

Typeringen van bodemecosystemen in Nederland met tien referenties voor biologische bodemkwaliteit

Rutgers, M. (editor), RIVM
Mulder, C. (editor), RIVM
Schouten, A.J. (editor), RIVM
Bloem, J., Alterra, Wageningen UR
Bogte, J.J., RIVM
Breure, A.M., RIVM
Brussaard, L., Sectie Bodemkwaliteit, Wageningen Universiteit
De Goede, R.G.M., Sectie Bodemkwaliteit, Wageningen Universiteit
Faber, J.H., Alterra, Wageningen UR
Jagers op Akkerhuis, G.A.J.M., Alterra, Wageningen UR
Keidel, H., Bedrijfslaboratorium voor grond- en gewasanalyse (Bgg), Oosterbeek
Korthals, G.W., Praktijkonderzoek Plant en Omgeving (PPO), Wageningen UR
Smeding, F.W., Louis Bolk Instituut, Driebergen
Ter Berg, C., Louis Bolk Instituut, Driebergen
Van Eekeren, N., Louis Bolk Instituut, Driebergen

Contact:

Rutgers, M.
LER/MEV/RIVM
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.

© RIVM 2007

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave'.

Rapport in het kort

Typeringen van bodemecosystemen in Nederland met tien referenties voor biologische bodemkwaliteit

Het RIVM heeft samen met diverse kennisinstituten tien veel voorkomende bodems gekarakteriseerd waar de bodemkwaliteit op orde is, zogeheten referenties voor biologische bodemkwaliteit (RBB). Hier bestonden nog geen criteria voor. Deze referenties kunnen als streefbeeld gebruikt worden om bodemgebruik duurzamer te maken.

De referenties zijn bepaald voor tien combinaties van bodemgebruik (onder andere melkveehouderij, akkerbouw en heide) en bodemtype (zand, veen, klei en löss). Dit is representatief voor driekwart van het bodemoppervlak van Nederland.

Diverse onderzoekers, onder andere op het gebied van bodemecologie, microbiologie en agrarisch bodembeheer, hebben locaties geselecteerd die volgens hun maatstaven een relatief goede bodemkwaliteit hebben. Hiervoor maakten zij gebruik van de gegevens van het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB) over de toestand van de bodem. Op basis van deze informatie zijn de tien referenties bepaald. Het rapport bevat ook gemiddelde waarden van de biologische, chemische en fysische eigenschappen van de bodem, evenals een maat voor de spreiding van de gegevens. De mate waarin bodemorganismen voorkomen en hun diversiteit zijn ook beschreven.

Trefwoorden:

Referenties voor Biologische Bodemkwaliteit (RBB), Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB), duurzaam bodemgebruik, bodemecosysteem, bodemorganismen, ecosysteemdiensten, ecologische processen

Abstract

Soil system profiling in the Netherlands with ten references for biological soil quality

RIVM and other institutes described ten soil system profiles (the so-called biological soil references) according to the soil quality as inferred from existing empirical evidence of previously investigated sites. This is a pilot study, since no specific protocol has yet been established. These new references aim to be used as benchmarks to implement a more sustainable use of soils.

References were derived from a combination of data from land-use (e.g. dairy farms, arable fields and heathlands) and soil type (sand, peat, clay and loess). Our approach covers the soils of about three-quarters of the surface of the Netherlands.

Several scientists, with expertise ranging from soil ecology and microbiology up to rural management, selected sites where data was seen by them as representative of good soil quality. For this purpose these scientists used soil monitoring data from the Netherlands Soil Monitoring Network (in Dutch: LMB). The ten references were derived from empirical data. This report also provides the averages and frequency distributions of biological, chemical and physical soil characteristics. The extent to which soil organisms occur has been described as well as their biodiversity.

Key words:

Netherlands Soil Monitoring Network, Soil biological indicator, ecosystem services, soil quality, soil biota

Voorwoord

Dit rapport bevat gegevens van tien jaar monitoring met de Bodembioologische indicator (Bobi) in het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB). Het bestand met de biologische, chemische en fysische karakteristieken van de bodem op 325 gemonsterde locaties wordt beschouwd als het meest omvangrijke in zijn soort en representatief voor driekwart van het bodemoppervlak Nederland. Verschillende onderzoekers hebben uitgaande van dit beeld voor de eerste keer locaties geselecteerd waarvan zij aannemen dat de bodemkwaliteit relatief gezien op orde is. Dit is gebeurd voor tien verschillende maar veelvoorkomende categorieën van bodemgebruik en bodemtype. Het was een spannend proces, omdat het begrip ‘bodemkwaliteit’ vanuit verschillende disciplines steeds een eigen uitwerking kent, die niet altijd tot overeenstemming heeft geleid. Bovendien was het nog een onontgonnen terrein. De selecties zijn gecombineerd tot zogenaamde referenties voor biologische bodemkwaliteit (RBB).

De in dit rapport gepubliceerde set met tien referenties is een eerste voorzichtige stap naar een maatlat voor duurzaam bodemgebruik. De verwachting is dat met meer gegevens over de biologische, chemische en fysische toestand van de bodem van meer locaties in Nederland, en de toenemende kennis op het gebied van bodemkwaliteit, de referenties in de nabije toekomst verbeterd zullen kunnen worden.

Het omvangrijke bestand met gegevens over de bodem is met de hulp van veel personen tot stand gekomen. Ze hebben essentiële bijdragen geleverd aan de planning en uitvoering van de monstercampagnes, analyse van de bodemmonsters, en interpretatie van de gegevens. Wij zijn de volgende personen zeer dankbaar voor hun bijdragen:

Rob Baerselman	Niels Masselink
Popko Bolhuis	Tamas Salanki
Bert van Dijk	Kristel Siepman
Wim Dimmers	Erik Steenbergen
Arthur de Groot	Meint Veninga
Henri den Hollander	An Vos
Frido van der Horst	Harm van Wijnen
Ruud Jeths	Marja Wouterse

Diverse foto's zijn beschikbaar gesteld door W. Dimmers, R. van Kats, A. de Groot, M. Zaanen en auteurs.

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.

Inhoud

UITGEBREIDE SAMENVATTING	11
LEESWIJZER	15
1 INLEIDING IN DE LEVENDE BODEM	17
1.1 DE BODEM LEEFT OP VELE FRONTEN	17
1.2 DE BODEM, BODEMPROCESSEN EN ORGANISMEN	18
1.3 HET VOEDSELWEB VAN DE BODEM.....	18
1.4 DE ORGANISMEN PER GROEP	19
1.4.1 <i>Bacteriën</i>	19
1.4.2 <i>Schimmels</i>	20
1.4.3 <i>Protozoën</i>	20
1.4.4 <i>Aaltjes (nematoden)</i>	21
1.4.5 <i>Potwormen (enchytraeën)</i>	22
1.4.6 <i>Regenwormen</i>	22
1.4.7 <i>Mijten en springstaarten</i>	23
1.5 BODEMPROCESSEN.....	23
1.5.1 <i>Koolstof- en energiestromen</i>	24
1.5.2 <i>Stikstofcyclus</i>	24
1.5.3 <i>Water</i>	25
1.5.4 <i>Structuurvorming</i>	25
2 TOESTAND VAN DE BODEM IN NEDERLAND	27
2.1 HET LANDELIJK MEETNET BODEMKWALITEIT.....	27
2.2 RESULTATEN VAN TIEN JAAR MONITORING	30
3 NAAR EEN DUURZAMER BODEMGEBRUIK	33
3.1 DE DUURZAME BODEM.....	33
3.2 DE MAATSCHAPPELIJKE DIENSTEN VAN DE BODEM	33
3.3 PLANNING VAN DE BOVEN- EN ONDERGROND	35
3.4 PRESTATIES VAN DE ECOSYSTEEMDIENSTEN	35
3.5 HANDELINGSPERSPECTIEF VOOR DE BODEMGEBRUIKERS	36
3.6 DUURZAME REFERENTIES EN TYPERINGEN VAN BODEMECOSYSTEMEN.....	37
4 REFERENTIES EN TYPERINGEN VAN BODEMECOSYSTEMEN	39
4.1 INLEIDING	39
4.2 WERKWIJZE EN SELECTIE VAN REFERENTIES	41
4.3 REFERENTIES VOOR BIOLOGISCHE BODEMKWALITEIT (RBB)	42
4.4 AKKERBOUW OP KLEI	53
4.4.1 <i>Inleiding akkerbouw op klei</i>	53
4.4.2 <i>De klei onder de akkerbouwbedrijven</i>	54
4.4.3 <i>Selectie van de referentie akkerbouw op klei</i>	54
4.4.4 <i>Prestaties van de ecosysteemdiensten in de bodem van de Hoeksche Waard</i>	55
4.5 (MELK)VEEHOUDERIJ OP KLEI.....	56

4.5.1	<i>Inleiding veehouderij op klei</i>	56
4.5.2	<i>De klei onder de veehouderijbedrijven</i>	57
4.5.3	<i>Selectie van de referentie (melk)veehouderij op klei</i>	57
4.6	(MELK)VEEHOUDERIJ OP LÖSS (LIMBURGSE KLEI)	58
4.6.1	<i>Inleiding löss</i>	58
4.6.2	<i>De löss onder de veehouderijbedrijven</i>	59
4.6.3	<i>Selectie van de referentie veehouderij op löss</i>	59
4.7	(MELK)VEEHOUDERIJ OP VEEN	59
4.7.1	<i>Inleiding veehouderij op veen</i>	60
4.7.2	<i>De veenbodem onder de veehouderijbedrijven</i>	60
4.7.3	<i>Selectie van de referentie veehouderij op veen</i>	60
4.7.4	<i>Maatregelen voor duurzame (melk)veehouderij op veen</i>	61
4.8	AKKERBOUW OP ZAND.....	61
4.8.1	<i>Inleiding akkerbouw op zand</i>	62
4.8.2	<i>De zandbodem onder de bedrijven</i>	62
4.8.3	<i>Selectie van de referentie akkerbouw op zand</i>	62
4.8.4	<i>Maatregelen voor duurzame akkerbouw op zand</i>	63
4.9	(MELK)VEEHOUDERIJ OP ZAND	63
4.9.1	<i>Inleiding veehouderij op zand</i>	63
4.9.2	<i>De zandbodem onder de veehouderijbedrijven</i>	64
4.9.3	<i>Selectie van de referentie (melk)veehouderij op zand</i>	64
4.9.4	<i>Maatregelen bij (melk)veehouderij op zand</i>	65
4.10	HALFNATUURLIJK GRASLAND OP ZAND	68
4.10.1	<i>Inleiding halfnatuurlijk grasland op zand</i>	68
4.10.2	<i>Beheer van halfnatuurlijke graslanden op zand</i>	69
4.10.3	<i>Selectie van de referentie halfnatuurlijk grasland op zand</i>	69
4.10.4	<i>De vegetatie op halfnatuurlijke graslanden</i>	70
4.10.5	<i>Maatregelen en beheer van halfnatuurlijke graslanden</i>	70
4.11	HEIDE OP ZAND	71
4.11.1	<i>Inleiding heide</i>	71
4.11.2	<i>De bodem onder de heide</i>	72
4.11.3	<i>Bemonsterde locaties en selectie van een duurzaam heideterrein</i>	72
4.11.4	<i>Maatregelen voor heidebeheer</i>	72
4.12	GEMENGD BOS OP ZAND.....	73
4.12.1	<i>Inleiding gemengd bos</i>	73
4.12.2	<i>De bodem onder de bossen</i>	74
4.12.3	<i>Bemonsterde locaties en selectie van duurzame bosbodems</i>	75
4.13	STADSPARKEN	76
4.13.1	<i>Inleiding stadsparken</i>	76
4.13.2	<i>De bodem onder de parken</i>	77
4.13.3	<i>Selectie van referentie stadspark</i>	77
5	BODEM BIOLOGISCHE MONITORING EN ANALYSE	79
5.1	WIJZE VAN MONSTERNAME.....	79
5.2	MICROBIOLOGISCHE ANALYSES	80
5.3	NEMATODEN	82

5.4	POTWORMEN.....	83
5.5	REGENWORMEN.....	84
5.6	MICRO-ARTHROPODEN	84
	LITERATUUR.....	87
	BIJLAGE 1. BEGRIPPEN.....	91
	BIJLAGE 2. ECOSYSTEEDIENSTEN	95

Uitgebreide samenvatting

De bodem in Nederland wordt zeer intensief gebruikt voor landbouw, wonen, werken, vervoer, natuur en recreatie. Dit intensieve gebruik stelt eisen aan de kwaliteit van de bodem. De bodem levert maatschappelijke diensten, zogenaamde ‘ecosysteemdiensten’, die vaak essentieel zijn voor het bodemgebruik. Het bodemgebruik is soms niet duurzaam. Dit kan leiden tot uitputting van ecosysteemdiensten, hier en nu, maar eventueel ook later en elders. In de grote beleidsvoornemens van het ministerie van VROM, zoals het Nationaal Milieubeleidsplan Vier, de Toekomstagenda Milieu en de Beleidsbrief Bodem, staat een verandering in het bodembeleid aangekondigd (VROM 2003): *het bodemgebruik moet duurzaam worden !*

Voor de beoordeling van de kwaliteit van de bodem en de duurzaamheid van het bodemgebruik zijn maatlatten en meetsystemen nodig (TCB 2003). Deze maatlatten en meetsystemen zijn in ontwikkeling (Rutgers et al. 2005). Een onderdeel van de maatlat betreft de referentie voor biologische bodemkwaliteit (RBB). De referentie beschrijft een bodem die volgens de huidige inzichten een goede kwaliteit heeft naar biologische, chemische en fysische maatstaven.

