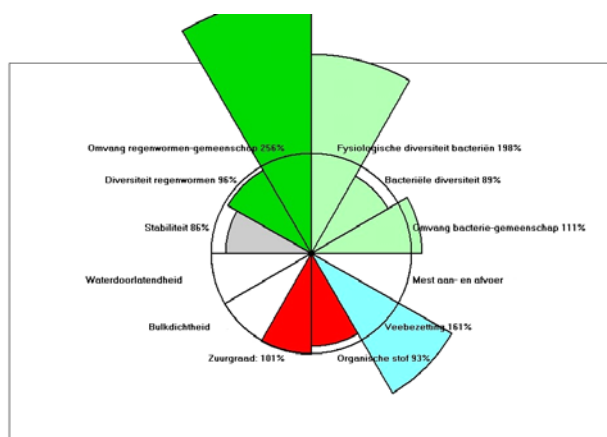
NB Er zijn momenteel geen gegevens voorhanden van de fysische parameters

Tabel 6. Parameterwaarden van de bodemecosysteemtypering voor melkveehouderij op zandgrond.

In de tabel zijn beschikbare waarden gegeven (chemisch, fysisch, biologisch en overige parameters) met een veronderstelde relatie met de bodemkwaliteit. De gegevens van 81 locaties (bedrijven) uit het bestand van de Bodembioologische Indicator zijn als basis gebruikt. Zowel de waarden voor de duurzame referentie, de gemiddelde en de 5% en 95% percentielen voor Nederland zijn gegeven.

	Referentie MVH gemiddelde (n=6)	MVH Nederland	
		gemiddelde (n=81)	Percentielen 5% 95%
Bacteriële biomassa (µg C/g droge grond)	132	146	40 293
Bacteriële activiteit (Thymidine-inbouw; pmol/g.h)	77	65	3 215
Bacteriële diversiteit (aantal DNA banden)	57	51	38 65
Potentiële C-mineralisatie (mg C/kg.wk)	61	66	21 127
Potentiële N-mineralisatie (mg N/kg.wk)	12	9	3 17
Biolog (helling AWCD-curve)	0.5	0.5	0.3 0.7
Biolog omzettingcapaciteit (µg grond/50%omz.cap).	300	590	40 1670
Schimmel biomassa (µg C/g droge grond)	(ng)*	(ng)	
Nematoden dichtheid (n/100g verse grond)	5990	4850	2450 7760
Nematoden diversiteit (aantal taxa)	31	34	27 42
Potwormen dichtheid (n/m ²)	20700	24800	4550 60500
Potwormen diversiteit (aantal taxa)	9	8	4 12
Regenormen dichtheid (n / m ²)	64	163	24 388
Regenwormen diversiteit (aantal taxa)	5	5	3 7
Micro-arthropoden dichtheid (n/ m ²)	43500	44700	14700 123000
Micro-arthropoden diversiteit (aantal taxa)	24	27	15 41
Allometric (M,N) regression	-1.00	-0.86	-1.00 -0.75
Biodiversiteit (integraal, aantal taxa)	51	52	39 68
Aandeel grasland (%)	70	77	36 100
Veebezetting (GVE/ha)	1.6	2.6	1.4 4.1
Zuurgraad (pH-KCl)	5.2	5.2	4.7 5.8
Organische stof (% droge stof)	6.8	6.4	3.8 11.2
Wateroplosbaar P (Pw, mgP ₂ O ₅ /l)	41	44	20 78
Extraheerbaar P (PAI, mg P ₂ O ₅ /100g)	43	54	30 90

* (ng) = niet gemeten



Praktijk: AMOEBE van MVH op zandgrond op basis van hoog-geprioriteerde parameters ('belang voor functies')

Figuur 10. Praktijk-amoebe voor melkveehouderij op zandgrond.

Bodemdeskundigen en bodemgebruikers hebben het belang van specifieke ecologische diensten voor de bodem onder melkveehouderijbedrijven gekwantificeerd. Met een kleine set parameters (zie de amoebe) kan een betrouwbaar beeld gemaakt worden van de belangrijkste ecologische diensten van de bodem als maat voor de integrale bodemgezondheid.