Het RIVM heeft samen met andere kennisinstituten tien referenties voor een goede biologische bodemkwaliteit afgeleid. De referenties zijn specifiek voor tien combinaties van bodemgebruik (bijvoorbeeld melkveehouderij, akkerbouw, heide) en bodemtype (zand, veen, klei, löss). De gegevens over de toestand van de bodem zijn afkomstig van de abiotische en biologische monitoring in het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB). Onderzoekers met een verschillende achtergrond hebben locaties geselecteerd die volgens hun maatstaven en op basis van de beschikbare gegevens van de monitoring een bodem hebben met een relatief goede kwaliteit. Deze selecties werden gecombineerd tot referenties. Het rapport bevat ook gemiddelden en een spreidingsmaat (percentielen) van de biologische, chemische en fysische gegevens van tien jaar bodembioologische monitoring. De referenties en de gemiddelden vormen een typering van een bodemecosysteem en zijn bedoeld als onderdeel van een instrument voor duurzaam bodemgebruik in Nederland.

De onderzoekers hebben voor de selectie van referenties gebruik gemaakt van specifieke deskundigheid op de gebieden bodembeheer (rotatie, vruchtwisseling, bodembewerking, gebruik van meststoffen en bestrijdingsmiddelen) en bodemecologie (stabiliteit, biodiversiteit, functionele diversiteit, ecologische processen en bodemleven). Tien jaar bodembioologische monitoring in het LMB heeft gegevens opgeleverd van in totaal van 285 locaties verdeeld over tien categorieën bodemgebruik en bodemtype. De locaties zijn representatief voor een agrarisch bedrijf (globaal 10 tot 40 hectare), voor een park (1 tot 5 hectare) of voor een natuurterrein met een uniforme vegetatie (2 tot 10 hectare). De volgende categorieën werden in het kader van de monitoring bemonsterd en geanalyseerd:

- 87x (melk)veehouderij op zand,
- 50x (melk)veehouderij op klei,
- 34x akkerbouw op zand,
- 30x akkerbouw op klei,
- 20x gemengd bos op zand,
- 19x (melk)veehouderij op veen,
- 11x (melk)veehouderij op löss (Limburgse klei),
- 10x heide op zand,
- 10x halfnatuurlijk grasland op zand,
- 14x stadsparken.



Aan molshopen is goed te zien dat de bodem leeft

Voor elke categorie hebben onderzoekers een referentie vastgesteld. Dit rapport bevat ook een beschrijving en de gemiddelden en de range van de biologische, chemische en fysische gegevens van alle locaties per categorie. Gezamenlijk vormt deze informatie de typering van de meest voorkomende bodemecosystemen in Nederland.

Amoebegrafieken zijn geschikt om de prestaties van de bodem integraal samen te vatten. Het is mogelijk om de biologische, chemische en fysische parameters afzonderlijk weer te geven in een amoebe, met behoud van overzicht. Het is ook mogelijk om de prestaties van afzonderlijke ecosysteemdiensten in een amoebe samen te vatten door de waarden van subsets van biologische, chemische en fysische parameters te integreren (Breure et al. 2004, Schouten et al. 2004, Rutgers et al. 2005).

De referenties voor biologische bodemkwaliteit zijn geselecteerd op basis van de beschikbare gegevens en de kennis bij de betrokken onderzoekers. Wanneer nieuwe gegevens over de bestaande of nieuwe categorieën beschikbaar komen worden nieuwe referenties afgeleid. Enkele onderzoekers hebben aangegeven dat de categorie (melk)veehouderij op klei gesplitst moet worden in twee categorieën, namelijk zeeklei en rivierklei. Voor sommige categorieën bleek het lastig te zijn om een eenduidige referentie te kiezen, bijvoorbeeld voor de categorie gemengd bos op zand en de stadsparken, vanwege uiteenlopende beoordelingen. Ten slotte zijn sommige categorieën wat betreft het aantal bemonsterde locaties sterk ondervertegenwoordigd wat de keuze voor de locatie met een goede bodemkwaliteit bemoeilijkt (heide, halfnatuurlijk grasland en veehouderij op löss). De knelpunten bij de huidige

selecties van referenties en de werkwijze waarbij de oordelen van verschillende onderzoekers gecombineerd worden, zullen in de nabije toekomst geëvalueerd en aangepast worden.

De referenties en de landelijke gemiddelden zijn bedoeld om ingezet te worden voor duurzaam bodemgebruik in Nederland. Ze bieden de mogelijkheid om de bodemkwaliteit te beoordelen in kwantificeerbare eenheden en op een transparante wijze. De toestand op een locatie kan vergeleken worden met de gemiddelde toestand in Nederland en met de referentie voor biologische bodemkwaliteit (RBB). De referentie is representatief voor een bodem met een relatief goede biologische, chemische en fysische kwaliteit.

Voor sommige toepassingen zal de precisie van een referentie uit de huidige set van tien onvoldoende zijn. Bij het beschikbaar komen van aanvullende gegevens zullen nieuwe referenties vastgesteld worden. Toch kan het voorkomen dat een geschikte referentie niet beschikbaar is, vanwege specifieke, locatie-eigen omstandigheden of vanwege een nieuwe categorie die niet voorkomt in de monitoring van het LMB (bijvoorbeeld duinbodems). In dat geval kan gekozen worden voor de afleiding van een gebiedseigen of locatiespecifieke referentie. Met een dergelijke referentie kan de benodigde extra precisie verkregen worden.

Een referentie uit de huidige set van tien is representatief voor een bestaande bodem met een goede kwaliteit op basis van biologische, chemische en fysische parameters. Dit betekent niet dat deze bestaande bodems: 1) theoretisch maximaal presteren, 2) in de praktijk maximaal presteren voor de afzonderlijke ecosysteemdiensten (of deelaspect van het bodemecosysteem). Bij het eerste punt speelt mee dat de selectie van de referentie gebaseerd is op de bestaande locaties in het LMB. Het is goed mogelijk dat er buiten het LMB locaties voorkomen die een betere bodemkwaliteit hebben, maar die nog niet gemeten zijn. Bij het tweede punt speelt mee dat de selectie gebaseerd is op een integrale afweging betreffende de bodemkwaliteit. Op een andere locatie zal de integrale bodemkwaliteit dus minder zijn. Een slechtere bodemkwaliteit sluit niet uit dat de prestatie van één of enkele ecosysteemdiensten beter is dan de bij de referentie (voor een voorbeeld zie Rutgers et al. 2007).

De referenties voor biologische bodemkwaliteit zijn een onderdeel van een maatlat voor bodemkwaliteit binnen een raamwerk voor duurzaam bodemgebruik. Voor bodemgebruikers heeft een dergelijk raamwerk alleen praktische betekenis als er mogelijkheden zijn om de bodemkwaliteit te verbeteren door het bodemgebruik daadwerkelijk duurzamer te maken. Met andere woorden er is een handelingsperspectief nodig, of 'knoppen' om de bodemkwaliteit via bodembeheer te beïnvloeden. Bij de afleiding van de referenties voor biologische bodemkwaliteit is hier weinig aandacht aan besteed. Op dit moment ontbreekt volgens ons een integrale en op consensus gebaseerde visie op de relatie tussen maatregelen in het kader van het bodembeheer en het effect hiervan op de prestaties van de ecosysteemdiensten. In een eerste aanzet is een aantal in de grijze literatuur genoemde vuistregels opgenomen bij de betreffende typering van het bodemecosysteem in dit rapport. De relaties tussen maatregelen in het kader van het bodembeheer en de prestaties van de ecosysteemdiensten is onderwerp van een vervolgstudie.

De referenties voor biologische bodemkwaliteit sluiten aan bij de aanpak zoals die in de EU-Kaderrichtlijn Water (KRW) wordt gehanteerd met de zogenaamde goede ecologische toestand (GET). Binnen de randvoorwaarden van de menselijke (gewenste) beïnvloeding worden binnen de KRW situaties beschreven voor oppervlaktewateren die representatief zijn voor de GET. De referenties biologische bodemkwaliteit (RBB) kunnen beschouwd worden als een beschrijving van de goede ecologische toestand van de bodem, binnen de randvoorwaarden van het bodemgebruik. Het is dus

goed mogelijk dat de referenties een betekenis krijgen in de toekomstige EU-Kaderrichtlijn Bodem (KRB).

De referenties voor biologische bodemkwaliteit zijn een onderdeel van een raamwerk voor duurzaam bodemgebruik. Wij zijn van mening dat de introductie van deze referenties voor biologische bodemkwaliteit een eerste voorzichtige, maar veelbetekenende, stap is naar een integrale kwaliteitsbeoordeling van de bodem. Voor de beoordeling van de bodemkwaliteit is de voorgestelde werkwijze nog geheel nieuw, ook internationaal. Het is theoretisch een alternatief voor het klassieke en meer thematisch georiënteerde bodembeleid gericht op bedreigingen en bescherming van de bodem (onder andere bodemverontreiniging, mest en bestrijdingsmiddelen). Voorlopig vervangt deze werkwijze nog niet deze thematisch georiënteerde benaderingen, want daar is ze nog te grof voor en nog te weinig uitgekristalliseerd. Bovendien zijn de ministeries van VROM en LNV niet van plan om duurzaam bodemgebruik een normatief karakter mee te geven, zodat het minder vrijblijvende thematische beleid nodig blijft.

Meer gegevens en ervaring zullen snel tot aanpassing en verbetering leiden van de referenties en het raamwerk voor duurzaam bodemgebruik, juist omdat we aan het begin staan. De aangekondigde veranderingen in het Nederlandse en Europese bodembeleid zullen de ontwikkelingen naar een integrale bodemkwaliteitsbeoordeling stimuleren.

Wanneer bodemgebruikers en onderzoekers met hun bodem aan de slag gaan, met het oogmerk om de integrale bodemkwaliteit vast te stellen en het bodemgebruik op een duurzamer niveau te brengen, dan zijn wij zeer geïnteresseerd om ervaring, kennis en kunde te delen.

Leeswijzer

Het rapport bevat informatie voor lezers op de werkterreinen ‘praktijk van het bodembeheer’, ‘ontwikkelingen in het bodembeleid’, ‘bodemecologie van begeleide en agrarische ecosystemen’ en ‘stressecologie’. Afhankelijk van de interesse en de achtergrondkennis van de lezer zijn bepaalde delen uit het rapport relevant en hopelijk interessant, maar andere delen misschien overbodig. Het rapport is ook niet het eindproduct van de ontwikkeling naar een raamwerk voor duurzaam bodemgebruik, maar moet gezien worden als de verantwoording bij een stap in de goede richting, namelijk een eerste set van tien Referenties voor Biologische Bodemkwaliteit (RBB). Er zullen nog vele goede stappen gezet moeten worden naar een volledig operationeel en betrouwbaar instrumentarium om duurzaam bodemgebruik te ondersteunen. Praktijkervaring dient aangevuld te worden met resultaten van onderzoek en aanvullende gegevens over de bodembiologische toestand van Nederland in relatie tot het bodembeheer. Hiervoor is de komende jaren intensieve samenwerking nodig tussen bodemgebruikers, bodemonderzoekers en beleidsontwikkelaars.

De volgende informatie is in dit rapport te vinden in diverse hoofdstukken en paragrafen.

- Hoofdstuk 1 bevat een inleiding in de levende bodem en de betekenis van de levende bodem voor mens en maatschappij. De informatie is in principe uit standaard tekstboeken te verkrijgen en hier samengevat. Er is aandacht besteed aan een rationele verhouding tussen de te onderscheiden werkvelden in de bodemecologie.
- In hoofdstuk 2 is de toestand van de Nederlandse bodem samengevat. Deze is gebaseerd op gegevens van tien jaar monitoring in het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB) met biologische, chemische en fysische parameters.
- Hoofdstuk 3 schetst de beleidsontwikkelingen en het voornemen om duurzaam bodemgebruik te stimuleren. Zowel het perspectief van gebruikers op kleine als op grotere ruimtelijke schaal komen aan bod. Ecosysteemdiensten zijn een sleutel tot een zinvolle beoordeling van de bodemkwaliteit in relatie tot de duurzaamheid van het bodemgebruik op verschillende ruimtelijke schalen.
- Hoofdstuk 4 bevat de kern van het rapport, namelijk de tien typering van bodemecosystemen in Nederland. Er zijn tien tabellen en amoeba-grafieken met gegevens over het gemiddelde en een spreidingsmaat van de biologische, chemische en fysische gegevens over de bodem in Nederland en bij de referentiekwaliteit. Tevens zijn er tien op zichzelf staande beschrijvingen opgenomen van de karakteristieken van het bodemgebruik en bodemtype, inclusief een verantwoording van het proces dat leidde tot de selectie van de referentie. Er is in dit rapport geen analyse gedaan naar de relaties tussen de referenties en de verschillen tussen de door onderzoekers veronderstelde goede kwaliteit en de gemiddelde toestand in Nederland. In dit rapport wordt slechts incompleet en indicatief geschets wat het handelingsperspectief van de bodembeheerder is om de bodemkwaliteit positief te beïnvloeden. Ook dit is een onderwerp voor vervolgonderzoek.
- In hoofdstuk 5 is een beschrijving opgenomen van de wijze waarop de verschillende biologische, chemische en fysische gegevens op een structurele manier gedurende ongeveer tien jaar monitoring zijn verkregen.
- In de bijlagen is een begrippenlijst opgenomen en een nadere definitie van de ecosysteemdiensten.

1 Inleiding in de levende bodem

1.1 De bodem leeft op vele fronten

Het bewustzijn in Nederland over de kwetsbaarheid van het milieu neemt toe. We zijn ons steeds meer bewust van de negatieve gevolgen van menselijk handelen op de leefomgeving. De vragen die nu op ons afkomen, luiden niet meer 'of', maar in 'welke mate' we onze leefomgeving beïnvloeden en wat we ons kunnen veroorloven voordat ons 'life support systeem' te ver wordt aangetast. De compartimenten lucht en water trekken al heel lang de aandacht, getuige de discussie over klimaatverandering en de maatregelen om oppervlaktewateren minder te belasten met nutriënten en verontreiniging.

De bodem is een achtergebleven compartiment wat dit betreft. De meeste Nederlanders maken zich overigens wel zorgen over bodemverontreiniging, maar zijn zich toch niet erg bewust van de kwetsbaarheid van de bodem als onderdeel van onze leefomgeving. De bodem is echter veel meer dan het bezinkputje voor allerlei milieuschadelijke stoffen. De bodem leeft, want allerlei bodemorganismen en bodemprocessen zorgen er voor dat planten en dieren kunnen groeien, het klimaat aangenaam blijft, de boer kan produceren, sierplanten onze tuinen versieren en natuurlijke systemen zich kunnen ontwikkelen tot een mooi en divers landschap dat tegen een stootje kan. Helaas is de bodem, anders dan de compartimenten lucht en water, ondoordringbaar voor het blote oog, en zijn de daarin levende organismen meestal onzichtbaar. Bovendien verlopen bodemprocessen relatief traag, waardoor de problemen zich pas na lange tijd openbaren. De opbouw van een volwaardig bodemsysteem duurt tientallen jaren en gaat gedurende duizenden jaren door. Bodem is voor bodemgebruikers eigenlijk een natuurlijke hulpbron die nauwelijks vernieuwbaar is.

De bedreigingen zijn talrijk. Door schaalvergroting en intensivering in de agrarische sector dreigt de landbouwbodem bepaalde kwaliteiten kwijt te raken. Overvloedig gebruik van meststoffen, bestrijdingsmiddelen en bodembewerking moet verliezen als gevolg van uitputting en verdichting compenseren, met aantasting van de gezonde bodem tot gevolg. Door afdichting van de bodem met wegen, gebouwen, infrastructuur, kassen en onderhoudsvriendelijke tuinen gaat het waterbergende en zelfreinigende vermogen van de bodem achteruit, met als gevolg wateroverlast en een slecht klimaat in de binnensteden. Verlaging van de grondwaterstand en bodembewerking veroorzaken verlies van stabiele bodemorganische stof. Dat vertaalt zich in een vermindering van het vermogen om water op te slaan en extra uitstoot van CO₂, een belangrijk broeikasgas.

Er zijn ook positieve ontwikkelingen. Ook het bodembewustzijn in Nederland neemt toe. Er is regelgeving om het gebruik van bestrijdingsmiddelen en meststoffen te beperken, zodat problemen met voedselkwaliteit en belasting van grond- en oppervlaktewater voorkomen worden. De ecologische productie in de landbouwsector met aandacht voor een gezonde bodem groeit gestaag. Het besef dringt door dat de bodem duurzaam gebruikt dient te worden, door een balans aan te brengen in de schade voor het milieu, economische opbrengsten, en maatschappelijke effecten. Ook het voorkomen van problemen in de toekomst spelen hierbij een rol. In 2003 hebben de ministeries van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM), Landbouw, Visserij en Voedselveiligheid (LNV) en Verkeer en Waterstaat (V&W) een brief gestuurd aan de Tweede Kamer, waarin het bodembeleid voor de komende decennia werd toegelicht (VROM 2003). Niet slechts de effecten van bodemverontreiniging en andere bedreigingen verdienen aandacht, maar ook het duurzame gebruik van de

bodem. Hierbij gaan we uit van het natuurlijke vermogen van de bodem om diensten aan de maatschappij te leveren, zoals de ondersteuning van landbouwproductie door levering van voedingsstoffen, een goede bodemstructuur voor een gezond wortelstelsel en een natuurlijke weerstand tegen ziekten en plagen. Deze 'ecosysteemdiensten' van de bodem mogen door de bodemgebruiker ten volle benut worden, mits dit op een duurzame wijze gebeurt. Het vermogen van de bodem om ecosysteemdiensten te leveren dient dus intact te blijven. De ecosysteemdiensten worden behandeld in hoofdstuk 3.

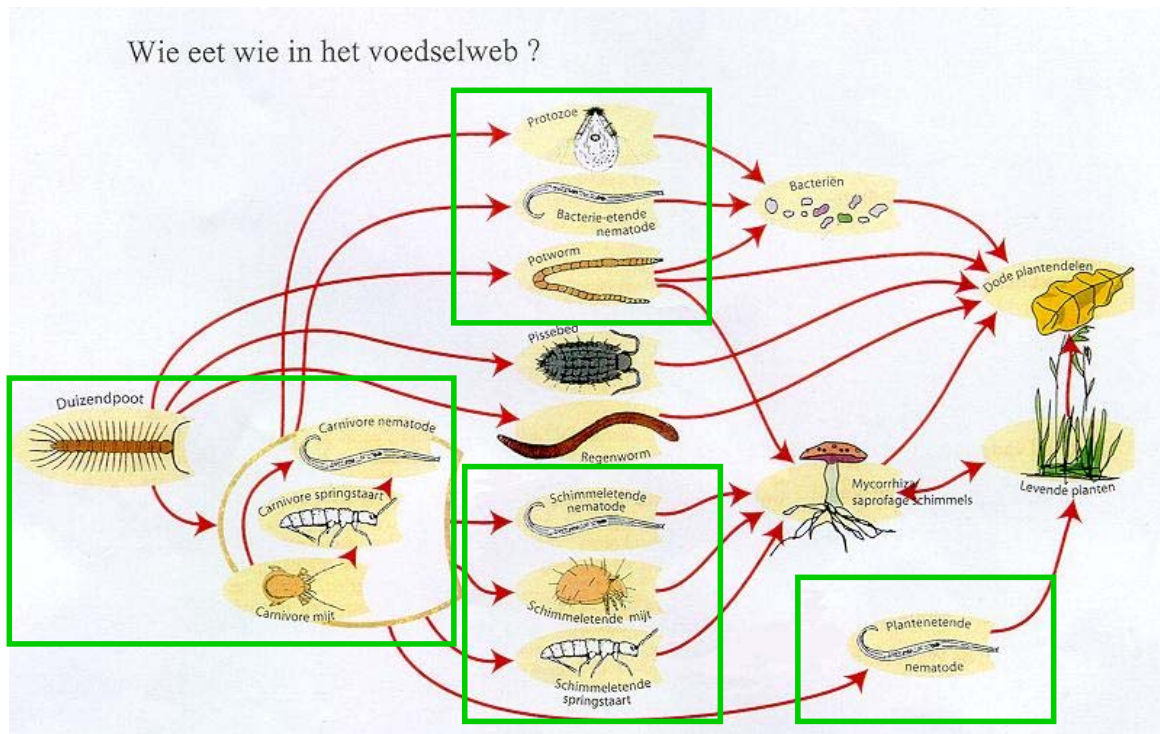
1.2 De bodem, bodemprocessen en organismen

De bodem is dynamisch op een grote tijdschaal. De vorming van het bodemprofiel neemt tienduizenden jaren in beslag volgens een cyclisch proces van opbouw en afbraak. Nadat een bodem door wind, water of ijs wordt afgezet, dan is de ontwikkeling van vegetatie een essentieel element in de bodemvorming. 'Jonge' bodems bevatten meestal veel mineralen en kalk, maar weinig organische stof. Plantaardig materiaal dat via fotosyntheseprocessen gevormd wordt, is de primaire bron van energie en koolstof voor het terrestrische ecosysteem, inclusief de bodem. De wortelstelsels van planten zijn van groot belang voor de bodemstructuur en omgekeerd. Hierdoor bouwt zich een humusprofiel op, waardoor de bodem steeds vruchtbaarder wordt. Bij de oudere bodems verdwijnt de kalk, vindt verzuring plaats en verdicht de bodem zich weer.

De bodem is niet alleen een onmisbare schakel in onze leefomgeving, de bodem is zelf een levend systeem. In de bovenste bodemlaag bevindt zich een onvoorstelbare hoeveelheid leven. In een gezonde akker is per hectare de ondergrondse biomassa van alle organismen samen te vergelijken met 60 schapen of vijf koeien. Bij grasland is het vaak nog hoger. De biodiversiteit is ook overweldigend. In een schep zwarte tuingrond is de biodiversiteit vergelijkbaar met die van het Amazone regenwoud. Al dat leven maakt samen het bodemecosysteem: een complex van organismen met een onderlinge samenhang in een dynamische omgeving, via interacties zoals predator-prooi-relaties en de omzetting van energie en stoffen.

1.3 Het voedselweb van de bodem

In de bodem heeft elk organisme een functie en een eigen plek in het zogenaamde voedselweb (Figuur 1). Grote groepen organismen hebben zich gespecialiseerd in de afbraak van dood organisch materiaal (decompositie). Andere groepen organismen voeden zich met bacteriën (de bacterie-etters), schimmels (schimmeleeters), plantenwortels (plantenetters) of dieren (rovers en toppredatoren). Sommige soorten bodemorganismen zijn zeer kieskeurig en voeden zich met slechts enkele andere soorten. Andere soorten zijn niet kieskeurig, de alleseters. Je kunt op verschillende manieren naar het bodemvoedselweb kijken, bijvoorbeeld via de samenhang tussen de voedselgroepen, via de stromen van koolstof en energie, en via het evenwicht tussen grote en kleine organismen. Het verschil in afmeting tussen een bacterie en een regenworm bestrijkt ongeveer vijf ordes van grootte (een factor 100000). In een evenwichtige bodem zijn er veel kleine en weinig grote organismen in een specifieke verhouding aanwezig.



Figuur 1. Schematische voorstelling van het bodemvoedselweb

De niet ingekaderde groepen zijn betrokken bij decompositieprocessen en primaire productie. De groen ingekaderde groepen staan voor planteneters, schimmeleters en bacterie-eters. De laatste, meest links ingekaderde groep betreft de rovers en de toppredatoren (figuur van R. de Goede).