Bijlage 8. Bodemecosysteemypering en referentie: halfnatuurlijk grasland op zand

Inleiding

Halfnatuurlijke graslanden (HNG) zijn er in grote verscheidenheid (Bal et al. 2001). De kenmerkende samenstelling van plantensoorten is uiteindelijk afhankelijk van de combinatie van abiotische omstandigheden (nat versus droog, voedselrijkdom, pH, bodemtype, voormalig bodemgebruik, oppervlakte, reliëf) en biotische interacties (vegetatie, fauna, landschap). Subtypes binnen een bepaalde categorie ontstaan vaak door verschillen in het huidige beheer (maaien/beweiden).

De typering van het bodemecosysteem voor halfnatuurlijk grasland inclusief de duurzame referentie dient gezien te worden als representatief voor de meest natuurlijke vorm van grasland in Nederland, op basis van beschikbare gegevens. Graslanden met een productiedoelstelling vallen onder het bodemgebruik melkveehouderij. Een te verwachten verschil tussen melkveehouderij en halfnatuurlijk grasland is dat als gevolg van de productiedoelstelling het bodembeheer een nivellerende uitwerking heeft op het bodemleven. Met andere woorden, als gevolg van bodembeheer gericht op productie zullen ‘natuurlijke’ verschillen in het bodemleven verminderen. Om een voorbeeld te noemen, als gevolg van nauwkeurig ontwateren en grondwaterbeheer zal de vochtuishouding in de bodem bij bedrijven met een productiedoelstelling veel minder verschillen dan de vochtuishouding bij halfnatuurlijke graslanden. Het is bekend dat de vochtuishouding een groot effect heeft op het bodemecosysteem (Mulder et al. 2003).

De typering van halfnatuurlijk grasland is bedoeld als beoordelingsinstrument bij de transitie van melkveehouderij naar halfnatuurlijk grasland, of voor melkveehouderij met een extra natuurdoelstelling. De keuze voor percelen met extra natuurdoelstellingen zal gedaan moeten worden op basis van de ‘bodemgezondheid’, en deze kan afgemeten worden aan de typering en de referentie voor HNG.

In vergelijking met de typering voor melkveehouderij op zand, is de typering voor halfnatuurlijk grasland veel minder robuust. Er zijn minder locaties geanalyseerd (10 locaties HNG; 81 bedrijven MVH) en de variatie bij halfnatuurlijke graslanden is veel groter dan bij de melkveehouderij. Bij toepassing van deze typering dient hier rekening mee te worden gehouden, bijvoorbeeld door een nieuwe typering uit te werken op basis van nieuwe en/of locatiespecifieke gegevens (Faber et al. 2004).

Beheer van de graslanden

De onderzochte locaties zijn allemaal in beheer bij de Provinciale Landschappen en Staatsbosbeheer. Een aantal locaties is relatief kort (enkele jaren) uit agrarische productie en bevindt zich in een overgangssituatie. Op ruim de helft van de locaties vindt een of andere

vorm van begrazing plaats. Het komt voor dat (een deel) van het gebied verpacht is aan een boer die voor de extensieve beweiding door vee zorgt. Aangezien de exacte gegevens over het aantal stuks vee en het begraasde oppervlak ontbreken, kan slechts een grove inschatting gemaakt worden van de veebezetting. Dit is zoveel mogelijk gedaan op basis van mondelinge informatie van de terreinbeheerder en waarnemingen in het veld. Voor een aantal locaties is onduidelijk of begrazing plaats vindt. Daarnaast worden verschillende vormen van maaibeheer aangetroffen. De variatie in deze factoren is te groot om binnen de beperkte dataset categorieën te maken.

De bemonsterde locaties en selectie van de duurzame referentie

Het aantal halfnatuurlijke graslanden in de Bobi-database is nog beperkt. De 10 locaties zijn geselecteerd uit het Landelijk Meetnet Flora-, Milieu- en Natuurkwaliteit (LMF; De Knecht et al. 2003). De locaties zijn grotendeels afkomstig uit de groepen 'nat, matig voedselrijk grasland (natuurdoeltype 3.32) en 'bloemrijk grasland van het zand- en veengebied' (natuurdoeltype 3.38). Aangezien het bodembologisch onderzoek is uitgevoerd in terreinen van circa 10 ha., is er ook een grote heterogeniteit in de samenstelling van planten op een dergelijk oppervlak. De vegetatietypering is daarom alleen bedoeld als algemene aanduiding (Tabel 7). Er is gebruik gemaakt van inventarisaties die als volgt zijn geïnclassificeerd:

- Fysisch Geografische Regio: negen locaties op de hogere zandgronden (HZ 1 t/m 4) en één in het rivierengebied.
- Volgens de IPI-indeling vallen twee locaties onder de categorie agrarisch gebied (411), één locatie is een blauwgrasland (IPI-242), zes locaties zijn halfnatuurlijke vochtige tot natte graslanden op matig voedselrijke gronden (243), en één locatie is een halfnatuurlijk droog grasland op matig voedselrijke grond (245).

De referentielocaties zijn geselecteerd op basis van de voorkomende vegetatie (zie ook Tabel 7); kan deze als halfnatuurlijk worden beschouwd of heeft het gebied nog te veel kenmerken van een productief grasland? Daarnaast is de selectie van referentielocaties gebaseerd op de stabiliteit van het bodemvoedselweb. Deze wordt, kort gezegd, uitgedrukt in de verhouding van aantallen en het lichaamsgewicht van de onderzochte groepen bodemorganismen. In de optimale situatie resulteert de verhouding tussen M(assa) en N (aantal) in een regressielijn met een richtingscoëfficiënt van -1,00.

De gehanteerde criteria hebben geleid tot de selectie van zes locaties (van de 10 in totaal) die gezamenlijk het referentiebeeld vormen (Tabel 8). Uitbreiding van het aantal waarnemingen binnen de groep halfnatuurlijke graslanden is gewenst voor een beter onderbouwd landelijk beeld. De amoëbe-grafiek (Figuur 12) van de halfnatuurlijke graslanden geeft een impressie van de punten waarop de gemiddelde indicatorwaarden van de referenties verschillen van de overige locaties. Deze lijken vooral gelegen te zijn in een aantal microbiologische en bodemchemische aspecten. Het is opvallend dat de gemiddelde veedichtheid en fosforconcentraties in de bodem op de referentielocaties hoger worden ingeschat dan in de overige halfnatuurlijke graslanden. Figuur 13, tenslotte, toont de praktijk-amoëbe.

De vegetatie

De gestreepte witbol (*Holcus lanatus* L.) is een van de meest voorkomende grassen in het land. Samen met de geknikte vossenstaart (*Alopecurus geniculatus* L.) en het ruw beemdgras (*Poa trivialis* L.), die een hele kleine toename door inzaaiing tonen, markeren deze grassen een kwalitatieve achteruitgang van voedselarme milieus, onder andere omdat voedselrijke milieus intussen massief in gebieden voorkomen waar voorheen voedselarme milieuomstandigheden heersten. In het bijzonder zijn grassen zoals het Engels raaigras (*Lolium perenne* L.) en gewone kroppaar (*Dactylis glomerata* L.) dominant in ons landschap. Het raaigras was inderdaad karakteristiek bij de bemonsterde locaties, maar de gewone kroppaar kwam maar op één van de locaties voor. Een sterke achteruitgang is ook duidelijk onder de kruiden. Zelfs het verwilderde gewoon vingerhoedskruid (*Digitalis purpurea* L.) is van de zuidoostelijke Veluwezoom verdwenen. Orchideeën, zoals *Dactylorhiza maculata* (2 keer) en *D. majalis* (1 keer), worden sporadisch aangetroffen op natte, voedselarme en soms zwak zure bodems. In Tabel 7 zijn alle soorten die vaker dan een keer voorkomen getoond. In tegenstelling tot de plantensociologische opnames, waar mate van bedekking van de begroeiing wordt geschat van ‘nauwelijks aanwezig’, tot zeer frequent, zegt de aanwezigheid van een plantensoort niets over die kwantiteit (dichtheid en bedekking) van de soort ter plaatse. Voordeel ervan is dat floristische inventarisaties relatief gemakkelijk zijn te maken en daardoor met elkaar vergeleken en gebruikt kunnen worden voor een kwalitatieve beoordeling van referentielocaties. Deze floristische samenstelling geeft namelijk een beeld van de bodemgesteldheid ter plekke en verschaft informatie over mogelijke versterking.



Figuur 11. Foto van een halfnatuurlijk bloemrijk grasland. De veedichtheid en de maai-frequentie zijn zeer laag. Het grasland wordt niet bemest. De vegetatie bij de 10 locaties bestaat uit grassen en een niet gesloten kruidlaag op droge tot vochtige, al of niet betreden bodem.