1.4 De organismen per groep

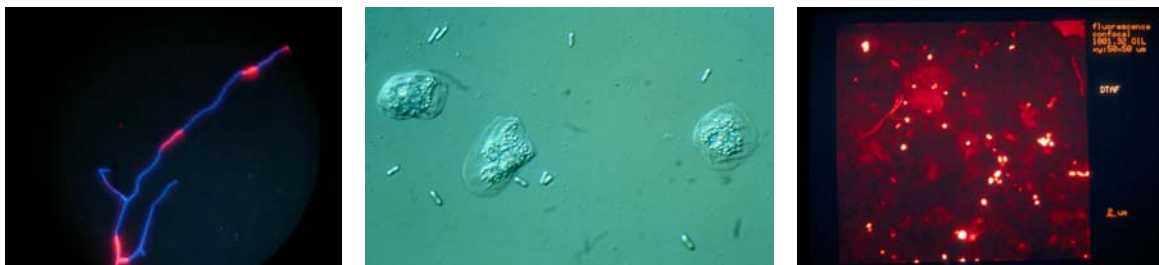
1.4.1 Bacteriën

De kleinste en meest talrijke organismen zijn de bacteriën met een omvang van een paar micrometer (1/1000 mm; Figuur 2). Ze komen praktisch overal voor. In een theelepeltje zwarte grond zitten enkele miljarden bacteriën, verdeeld over tienduizenden soorten. Het begrip 'soort' heeft voor bacteriën niet dezelfde betekenis als bij hogere organismen. De meeste bacteriën delen zich ongeslachtelijk, maar zijn wel in staat om op andere manieren genetisch materiaal op te nemen. Bacteriën worden vooral onderscheiden op basis van de omzettingen van organische verbindingen. De meeste soorten zijn nog niet zijn geïdentificeerd. Desondanks is over de betekenis van bacteriën voor het bodemecosysteem al veel kennis verzameld. Door hun kleine afmetingen kunnen ze heel efficiënt voedingsstoffen opnemen. Ze concurreren met plantenwortels om mineralen. Ze zijn direct betrokken bij vrijwel elke kringloop van stoffen, zoals die van koolstof, stikstof, fosfaat, ijzer en zwavel. Hierdoor hebben ze een belangrijke invloed op de levering van voedingsstoffen aan planten en zelf zijn bacteriën een voedingsbron voor vele andere dieren. Zonder de aanwezigheid van bacteriën stopt de bodem direct met alle functies. Belangrijke groepen bacteriën zijn de afbrekers ('decomposers') van organische stof (bijvoorbeeld cellulose). Sommige breken verontreinigende stoffen af, zoals olie en bestrijdingsmiddelen.

Eigenlijk kan de bodem beschouwd worden als een grote bioreactor, waarin de bacteriën het leeuwendeel van alle omzettingen voor hun rekening nemen. In tegenstelling tot een bioreactor is de bodem slecht gemengd en zeer heterogeen. Hierdoor zijn er onnoemelijk veel gradiënten en microniches, en kan de biodiversiteit enorme proporties aannemen. Sommige bacteriën kunnen snel groeien en daardoor snel reageren op veranderingen in omstandigheden en beschikbaarheid van voedsel (zoals mest). Bacteriën groeien minder snel in zure en voedselarme bodems.

1.4.2 Schimmels

Een andere groep micro-organismen zijn de schimmels (Figuur 2). Schimmels vormen draden (hyfen) met een dikte van slechts enkele micrometers en een lengte van wel enkele meters. Door hun draden kunnen schimmels voedsel en water van verschillende plekken halen. Daardoor kunnen ze beter tegen drogere en voedselarme omstandigheden. Ook kunnen ze beter tegen zure bodems dan bacteriën. In tegenstelling tot veel bacteriën groeien ze niet onder zuurstofarme omstandigheden zoals in natte gronden. Bij intensieve grondbewerking verdwijnen de schimmels. De meeste schimmels laten zich nauwelijks boven de grond zien, al kent iedereen kent de paddenstoelen die uit de grond komen om een groot aantal sporen te verspreiden. Het grootste deel van de betreffende schimmel bevindt zich echter onder de grond als mycelium. Natuurlijke bodems zoals bij hei, bos en halfnatuurlijk grasland bevatten meer schimmels dan landbouwbodems. Schimmels zijn belangrijk bij de afbraak van moeilijk afbreekbare organische stof, zoals lignine, een bestanddeel van planten. Naast vrijlevende schimmels komen in de bodem ook schimmels voor die een levensgemeenschap met plantenwortels vormen, de zogenaamde mycorrhiza's. Dit levert voor de plant en de schimmel voordeel op. De plant krijgt beschikking over veel meer water en mineralen doordat de wortels sterk worden verlengd door de hyfen. De schimmel krijgt er voeding (suikers) voor terug. Schimmels zijn vervolgens een voedingsbron voor bodemdieren.



Figuur 2. Afbeeldingen van drie groepen micro-organismen

Links schimmeldraden (actieve en niet-actieve delen zijn verschillend gekleurd, vergroting 400x);

Midden protozoën (temidden van kleinere bacteriën; vergroting 800x);

Rechts bacteriën (fluorescerend gekleurd, oplichtende puntjes tussen allerlei bodemdeeltjes; vergroting 1000x).

1.4.3 Protozoën

Protozoën zijn microscopisch kleine eencellige dieren met afmetingen van 5 tot 500 micrometer (Figuur 1). Ze kunnen niet tegen droogte. Net als bacteriën leven ze in de waterfilm rond en tussen gronddeeltjes en op organisch materiaal zoals plantenresten. In tegenstelling tot grotere bacterie-eters, kunnen ze zich bewegen in de meeste kleine poriën in de grond. Bij de vertering komen mineralen (zoals stikstof en fosfaat) vrij die daardoor weer beschikbaar komen voor plantengroei (nutriëntenkringloop). Protozoën kunnen bijna net zo snel groeien als bacteriën, en zijn daardoor in

staat de hoeveelheid bacteriën onder controle te houden. Deze begrazing stimuleert de activiteit van de bacteriën, net als een grasmaaier de groei van het gazon. Protozoën worden op hun beurt weer gegeten door grotere beestjes, en vormen zo een schakel in het voedselweb.

1.4.4 Aaltjes (nematoden)

Nematoden, in het Nederlands ‘aaltjes’ geheten, komen in alle bodems voor. In 100 gram grond bevinden zich tussen 2000 en 10000 nematoden, in een diversiteit van 20 tot 60 soorten. Ze zijn meestal tussen 0,2 en 3 millimeter lang en slechts 0,01 tot 0,06 millimeter dik (Figuur 3). De aaltjes zijn transparant of wit van kleur. Onder de microscoop zijn ze te zien als bewegende miniaturpalingen.

Nematoden voeden zich met bacteriën, schimmels, (kleine) dieren en planten. Aan de hand van de voornaamste voedselbron worden de functionele groepen onderscheiden: bacterivore, fungivore, carnivore, omnivore, algenetende en herbivore nematoden. De functionele groep waartoe een soort behoort kan in veel gevallen al bepaald worden aan de hand van de vorm van de monddeltes en de specifieke differentiatie van monddelen, bijvoorbeeld een mondstekel of tandjes. De nematodenfauna is ook in te delen op grond van andere ecologische eigenschappen, de zogenaamde ‘life history’ kenmerken. Deze eigenschappen hebben te maken met de manier waarop een organisme reageert op zijn leefomgeving. Soorten die bijvoorbeeld vlug kunnen reageren op plotselinge voedselrijke situaties, door snelle reproductie worden ‘kolonisators’ genoemd. Daarnaast zijn er ‘persisterende’ organismen met een lange levenscyclus, lage reproductie en specifieke aanpassingen aan de leefomgeving. Deze tweede ecologische indeling ligt ten grondslag aan de Maturity Index (MI) voor nematoden (Bongers 1990). Omgevingsfactoren zoals voedselbeschikbaarheid, vegetatiesamenstelling en abiotische omstandigheden (bodemtype) bepalen welke combinatie van nematodensoorten (en functionele groepen) wordt aangetroffen.

Wereldwijd wordt veel onderzoek gedaan naar soorten met ziekteverwekkende eigenschappen zoals een parasitaire levenswijze op landbouwgewassen, vanwege het economische belang dat hiermee gemoeid is. In de landbouw kunnen plagen ontstaan doordat het ecosysteem uit balans is. Het ecologische nematodenonderzoek heeft in de laatste 20 jaar pas enige omvang van betekenis gekregen. Nematoden dragen bij aan de ecologische functie van de bodem. Microbivore nematoden beïnvloeden bijvoorbeeld de mineralisatie van nutriënten door begrazing van bacteriën en schimmels. Herbivore nematoden voeden zich met sappen (celinhoud) uit plantenwortels en hebben zo invloed op de primaire productie in het terrestrische ecosysteem.



Figuur 3. Nematoden (aaltjes)

Nematoden zijn er in soorten en maten, maar ze worden vaak aan de monddelen geïdentificeerd. Van een iets grotere afstand (midden) lijken het kleine wormen.

1.4.5 Potwormen (enchytraeën)

Potwormen of enchytraeën zijn kleine witte wormen die verwant zijn aan regenwormen (Figuur 4). Ze verschillen van regenwormen door hun grootte (tot 2 cm lang en slechts 1-2 mm dik) en hun witte kleur. Potwormen komen in vrijwel elke bodem voor en hun dichtheid varieert van enkele honderden tot een paar miljoen per vierkante meter. In Nederland komen ruim 50 soorten voor. Hun betekenis voor de bodem kan worden vergeleken met die van regenwormen. Alleen de schaal waarop ze de bodem beïnvloeden verschilt door hun geringe grootte. Zodoende zijn ze een aanvulling op de activiteiten van regenwormen. Ze voeden zich met afgestorven resten van planten en dieren. Daarom worden de grootste aantallen aangetroffen in de meeste oppervlakkige bodemlagen en in de strooisellaag van bossen. Net als regenwormen zijn ze in staat om gangetjes te graven en zich actief door de bodem te bewegen. Hierdoor spelen ze een rol bij het mengen van organische resten door het bodemprofiel. Bovendien vormen de uitwerpselen van potwormen kleine bodemaggregaten die samen met de door de bodem gemengde organische resten, bijdragen aan de bodemstructuur. De verschillende soorten potwormen hebben ieder zo hun eigen voorkeur voor bepaalde bodem- of vegetatietypen. Ook verschillen de soorten in hun voorkeur voor de bodemlaag waarin zij voorkomen. Vanwege deze verschillen en onze kennis hiervan zijn potwormen waardevolle bioindicatoren.

1.4.6 Regenwormen

Iedereen kent de regenworm. In tegenstelling tot veel andere bodemdieren zijn regenwormen vanwege hun afmetingen goed zichtbaar ('macrofauna'; Figuur 4). In Nederland zijn ongeveer 25 soorten bekend; de meeste worden slechts zelden waargenomen, enkele zijn zeer algemeen. Op grond van hun voedselkeuze, gedrag en voorkomen in de bodem kunnen regenwormen worden ingedeeld in drie ecologische groepen. De betekenis van regenwormen voor het functioneren van de bodem hangt hier sterk mee samen. 'Pendelaars' zijn grote soorten die vooral verticale gangen maken en bladmateriaal tot diep in de bodem brengen. Zij bevorderen het gehalte aan organisch stof en verbeteren de bodemvruchtbaarheid en het vochtregulerende vermogen. Regenwormen met een oppervlakkig gangenstelsel bevorderen de compostering van dood plantaardig materiaal. Hun uitwerpselen bevatten grote hoeveelheden stikstof, fosfaat en kalium. Dieper in de bodem levende wormen bewonen geen gangenstelsel, maar graven zich al etende voortdurend een weg door de bodem. Deze 'bioturbatie' stimuleert de microbiële activiteit en bevordert de beluchting van de bodem. Het voorkomen van regenwormen is afhankelijk van bodemeigenschappen zoals zuurgraad, vochtigheid, temperatuur en textuur. Daarnaast moet er ook voldoende voedsel aanwezig zijn. Regenwormen zijn erg gevoelig voor grondbewerking, zoals ploegen en mestinjectie en voor bodemverontreiniging.



Figuur 4. Regenworm en potworm

De regenworm (links) is één van de grootste bodembewoners en wordt beschouwd als 'bodemingénieur'. Regenwormen spelen een essentiële rol in de decompositie en fragmentatie van organische stof en de vorming van een goede bodemstructuur. Wormen vormen vaak het 'stapelvoer' voor kleine zoogdieren en vogels. De potworm (rechts) is veel kleiner en is ook belangrijk voor de decompositie.

1.4.7 Mijten en springstaarten

Na de bacteriën, protozoën en nematoden zijn mijten en springstaarten de meest talrijke kleine beestjes in de grond. Mijten lijken een beetje op kleine spinnetjes. Springstaarten zijn een soort tjoepende insectjes. In een vierkante meter grond in Nederland leven 40 tot 120 duizend individuen. De meeste soorten zijn erg beweeglijk en verspreiden met hun poten of via hun uitwerpselen bacteriën en sporen van schimmels door de grond. In Nederland komen minstens 600 soorten voor die bij onderzoek in groepen worden ingedeeld op basis van hun voeding of hun levenscyclus. Schimmeletende grazers bijvoorbeeld nemen happen van schimmelmatten en eten daarbij hele draden op. Ze hebben behoefte aan een schimmelrijke bodem. Schimmeletende grazers eten alleen de inhoud van schimmels door de schimmeldraden lek te prikken en uit te zuigen. Hierdoor profiteren ze snel van de voedingrijke inhoud maar dragen slechts beperkt bij aan stofstromen omdat de schimmeldraden onverteerd achterblijven. Er zijn ook verschillende rovers, bijvoorbeeld nematodeneters. Voorbeelden van levenscyclusgroepen zijn foretische of asexuele soorten. Een foretische soort is aangepast aan een veranderlijk milieu. Worden de omstandigheden ongunstig, dan klampt hij zich vast aan grotere insecten, bijvoorbeeld muggen of vliegen en verplaatst zich zo snel naar een nieuwe habitat. Bepaalde groepen asexuele soorten rekenen juist op een stabiel milieu. In een stabiel milieu is het een voordeel als de nakomelingen identiek zijn aan de ouders. Voedselgroepen en levenscyclusgroepen zijn waardevolle instrumenten om inzicht te krijgen in de ecologische kwaliteit van een bodem.



Figuur 5. Afbeelding van een mijt (links) en een springstaart (rechts)

1.5 Bodemprocessen

De bodem kan als een grote, ingewikkelde en slecht gemengde bioreactor worden beschouwd. Macro-elementen en energie zijn de primaire dragers van het levende bodemsysteem en van alle leven op aarde. De volgende macro-elementen worden vaak onderscheiden: koolstof (C), waterstof (H), zuurstof (O), stikstof (N), fosfor (P), kalium (K) en zwavel (S). Ketens van koolstof vormen het skelet van de moleculen waaruit het leven is opgebouwd, en waarin de energie van het zonlicht door planten is vastgelegd. Door fotosynthese wordt water en CO₂ omgezet in suikers. De suikers worden omgezet in zetmeel, eiwit en allerlei ander celmateriaal. Via eten en gegeten worden (voedselwebben) stromen de koolstof en energie door het ecosysteem. Na vele stappen wordt alles uiteindelijk weer omgezet in CO₂, dat weer door planten wordt opgenomen. Het leven draait dus om de koolstofkringloop en de energiestromen die daaruit voortvloeien.

Aan de koolstofkringloop zijn ook de kringlopen van andere belangrijke elementen gekoppeld. Veel transport van stoffen verloopt via water. Waterstof, zuurstof en koolstof zijn sleutelementen voor de bulk van het transport en gebruik van energie door het aardse leven. Stikstof is een belangrijk element in eiwitten, biomoleculen die voor alle biologische omzettingen verantwoordelijk zijn. Fosfor is een belangrijk element in DNA-moleculen en voor de zogenaamde oxidatieve fosforylering, het systeem waarmee cellen energie opslaan. Kalium is een stof die de energie- en zoutbalans van cellen reguleert. Zwavel is een essentiële component van veel eiwitten, en voor sommige organismen ook van belang voor de energievoorziening.

Naast bovengenoemde macro-elementen zijn veel andere elementen ook van belang voor het functioneren van het bodemsysteem. IJzer is een sleutelement voor diverse biomoleculen, waaronder chrofyll dat betrokken is bij de vastlegging van energie van de zon via fotosynthese. Mangaan, koper, nikkel, molybdeen en andere metalen zijn onderdeel van eiwitten of betrokken bij bepaalde oxidatie- en reductiereacties in de bodem.

Hieronder volgt een aantal specifieke kenmerken van de belangrijkste processen in de bodem.

1.5.1 Koolstof- en energiestromen

Gereduceerde koolstof komt via het afsterven van planten, via uitscheiding door wortels of via dierlijke mest in de bodem. Deze gereduceerde koolstof is de primaire bron van koolstof en energie van het bodemsysteem. Bacteriën, schimmels, en het hele bodemvoedselweb tot de regenwormen toe, maken hiervan biomassa met behulp van zuurstof en oxidatiereacties waarbij ook veel CO₂ gevormd wordt. De afbraak van organische koolstof tot CO₂ wordt ook wel C-mineralisatie genoemd. Het kan eenvoudig worden gemeten als bodemademhaling (zuurstofverbruik en CO₂-productie). Onder zuurstofloze (natte) omstandigheden kan er ook methaan (CH₄) worden gevormd door zogenaamde methanogene bacteriën, vooral in natte veengronden (moerasgas). Methaan is een veel (23x) actiever broeikasgas dan CO₂. In goed gedraineerde veengrond en minerale grond (zand, zavel, klei) zetten methaanoxiderende bacteriën methaan weer om in het minder schadelijke CO₂. Sommige organismen zoals nematoden en schimmels zijn in staat om levende plantenwortels te gebruiken voor de koolstof- en energiebehoefte.

1.5.2 Stikstofcyclus

Stikstof komt in de bodem via bemesting en afgestorven plantenresten. Door luchtverontreiniging komt een deel zelfs uit de lucht vallen (atmosferische depositie). Sommige soorten bacteriën (stikstof-fixeerders), die meestal leven in wortelknolletjes van vlinderbloemigen zoals klaver en peulvruchten, kunnen stikstof uit de lucht binden en omzetten in organische stikstof. Organische stikstof uit afgestorven bodemorganismen, mest en plantenresten, wordt via het bodemvoedselweb afgebroken en uitgescheiden in minerale vorm als ammonium (N-mineralisatie). Ammonium adsorbeert sterk aan bodemdeeltjes. Door bepaalde bacteriën (nitrificeerders) wordt ammonium omgezet in het veel mobilere nitraat. Nitraat wordt gemakkelijk met water getransporteerd. Daardoor kunnen planten het makkelijk opnemen, maar kan het ook uitspoelen naar het grond- en oppervlaktewater. Dan is de stikstof verloren voor de planten en raakt het grondwater verontreinigd. Onder (natte) zuurstofarme omstandigheden gaan veel bacteriën nitraat gebruiken voor hun ademhaling. Daardoor wordt nitraat gereduceerd tot gasvormig stikstof (N₂). Dit proces heet denitrificatie. Hierdoor gaat stikstof de lucht in en is het verloren voor de plant. Bij denitrificatie komt ook altijd wat van het tussenproduct N₂O (lachgas) vrij. Dit is een krachtig broeikasgas, 300x actiever dan CO₂. Doordat stikstof zo mobiel is en gemakkelijk uit de bodem verdwijnt, is het vaak een beperkende factor voor de plantengroei en een belangrijke factor in de toediening van mest. Stikstofmineralisatie uit organische stof is een belangrijk proces in een vruchtbare bodem.

1.5.3 Water

De grootste transporteur van stoffen en biomoleculen is water. Bodemorganismen bestaan voor een groot deel uit water. De waterbalans en de waterkringloop zijn cruciale aspecten die het leven op aarde mogelijk maken. De bodem beïnvloedt deze cyclus en omgekeerd. De watercyclus in de bodem is van belang voor het leefklimaat in de nabije omgeving en op een grotere ruimtelijke schaal.

Water vertrekt uit het reservoir, de oceaan, via verdamping en begint dan aan de grote kringloop via neerslag, opname in de bodem, opname in planten en dieren, om uiteindelijk weer in de oceaan terug te keren, via verdamping, transport en/of neerslag. Ook op een kleine schaal zijn verdamping, neerslag, opname en lokaal transport in de bodem en organismen te onderscheiden als een onderdeel van de grote kringloop. Een watermolecuul kan dus heel wat organismen passeren voordat het in de oceaan terechtkomt.

Als gevolg van klimatologische factoren (temperatuur, wind, luchtvochtigheid, neerslag en droogte), de waterbehoefte van het terrestrische ecosysteem en de beweeglijkheid van watermoleculen variëren de watercondities in de bodem. Soms is de bodem droog en soms veel te nat en zelden is het precies goed. Ook onder droge omstandigheden is in de kleinste poriën meestal nog water aanwezig, maar dit kan alleen met veel moeite door planten en dieren worden opgenomen. De bodem fungeert als een spons die bij een overschot water kan opnemen zonder te verdrinken, en bij een tekort gedoseerd water kan afstaan aan het terrestrische ecosysteem. De bodemstructuur is een cruciale factor hiervan.

1.5.4 Structuurvorming

De bodemstructuur, het waterhoudend vermogen en het vermogen om nutriënten vast te houden (nutriëntenretentie) wordt bevorderd door schimmels en bacteriën die gronddeeltjes samenklonteren tot aggregaten. De activiteit van bacteriën en schimmels wordt gestimuleerd door vraat van protozoën, nematoden, micro-arthropoden, potwormen en regenwormen. De stabiele uitwerpselen en het graafgedrag van laatstgenoemde groepen verbeteren de porositeit en doorluchting van de grond, en bevorderen de doorworteling, zodat een sterker en productiever gewas kan groeien. De bodemstructuur verbetert door het ingraven van plantenresten (aanvoer van organisch materiaal) door bepaalde soorten regenwormen, omdat dit leidt tot een groter waterhoudend vermogen. De afvoer van overvloedig regenwater verloopt vooral via diepe verticale gangen van pendelende soorten. Grondbewerking en bemesting hebben een directe invloed op regenwormen en micro-organismen en bepalen dus de bodemstructuur en bodemvruchtbaarheid.

2 Toestand van de bodem in Nederland

2.1 Het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit

Het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB) is in 1993 van start gegaan. Het is oorspronkelijk opgezet om een landelijk beeld te geven van de concentraties van verontreinigende stoffen in de bodem. Het LMB bevat in totaal 200 locaties; 20 locaties in elke categorie met een unieke combinatie van bodemgebruik en bodemtype. De biologische monitoring in het LMB is opgestart in 1997 (Schouten et al. 1997, 2002). Hiervoor zijn naast het LMB ongeveer 180 extra locaties geselecteerd die vanuit bodemecologisch perspectief interessant zijn (natuurterreinen, stadsparken en biologische bedrijven). Alle ongeveer 380 locaties worden in een cyclus van 6 of 7 jaar bemonsterd. De spreiding van de monsterlocaties over Nederland is in Figuur 6 aangegeven. Momenteel zijn er van elke locatie gegevens beschikbaar van tenminste één meetronde.

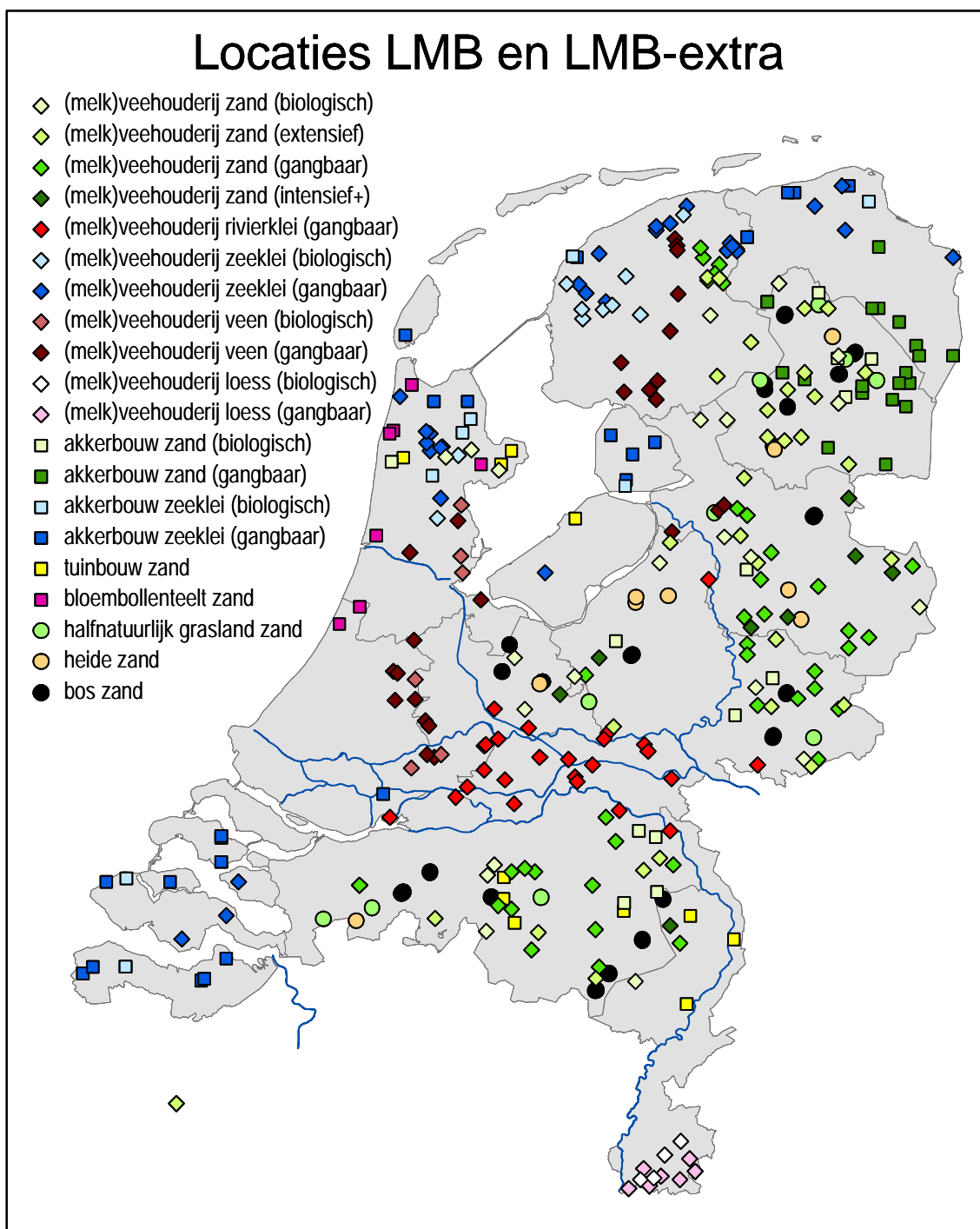
Naast een standaardanalyse van de bodem met een set chemische parameters, wordt de bodem ook gekarakteriseerd met de zogenaamde Bodembiologische Indicator (Bobi) en een aantal extra fysische eigenschappen (onder andere bulkdichtheid, indringweerstand en vochtgehalte). Met Bobi worden bodemleven en bodemprocessen op een slimme wijze gemeten. Daarnaast worden ook gegevens over het bodembeheer en bedrijfsvoering verzameld. Bobi bevat indicatoren voor de volgende organismen en processen (Schouten et al. 1997, 2002):