Maatregelen

Percelen met een relatief voedselarme bodem zijn het meest geschikt voor de transitie van melkveehouderij naar halfnatuurlijk grasland. Een verleden als een soortenrijk grasland helpt mee om de natuurdoelstellingen snel te bereiken, door aanwezigheid van een zaadbank. De nabijheid van andere halfnatuurlijke graslanden vergroot de mogelijkheden voor kolonisatie van de percelen met verdwenen soorten. Op zandgrond gaat verschralen sneller dan op veen en kleigronden.

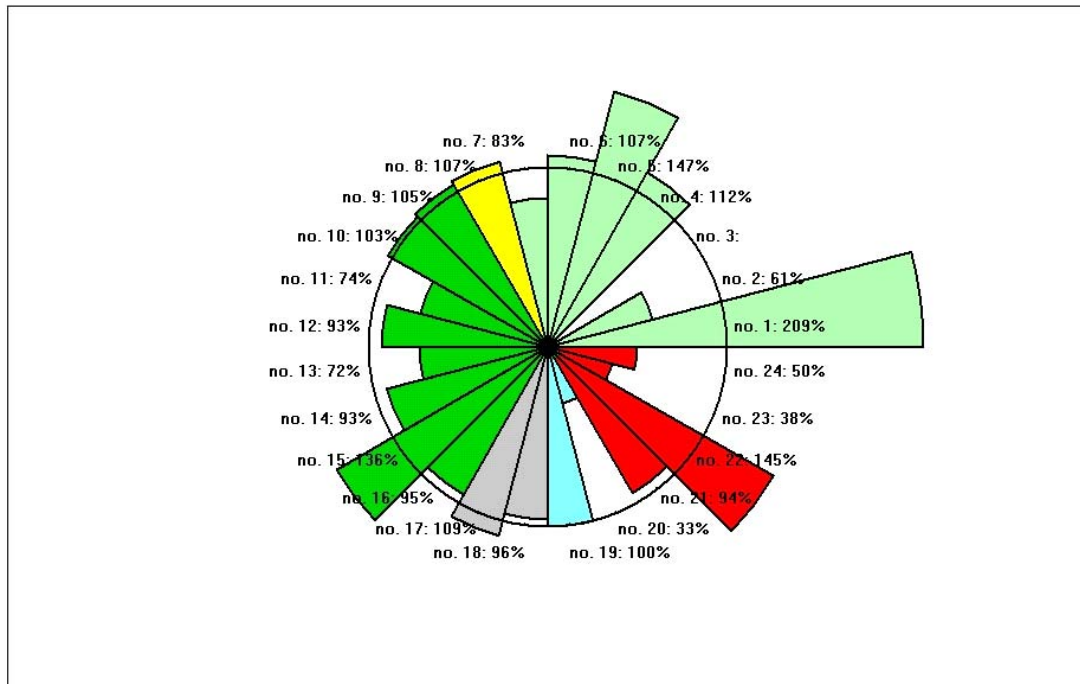
De maatregelen die genomen kunnen worden om tot verschraling van de bodem en tot de gewenste natuurontwikkeling te komen hebben voor een groot deel te maken met de nutriëntenstatus van de bodem, de bodembewerking en het grondwaterbeheer. In de regel dient men zich te richten op verschraling, dat betekent: niet bemesten, eventueel eenmalig maïs kweken om de verschraling sneller in te zetten, eventueel de voedselrijke toplaag af te plaggen (niet aan te bevelen), de eerste keren het maaisel af te voeren, niet vaker te maaien dan nodig is, geen bagger op het perceel te brengen, eventueel extensief te beweiden (minder dan 0,5 GVE/ha als alternatief voor maaien) en het waterpeil op te zetten.

De praktijk-amoebe (Figuur 13) laat zien dat met een beperkt aantal parameters de integrale gezondheid van de bodem bepaald kan worden, door de belangrijkste ecologische diensten van de bodem te beoordelen.

Tabel 7. Vegetatie op de 10 locaties met halfnatuurlijk grasland uit het meetnet. De volgorde van de bemonsterde locaties is gebaseerd op verschillen in de diversiteit (van hoog naar laag). Alleen plantensoorten die vaker dan 1 keer zijn aangetroffen zijn in deze tabel opgenomen.