- Koolstofkringloop en stikstofkringloop
- Bacteriën en schimmels
- Aaltjes (nematoden)
- Potwormen (enchytraeëen)
- Regenwormen (lumbriciden)
- Mijten en springstaarten (micro-arthropoden)

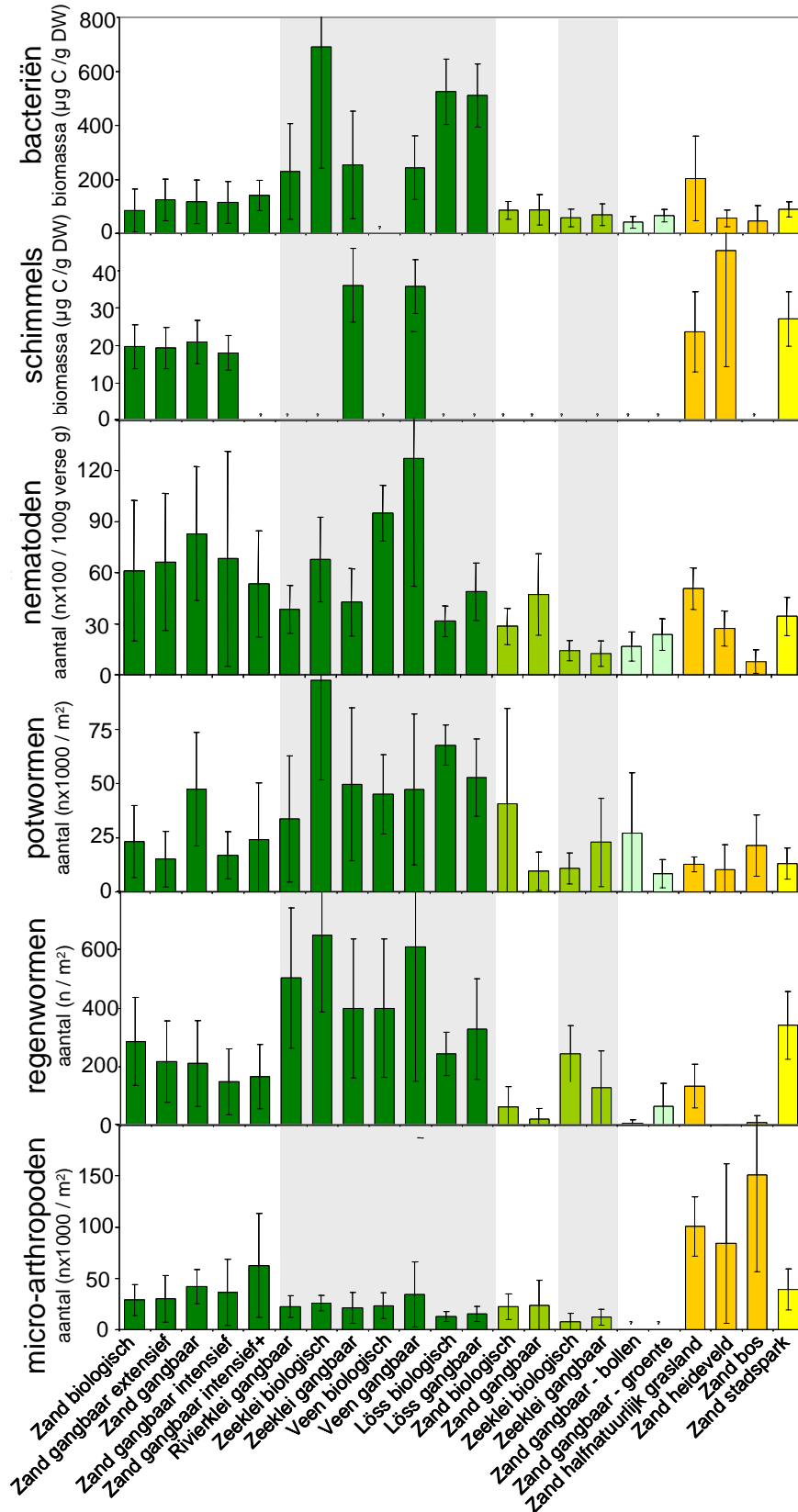
Protozoën worden niet geanalyseerd vanwege methodische problemen. Voor de meeste organismen worden indicatoren afgeleid, gebaseerd op meting van biomassa, aantallen, samenstelling en soortenrijkdom. Identificatie van soorten vindt plaats tot op het niveau van het geslacht (genus) of de soort (species).

Voor de regenwormen worden 6 plaggen van 20x20x20 cm gestoken op willekeurige plaatsen. Voor de potwormen en de mijten en springstaarten worden 6 kolommen gestoken (lengte 15 cm of 7,5 cm; diameter 5,8 cm). Voor de nematoden, bacteriën, schimmels, bodemeigenschappen en procesparameters worden ongeveer 320 monsters met een graszodeboor van 10 cm diep gestoken, verzameld en gemengd. De monstercampagnes voor Bobi vinden plaats in de maanden april en mei, omdat in die periode de diverse bodemecosystemen actief en relatief stabiel zijn: de vochtinhouding en nutriëntenstatus zijn dan tamelijk constant en relatief onafhankelijk van de weersomstandigheden. De analyse van een bodemecosysteem in het LMB vindt plaats op een relatief groot schaalniveau, namelijk op dat van een middelgroot agrarisch bedrijf, een klein deel van een natuurgebied, of een (stads)park.

Een gedetailleerde beschrijving van de bodembiologische analyses is te vinden in hoofdstuk 6.



Figuur 6. Locaties van de bodembioologische metingen in het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB)
De combinaties van bodemgebruik en bodemtype hebben een eigen symbool en kleur: melkveehouderij (◇), akkerbouw (□), natuur (○), zand (groen/beige), klei (blauw/rood), veen (bruin) en löss (wit/rose).



Figuur 7. Aantallen of biomassa van bodemorganismen bij combinaties van bodemgebruik en bodemtype
 Gegevens zijn afkomstig van tien jaar monitoring. De kleur van de staven geeft het bodemgebruik aan: donkergroen (melk)veehouderij; lichtgroen akkerbouw, lichtblauw tuinbouw en bollenteelt, oranje natuur en geel stedelijk groen (parken). Een witte achtergrond betreft het bodemtype zand, een lichtgrijze achtergrond betreft het bodemtype klei, löss of veen. Foutenbalken zijn standaarddeviaties.

2.2 Resultaten van tien jaar monitoring

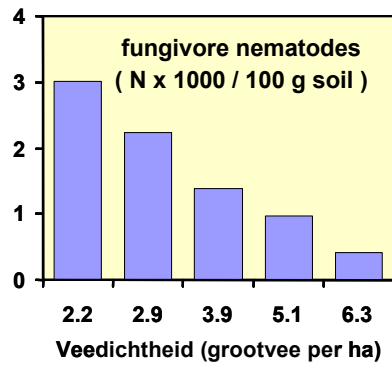
Gedurende tien jaar is de bodem in Nederland gemonitord en geanalyseerd met biologische, chemische en fysische parameters. Alle resultaten zijn samengevat in een omvangrijk databestand. Elk jaar neemt de omvang en de betekenis van het databestand voor onderzoek en beleid toe, bij het toevoegen van nieuwe gegevens. In Figuur 7 is voor verschillende combinaties van bodemgebruik en bodemtype een aantal biologische bodemparameters samengevat. Uit de gegevens kunnen onder andere de volgende conclusies worden getrokken:

- Het bodemtype en het bodembeheer zijn allebei van invloed op de dichtheid en de samenstelling van het bodemleven.
- Bij het bodemgebruik 'natuur' zijn mijten en springstaarten in grotere aantallen aanwezig dan bij de andere vormen van bodemgebruik. De hypothese is dat mijten en springstaarten gevoelig zijn voor verstoring.
- Regenwormen komen in natuurterreinen veel minder voor dan bij landbouwkundig beheerde graslanden. In halfnatuurlijk grasland worden nog wel wat regenwormen aangetroffen. Bos- en heidebodems herbergen weinig tot geen regenwormen. Het is bekend dat onder meer de lage zuurgraad hiervan de oorzaak is.
- In akkers is het bodemleven veel minder uitbundig dan in grasland, want de biomassa en aantallen van bijna alle bodemorganismen zijn kleiner. Intensieve bodembewerking wordt als een van de belangrijkste oorzaken gezien voor verlies van organische stof.
- Potwormen en regenwormen zijn vooral talrijk bij (melk)veehouderij op klei, löss en veen.
- De totale biomassa aan bacteriën is het hoogste in klei- en lössgrond. De grootste aantallen nematoden komen voor in veenbodems.

Naast het bodemgebruik en het bodemtype is ook de intensiteit van het bodemgebruik bepalend voor de samenstelling van het bodemecosysteem. In het meetnet is een lange gradiënt in de intensiteit van beheer aanwezig voor melkveehouderijbedrijven (grasland, soms in een rotatie met maïs) op zandgrond. Dit heeft te maken met het feit dat er 87 locaties gemonsterd zijn, verdeeld over vier categorieën van beheer, namelijk biologisch, extensief, gangbaar en intensief-plus. De laatste categorie betreft melkveehouderij met een neventak, zoals varkens- en kippenhouderijen. Uit de meetresultaten is gebleken dat de biodiversiteit van aaltjes in de bodem van melkveebedrijven afneemt, naarmate de intensiteit van het beheer toeneemt (uitgedrukt in het aantal grootvee-eenheden per hectare). Het aantal schimmelende aaltjes daalt sterk (Figuur 8). De relatie tussen veedichtheid en de samenstelling van de nematodengemeenschap werd geanalyseerd door Mulder et al. (2003, 2005b).

Veel resultaten van tien jaar bodembioologische monitoring zijn gepubliceerd in diverse rapporten van verschillende kennisinstituten (bijvoorbeeld Schouten et al. 1997, 2000, 2001, 2002, Van der Waarde et al. 2002, Van Eekeren et al. 2003, Mulder et al. 2004, Bloem et al. 2004, Breure et al. 2004, Smeding et al. 2005, Rutgers et al. 2002, 2005, 2007) en wetenschappelijk tijdschriften (bijvoorbeeld Didden 2003, Mulder et al. 2003, 2005a, 2005b, 2005c, 2005d, 2006, Schouten et al. 2004, Bloem et al. 2006).

De betekenis van veranderingen in het bodemecosysteem in termen van aantallen, diversiteit en activiteiten van organismen en van processen voor de prestaties van de ecosystemendiensten is geen onderwerp in dit rapport. Rutgers et al. (2005, 2007) hebben een relatie gelegd tussen deze veranderingen en de prestaties van de ecosystemendiensten in specifieke gevallen. In hoofdstuk 3 wordt een voorbeeld gegeven.