Taxon	61500	60639	40050	110336	110309	30343	30158	30128	30135	110720
<i>Alopecurus geniculatus</i>			+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Poa trivialis</i>		+	+	+	+	+	+	+	+	
<i>Ranunculus repens</i>		+	+	+	+	+	+	+		+
<i>Trifolium repens</i>	+		+	+	+	+	+		+	+
<i>Holcus lanatus</i>	+	+		+	+	+	+	+		
<i>Lolium perenne</i>				+	+	+	+	+		+
<i>Taraxacum officinale</i>		+	+			+	+	+		+
<i>Cardamine pratensis</i>		+	+	+	+	+				
<i>Cerastium fontanum</i> ssp. <i>vulgare</i>			+	+		+	+		+	
<i>Juncus effusus</i>	+	+			+			+	+	
<i>Ranunculus acris</i>	+	+	+			+	+			
<i>Rumex acetosa</i>		+	+	+			+	+		
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	+	+	+	+						
<i>Leontodon autumnalis</i>		+	+			+	+			
<i>Poa annua</i>				+				+	+	+
<i>Agrostis capillaris</i>				+	+		+			
<i>Agrostis stolonifera</i>				+	+	+				
<i>Cirsium palustre</i>	+	+			+					
<i>Elymus repens</i>						+		+	+	
<i>Glyceria fluitans</i>		+		+						+
<i>Phleum pratense</i> ssp. <i>pratense</i>								+	+	+
<i>Plantago lanceolata</i>	+	+	+							
<i>Rumex obtusifolius</i>						+			+	+
<i>Alopecurus pratensis</i>		+	+							
<i>Bellis perennis</i>			+			+				
<i>Carex ovalis</i>		+			+					
<i>Dactylorhiza maculata</i>	+	+								
<i>Deschampsia cespitosa</i>	+		+							
<i>Festuca pratensis</i>	+								+	
<i>Hypochaeris radicata</i>							+			
<i>Juncus acutiflorus</i>	+	+								
<i>Juncus conglomeratus</i>	+	+								
<i>Lychnis flos-cuculi</i>		+	+							
<i>Lysimachia vulgaris</i>	+	+								
<i>Lythrum salicaria</i>	+	+								
<i>Plantago major</i> ssp. <i>major</i>						+				+
<i>Poa pratensis</i>		+					+			
<i>Quercus robur</i>	+			+						
<i>Rumex crispus</i>								+	+	
<i>Taraxacum celticum</i>		+								+
<i>Trifolium pratense</i>	+		+							
<i>Veronica serpyllifolia</i>				+						+
<i>Vicia cracca</i>	+		+							

AMOEBE-diagram gemiddelde bodemkwaliteit HNG op zandgrond (n=4), uitgedrukt als %afwijking van de referentie (n=6)

**Verklaring parameters:**

no. 1: Bacteriële biomassa:	no. 13: Regenwormendichtheid:
no. 2: Bacteriële activiteit:	no. 14: Regenwormendiversiteit:
no. 3: Bacteriële diversiteit:	no. 15: Micro-arthropoden dichtheid:
no. 4: Potentiële C-mineralisatie:	no. 16: Micro-arthropoden diversiteit:
no. 5: Potentiële N-mineralisatie:	no. 17: Allometric (M,N) regression:
no. 6: Biolog helling:	no. 18: Biodiversiteit (integraal):
no. 7: Biolog omzettingcapaciteit:	no. 19: Aandeel grasland:
no. 8: Schimmel biomassa:	no. 20: Veebezetting:
no. 9: Nematodendichtheid:	no. 21: Zuurgraad:
no. 10: Nematodendiversiteit:	no. 22: Organische stof:
no. 11: Potwormendichtheid:	no. 23: Wateroplosbaar P (Pw):
no. 12: Potwormendiversiteit:	no. 24: Extraheerbaar P (PAI):

Figuur 12. Amoebe-grafiek met gemiddelde waarden van diverse bodemkwaliteitsparameters ten opzichte van een 'duurzame' referentie (op 100% gesteld) voor halfnatuurlijke graslanden op zand.

De cirkel representeert de duurzame situatie (gemiddelde van 6 locaties). Via de taartpunten is aangegeven hoe de gemiddelde toestand van de halfnatuurlijke graslanden afwijkt van de duurzame referentie (op basis van slechts 4 locaties):

- lichtgroene en gele taartpunten: microbiële parameters
- donkergroene taartpunten: overige biologische parameters
- grijze taartpunten: biodiversiteit
- blauwe taartpunten: gegevens over het bodembeheer
- rode taartpunten: chemische parameters
- ontbrekende taartpunten: geen gegevens van betreffende parameter aanwezig.

NB Er zijn momenteel geen gegevens voorhanden van de fysische parameters

Tabel 8. Parameterwaarden van de bodemecosysteemypering voor halfnatuurlijk grasland op zand.

In de tabel zijn beschikbare waarden gegeven (chemisch, fysisch, biologisch en overige parameters) met een veronderstelde relatie met de bodemkwaliteit. De gegevens van 10 locaties uit het bestand van de Bodembioologische Indicator zijn als basis gebruikt.

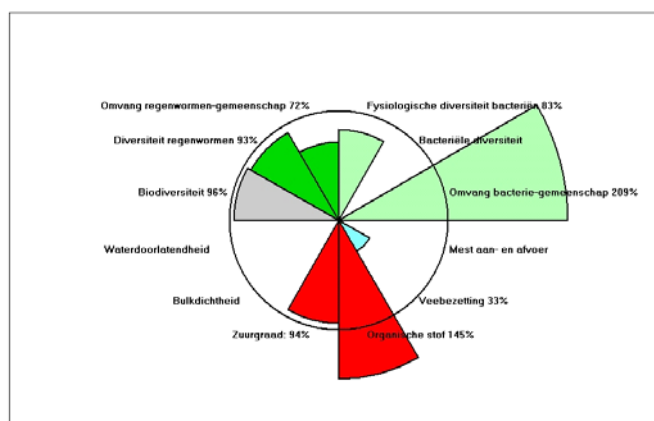
	Referentie HNG gemiddelde (n=6)	HNG Nederland**	
		gemiddelde (n=4)	Percentielen 5% 95%
Bacteriële biomassa (µg C/g droge grond)	142	297	- -
Bacteriële activiteit (Thymidine-inbouw; pmol/g.h)	20	12	- -
Bacteriële diversiteit (aantal DNA banden)	(ng)*	(ng)	- -
Potentiële C-mineralisatie (mg C/kg.wk)	104	117	- -
Potentiële N-mineralisatie (mg N/kg.wk)	10	14	- -
Biolog (helling AWCD-curve)	0.3	0.4	- -
Biolog omzettingcapaciteit (µg grond/50%omz.cap).	350	290	- -
Schimmel biomassa (µg C/g droge grond)	23	25	- -
Nematoden dichtheid (n/100g verse grond)	4960	5190	- -
Nematoden diversiteit (aantal taxa)	36	37	- -
Potwormen dichtheid (n/m ²)	14200	10500	- -
Potwormen diversiteit (aantal taxa)	14	13	- -
Regenormen dichtheid (n / m ²)	150	108	- -
Regenwormen diversiteit (aantal taxa)	7	7	- -
Micro-arthropoden dichtheid (n/ m ²)	87900	120000	- -
Micro-arthropoden diversiteit (aantal taxa)	24	23	- -
Allometric (M,N) regression	-1.01	-1.10	- -
Biodiversiteit (integraal, aantal taxa)	59	57	- -
Aandeel grasland (%)	100	100	- -
Veebezetting (GVE/ha)	0.3	0.1	- -
Zuurgraad (pH-KCl)	4.6	4.3	- -
Organische stof (% droge stof)	7.9	11.4	- -
Wateroplosbaar P (Pw, mgP ₂ O ₅ /l)	26	10	- -
Extraheerbaar P (PAI, mg P ₂ O ₅ /100g)	34	17	- -

* (ng) = niet gemeten

** De gegevens voor het beeld van Nederland zijn afkomstig van 4 locaties. dit is te weinig om betrouwbare percentielen te berekenen.

Figuur 13. Praktijk-amoebe voor halfnatuurlijk grasland op zandgrond.

Bodemdeskundigen en natuurbeheerders hebben het belang van specifieke ecologische diensten voor de bodem onder halfnatuurlijk graslanden gekwantificeerd. Met een kleine set parameters (zie de amoebe) kan een betrouwbaar beeld gemaakt worden van de belangrijkste ecologische diensten van de bodem als maat voor de integrale bodemgezondheid.



Praktijk-AMOEBE van HNG op zandgrond op basis van hoog-geprioriteerde parameters ('belang voor functies')