Figuur 8. Afname schimmeletende nematoden

Relatie tussen de intensiteit van het bodembeheer (uitgedrukt als grootveedichtheid per hectare) en het aantal schimmeletende nematoden.

3 Naar een duurzamer bodemgebruik

3.1 De duurzame bodem

Bodemgebruikers en -deskundigen, vooral in de agrarische sector, hebben vaak een goed begrip van bodemkwaliteit en duurzaam gebruik (Koopmans et al. 2006, 2007, Oenema 2003). Onlangs is er door de ministeries van LNV en VROM een studie uitgevoerd naar de duurzaamheid van het bodemgebruik in de landbouw (Van Dam et al. 2006; Bodem+ 2006). Een goede kwaliteit van de bodem voor agrarische ondernemers wordt bepaald door organische stof, de ontwatering, het vochtleverende vermogen, draagkracht, levering van voedingsstoffen en een lage onkruiddruk. Hierbij spelen bemesting, bewerking, vruchtwisseling en grondwaterpeilbeheer een belangrijke rol. Duurzaam bodemgebruik is volgens boeren en agrarische adviseurs inpasbaar als de volgende beheersmaatregelen in acht worden genomen:

- De levering van nutriënten en de balans in de organische stof worden behouden door het gebruik van vaste organische mest en eventueel bovengronds toedienen van drijfmest.
- Het berijden van het land vindt plaats met lichte machines, een lage wieldruk, een lage bandenspanning en op momenten dat de bodem ongevoelig is voor dichtrijden (droog).
- Een ruime vruchtwisseling, een beperkte en ondiepe bodembewerking, en een hoog percentage grasland.
- Beperkt gebruik van bestrijdingsmiddelen.

Als wordt gestreefd naar een hoogrenderende productie, bijvoorbeeld via de keuze voor een bepaalde vruchtwisseling, dan komt de duurzaamheid van het bodemgebruik sneller onder druk te staan. De conclusie uit de studie is dat de Nederlandse landbouw als redelijk duurzaam beschouwd kan worden, maar dat ze op specifieke punten verbetering behoeft, zoals het berijden met te zware machines, op een ongunstig tijdstip. De duurzaamheid van het bodemgebruik is in deze studie beoordeeld vanuit het perspectief van de agrarische bedrijfsvoering (Bodem+ 2006). In dit rapport wordt een stap gezet naar duurzamer bodemgebruik voor alle aan te merken bodemgebruikers, op verschillende ruimtelijke schalen.

3.2 De maatschappelijke diensten van de bodem

Bij duurzaam bodemgebruik speelt het concept ‘kwaliteit van de bodem’ een belangrijke rol. De kwaliteit van de bodem is een richtinggevend concept; het leidt tot waardering en kan dus gebruikt worden om bodemkwaliteitsnormen af te leiden. De ministeries van VROM en LNV hebben echter geen voornemen om het bodemleven een normatief karakter te geven in het kader van beleid voor de duurzaamheid van het bodemgebruik en behoud van bodemkwaliteit.

De bodemkwaliteit (soms ook: bodemgezondheid genoemd) kan afgelezen worden aan de hand van de zogenaamde ‘ecosysteemdiensten’ van de bodem. Dit is afgeleid van de Engelse terminologie ‘ecosystem services’. De bodem levert ecosysteemdiensten, die binnen bepaalde randvoorwaarden voor duurzaamheid benut kunnen worden door de bodemgebruiker. De ecosysteemdiensten zorgen er bijvoorbeeld voor dat planten kunnen groeien, water opgenomen en doorgegeven wordt en stoffen worden afgebroken tot onschadelijke verbindingen. Deze omschrijving van ecosysteemdiensten houdt in dat we ze beschouwen als eindproducten van het bodemecosysteem. Ecologische functies onderscheiden zich van ecosysteemdiensten, omdat een functie nooit een eindproduct is.

Het bodembeheer vindt voornamelijk plaats op een lokale schaal, maar het bodemgebruik en de daarmee samenhangende ecosysteemdiensten van de bodem zijn op meerdere ruimtelijke schaalniveaus van belang. Het bodemgebruik op lokale schaal is bijvoorbeeld gericht op een goede en gezonde agrarische productie, terwijl op een grotere schaal belangen spelen met betrekking tot de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater, waterbergende of klimaatregulerend vermogen van een gebied.

De kwaliteit van de bodem dient bepaald te worden aan de hand van de ecosysteemdiensten (TCB 2003). Bodemkwaliteit is een containerbegrip. Het onderscheiden van de attributen van de bodemkwaliteit, ecosysteemdiensten genaamd, biedt de mogelijkheid de diverse belangen van bodemgebruikers adequaat te wegen, zodat prioriteiten gesteld kunnen worden bij de invulling van het bodembeheer. De ecosysteemdiensten zijn overgenomen van de TCB (2003) en door een werkgroep aangepast via een onderverdeling in vier basisdiensten (Rutgers et al. 2005), namelijk:

1. Diensten die bepalend zijn voor de bodem als leverancier van producten: de productiefunctie. Voor agrarisch bodemgebruik valt de klassieke term bodemvruchtbaarheid hieronder. Ook de bodemstructuur en het ziektevermogen spelen bij landbouw een grote rol. In de bredere context vallen in deze categorie ook het 'produceren' van natuur door een leefomgeving te bieden voor diverse planten- en diersoorten in een gevarieerd landschap. De bodem in tuinen en recreatiegebieden moet gezonde (sier)planten kunnen voortbrengen.
2. Weerstand en flexibiliteit. De bodem moet weerstand tegen stress kunnen bieden en de mogelijkheid tot verandering van bodemgebruik. Met deze ecosysteemdienst wordt ook het aspect tijd in beeld gebracht. Zodoende wordt rekening gehouden met toekomstige gebeurtenissen die op of met de bodem plaatsvinden, zoals calamiteiten, klimaatverandering en verandering van bodemgebruik.
3. Milieudiensten van de bodem die voor een leefbaar milieu voor de mens zorgen. Ze zijn sterk verbonden met de kringloopfuncties van de bodem (stoffen, water, lucht) en met de klimaatregulatie. Ze worden ook wel aangeduid met de buffer- en reactorfunctie van de bodem (TCB 2003). De belangrijkste processen zijn de fragmentatie en mineralisatie van organische stof, zelfreinigend vermogen, waterbergend vermogen en diverse klimaatfuncties.
4. De habitatfunctie van de bodem. De bodem herbergt een intrinsieke kwaliteit die onafhankelijk van het bodemgebruik een waarde vertegenwoordigt. Deze in het bodembeleid ongeannoteerde waarde kan ook beschermd worden, zoals dat bij een verantwoord rentmeesterschap verwacht mag worden. Bescherming van bijvoorbeeld de structurele biodiversiteit in de bodem valt hieronder (bescherming van soorten).

In Bijlage 2 is een nauwkeuriger beschrijving en een verdere onderverdeling van ecosysteemdiensten van de bodem opgenomen, inclusief een enquêteformulier wat gebruikt wordt bij interviews met bodemgebruikers.

Het uitgangspunt is dat duurzamer bodemgebruik leidt tot betere prestaties van de ecosysteemdiensten. Daarnaast zullen ecosysteemdiensten beoordeeld worden binnen de randvoorwaarden van het maatschappelijk geaccepteerde bodemgebruik; een boer moet kunnen boeren. Een productiegrasland bijvoorbeeld mag niet beoordeeld worden op de prestaties van ecosysteemdiensten die bij een halfnatuurlijk grasland horen.

Het bodemgebruik en het -beheer zijn bepalend voor de prestaties van de ecosysteemdiensten. Als alle ecosysteemdiensten integraal goed presteren dan is de bodemkwaliteit en duurzaamheid van het bodemgebruik volgens deze maatstaven 'goed' te noemen. Erkenning en waardering van de afzonderlijke ecosysteemdiensten is een sleutel om alle bodemgebruikers te betrekken bij afspraken over de criteria voor bodemkwaliteit op een perceel, bedrijf of gebied. Meestal lopen de belangen van de verschillende bodemgebruikers parallel en is bijvoorbeeld een goede bodemkwaliteit voor een

agrariër ook een goede bodemkwaliteit voor de provincie. Soms lopen de belangen niet parallel en moeten de belangen worden gewogen en keuzes worden gemaakt.

3.3 Planning van de boven- en ondergrond

Het ruimtegebruik is bijna nergens ter wereld zo sterk georganiseerd en gepland als in Nederland. Elke vierkante meter heeft een bestemming. Zelfs natuur wordt gepland en ontwikkeld met behulp van voorzieningen zoals ecoducten, beheer van weidevogelpopulaties, onderhoud van heidevelden en aanleg van meestromende nevengeulen. De planning van de ruimte richt zich hoofdzakelijk op het bovengrondse systeem, zowel voor wat betreft de maatschappelijke als de natuurlijke inrichting. De ondergrond is nauwelijks gepland. Aspecten van de waterhuishouding die aangrijpen op de grondwaterstand en de aanwijzing van drinkwaterwingebieden zijn wat dit betreft uitzonderingen. Het bodemecosysteem wordt niet gepland, maar wel sterk beïnvloed door de bovengrondse inrichting. Wanneer bijvoorbeeld de bodem wordt afgedekt door bebouwing of infrastructuur heeft dat zeer grote consequenties voor het bodemecosysteem. Het bodemecosysteem wordt gemarginaliseerd doordat de aanvoer van energie en nutriënten nagenoeg wegvalt. De bodem levert dan nauwelijks nog ecosysteemdiensten. Het zelfreinigende vermogen en de waterretentie zijn sterk verminderd.

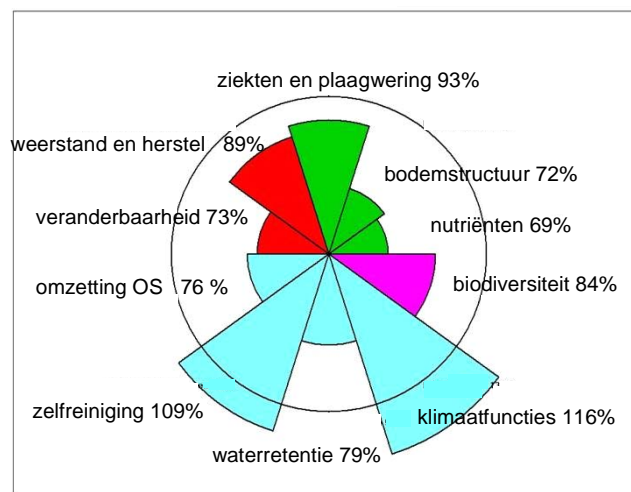
Uit de gegevens over bodemecosystemen uit het landelijk meetnet bodemkwaliteit (LMB) blijkt overtuigend dat het bodemgebruik en het specifieke bodembeheer van doorslaggevende betekenis is voor het voorkomen van bodemorganismen (Figuur 7). Het mag verwacht worden dat dit ook een grote invloed heeft op het functioneren van het bodemecosysteem, omdat de meeste functies direct afhankelijk zijn van aanwezigheid en activiteit van de bodemorganismen. Uiteraard spelen de eigenschappen van de bodem (bodemtype) ook een zeer belangrijke rol; klei, veen en zand bieden elk een unieke habitat voor het bodemleven. Vocht en stikstof zijn ook belangrijk. Het bodemtype kan niet eenvoudig worden aangepast naar gelang de behoefte. Het bodemgebruik en het bodembeheer zijn wel door de mens gepland en beïnvloedbaar.

3.4 Prestaties van de ecosysteemdiensten

Het bodembeheer heeft invloed op het bodemecosysteem en dus ook op de bodemkwaliteit. Deze veronderstelling volgt logischerwijs uit de resultaten van tien jaar bodembioologische monitoring en de uitgangspunten van VROM voor duurzaam bodemgebruik (VROM 2003), zoals hiervoor uiteengezet is. De prestaties van de ecosysteemdiensten kunnen dus onder bepaalde omstandigheden onder druk komen te staan. Uit een gebiedsgericht onderzoek in de Hoeksche Waard is bijvoorbeeld gebleken dat de prestaties van ecosysteemdiensten per bedrijf verschillen (Rutgers et al. 2007). De verschillen konden plausibel aan het bodembeheer worden gekoppeld: biologische bedrijfsvoering met aandacht voor de organische stof in de bodem scoorde relatief goed op de ecosysteemdiensten die een relatie hebben met de hoeveelheid organische stof in de bodem. Bij de kleinschalige gangbare bedrijfsvoering waren de nutriëntenretentie en de ziekten- en plaagwering van de bodem relatief beter op orde dan bij de andere bedrijven. De ecosysteemdiensten bij een grootschalig akkerbouwbedrijf in de Hoeksche Waard presteerden over de hele linie lager dan de andere bedrijven.

In een enquête hebben bodemgebruikers in de Hoeksche Waard aangegeven dat ‘nutriëntenretentie’, ‘waterretentie’ en ‘habitatfunctie’ de drie belangrijkste ecosysteemdiensten van de akkerbodem zijn. Op deze drie ecosysteemdiensten presteerde de kleibodem in de Hoeksche Waard relatief slecht ten opzichte van de landelijke referentie (Figuur 9).

Uit het onderzoek in de Hoeksche Waard is ook gebleken dat de gemiddelde prestaties van de ecosysteemdiensten ten opzichte van de landelijke referentie voor biologische bodemkwaliteit over de gehele linie wat lager liggen (Figuur 9). De systematiek staat overigens toe dat één of enkele ecosysteemdiensten beter kunnen presteren dan de landelijke referentie. Het onderzoek in de Hoeksche Waard illustreerde dit overtuigend. De ecosysteemdiensten ‘zelfreinigend vermogen’ en ‘klimaatfuncties’ van de bodem scoorden beter dan de landelijke referentie. Dit waren precies die ecosysteemdiensten die van de bodemgebruikers in de Hoeksche Waard de minste aandacht kregen, of, met andere woorden, wellicht impliciet en vooraf al beoordeeld waren op hun goede prestaties (Rutgers et al. 2007).



Figuur 9. Amoebegrafiek Hoeksche Waard

Amoebegrafiek met gemiddelde prestaties van de tien ecosysteemdiensten bij vier bedrijven in de Hoeksche Waard ten opzichte van de landelijke referentie voor akkerbouw op klei (100% cirkel). Betrekkelijk eenvoudig kan worden afgelezen dat bijvoorbeeld de dienst nutriëntenlevering een magere score heeft van iets beneden de 70% ten opzichte van de duurzame referentie. Aan de andere kant scoren de klimaatfunctie en het zelfreinigende vermogen van de bodem onder deze bedrijven beter dan de referentie. Uit dezelfde studie bleek ook dat verschillen in de prestaties van de ecosysteemdiensten tussen de bedrijven waarschijnlijk terug te voeren zijn tot de specifieke bedrijfsvoering (Rutgers et al. 2007).

3.5 Handelingsperspectief voor de bodemgebruikers

Het vaststellen van de bodemkwaliteit voor het bodembeheer heeft alleen een praktische betekenis als bodemgebruikers deze kunnen beïnvloeden. Tot op heden is er nog geen duidelijke koppeling gelegd tussen het bodemgebruik, duurzame maatregelen en de prestaties van de ecosysteemdiensten. Het is ook nog niet duidelijk tot welke verbeterde productiemogelijkheden en andere maatschappelijke baten het beter presteren van ecosysteemdiensten zal leiden. Dit is een belangrijk onderwerp voor vervolgonderzoek.

Wat is er wel bekend? Agrarische bodembeheerders weten vaak goed wat de effecten van maatregelen op de bodemkwaliteit zijn. Boeren kennen de problemen van hun bodem. Een onzorgvuldig beheer, gebrek aan kennis of verkeerde adviezen zijn vaak de oorzaak. Voorbeelden zijn structuurbederf door het dichtrijden van de bodem, verlies van natuurlijke weerbaarheid door een slechte rotatie en productieverliezen als gevolg een suboptimale mestgift. De vuistregels om dit op te lossen zijn gebaseerd op vele jaren praktijkervaring. Veel minder bekend zijn de effecten van het bodembeheer op de niet-productiegebonden ecosysteemdiensten van de bodem, zoals de habitatfunctie van de bodem (biodiversiteit) en zelfreinigende en waterbergende vermogen van de bodem. Ook de relatie tussen het bodembeheer en de ecosysteemdiensten bij de andere vormen van bodemgebruik zoals natuur, recreatie en tuinen zijn grotendeels onbekend.

Koopmans et al. (2006) hebben kansrijke maatregelen om het bodemgebruik duurzamer te maken geïnventariseerd. Het effect van enkele maatregelen op de productiedienst van de bodem is beoordeeld op basis van literatuurgegevens en specifiek onderzoek in proefpercelen. Voor de maatregel ‘mesttype’ in de veehouderij en akkerbouw en ‘vruchtwisseling’ (rotatie van grasland en snijmaïs) in de veehouderij konden specifieke aanbevelingen worden gedaan, inclusief een schatting van de meeropbrengst en de extra kosten van het beheer. De effecten van specifieke maatregelen bij het bodembeheer op de prestaties van de ecosysteemdiensten zullen de komende jaren extra aandacht krijgen. Zonder een handelingsperspectief is het kwantificeren van ecosysteemdiensten alleen zinvol als instrument voor generieke milieumonitoring.

3.6 Duurzame referenties en typeringen van bodemecosystemen

Dit rapport bevat de zogenaamde ‘typeringen van bodemecosystemen in Nederland’. De biologische, chemische en fysische toestand van de bodem voor de diverse categorieën van bodemgebruik en bodemtype in Nederland is vastgelegd in een gemiddelde (met een range) voor verschillende vormen van bodemtypen en bodemgebruik. Het voorkomen en de diversiteit van bodemorganismen zijn een onderdeel van de typering. Naast de gemiddelde toestand is ook de zogenaamde Referentie voor Biologische Bodemkwaliteit (RBB) opgenomen. Men kan deze beschouwen als het bodemecosysteem waarin de ecosysteemdiensten van de bodem voor de Nederlandse situatie op orde zijn, volgens het oordeel van verschillende deskundigen en de op dit moment beschikbare gegevens uit de bodembioologische monitoring. Daarnaast is een omschrijving opgenomen van specifieke kenmerken van de bodem, het bodembeheer en een voorlopige inschatting van mogelijkheden om het bodemsysteem in positieve zin te beïnvloeden. Hiermee is voor de eerste keer een consistent overzicht gemaakt van de meest voorkomende bodemecosystemen in Nederland, op basis van systematisch verzamelde gegevens via monitoring.

Bij het Handboek Natuurdoeltypen (Bal et al. 2001) wordt een vergelijkbare filosofie gehanteerd. Dit handboek is een belangrijk naslagwerk voor natuurontwikkeling en is voornamelijk bedoeld voor beheerders van natuurterreinen en beleidsmedewerkers. Het biedt hun handvatten bij de verdere planvorming, de inrichting en het beheer van de natuur in Nederland. Het Handboek bevat informatie over in totaal 92 natuurdoeltypen, zoals natte heide, moeras en zandverstuiving. In het Handboek staat niet alleen informatie over het landschap waarin de doeltypen voorkomen, maar ook over cultuurhistorische en aardkundige aspecten. Bovendien staat er in beschreven welke planten- en diersoorten daarbij horen en de beschermingsstatus van deze soorten. Ook is beschreven welke omgevingscondities nodig zijn voor een goede natuurkwaliteit en welk beheer nodig is om het natuurdoeltype te behouden of te ontwikkelen.

In het waterbeheer is de zogenaamde eco-atlas in gebruik. Deze bevat opnames van vissen, waterplanten, fytoplankton, zoöplankton en invertebraten in Nederland (Knoben en Peeters 1997). Deze benadering sluit ook aan op de Kaderrichtlijn Water, waarin het begrip ‘goede ecologische toestand’ een belangrijke rol speelt. In de toekomst zal dat mogelijk eveneens voor de Kaderrichtlijn Bodem gaan gelden.

Voor de bodem is nog geen compleet naslagwerk beschikbaar, waarin alle facetten van het bodemsysteem en het bodemecosysteem voor representatieve bodems in Nederland beschreven staan. Op deelgebieden zijn er initiatieven. Van Delft (2004) heeft een praktische veldgids gemaakt voor het herkennen van humusprofielen in de Nederlandse bodem. De handleiding bevat instructies om een humusprofiel te steken en determinatieleutels om de profielen classificeren. Bij de bodembio- logische monitoring worden de humusprofielen niet geïnterpreteerd, vooral omdat sterk verstoorde agrarische bodems een groot oppervlak beslaan en omdat de bepaling van een gemiddeld humusprofiel op een bedrijf of in een gebied tamelijk kostbaar is.

In het LMB worden 10 categorieën van bodemgebruik en bodemtype onderscheiden. Samen met de extra locaties die geselecteerd zijn voor de bodembio- logische monitoring vormen ze een representatief beeld van ongeveer driekwart van het onbedekte bodemoppervlak in Nederland. VROM en LNV hebben voorgesteld om voor de belangrijkste vormen van bodemgebruik (landbouw, natuur en overige groene gebieden), en voor de belangrijkste bodemtypen (zand, klei, veen en löss) zogenaamde Referenties voor Biologische Bodemkwaliteit (RBB) op te stellen. Deze referenties zijn een handreiking naar bodemgebruikers die hun bodemgebruik duurzamer willen maken. De referenties geven aan hoe een gezonde bodem binnen de randvoorwaarden van bodemgebruik en bodemtype er uit kan zien. Tabel 1 geeft een overzicht met een verdere indeling in essentiële subcategorieën bodemgebruik en bodemtype.

Tabel 1. Categorieën van bodemgebruik en bodemtypen

Categorieën met subcategorieën waarvoor referenties voor biologische bodemkwaliteit (RBB) worden afgeleid. Categorie 4 wordt niet uitgevoerd. In dit rapport zijn referenties afgeleid voor de tien categorieën waarover gegevens beschikbaar zijn uit tien jaar bodembio- logische monitoring.

Bodemgebruik		Bodemtype
1. natuur	heide	zand (nat, droog)
	halfnatuurlijk grasland	zand, klei, veen
	bos	zand
2. landbouw	(melk)veehouderij	zand, klei, veen
	akkerbouw	zand, klei
3. overige groene categorieën	groenstroken, recreatief groen, buffergebieden van de ecologische hoofdstructuur, volkstuinen, tuinen, parken, groenvoorzieningen rond infrastructuur, bedrijven en industrieterreinen	zand, klei, veen
4. verhard, bedekte bodem (wordt niet in beschouwing genomen)		X

4 Referenties en typeringen van bodemecosystemen

4.1 Inleiding

Voor tien combinaties van bodemgebruik en bodemtype zijn referenties afgeleid en zijn de resultaten van de monitoring samengevat. De referenties zijn gebaseerd op criteria voor een ‘gezonde’ bodem vanuit verschillende achtergronden geredeneerd. Hierbij is uitgegaan van de bestaande meetgegevens in het bestand van de bodembiologische monitoring in het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB). Het voordeel hiervan is dat de referenties gebaseerd zijn op de bodembiologische toestand van bestaande locaties en dus een reële situatie weerspiegelen. Het nadeel is dat de bodemkwaliteit ook bij de referentie suboptimaal kan zijn, omdat er een gereede kans is dat de gegevens van de meest optimale toestand niet in het bestand voorkomen. Momenteel bevat het gegevensbestand informatie over de biologische, chemische en fysische toestand van alle locaties uit het LMB en het Bobi-project. Hoewel het bestand als het meest omvangrijke in zijn soort wordt beschouwd, is de kennisbasis toch nog relatief smal voor een volwaardige en uitontwikkelde systematiek. Bij sommige combinaties van bodemgebruik en bodemtype zijn slechts weinig meetgegevens beschikbaar. Voor die locaties is dit zeker een aandachtspunt.

Naast de referenties bevatten de tabellen ook informatie over het gemiddelde en de spreiding van de biologische, chemische en fysische parameters van de betreffende categorie in Nederland. De spreiding is uitgedrukt in de 5%- en 95%-percentielen. Voor de overzichtelijkheid is informatie over de soorten-samenstelling van de diverse bodemorganismen niet in de tabellen samengevat. Dat zou een enorme tabel opleveren met bijna 1000 parameters. Deze informatie is beschikbaar bij de auteurs.

De verschillende parameters van de typeringen zijn afgeleid van de Bodembiologische indicator (Bobi). Dit zijn gegevens van directe metingen, zoals het aantal organismen of de totale biomassa, maar soms ook geïntegreerde gegevens of een index, zoals allometrische regressie (Mulder et al. 2005a, 2006). Hieronder volgt een opsomming van alle parameters met een korte uitleg en de eenheid waarin ze worden uitgedrukt:

1. Bacteriële biomassa. De totale biomassa van de bacteriële gemeenschap wordt berekend uit metingen aan de aantallen en afmetingen van bacteriecellen onder de microscoop. De eenheid is $\mu\text{g C}$ per gram droge grond.
2. Bacteriële activiteit. Deze wordt afgeleid van de snelheid waarmee thymidine moleculen worden ingebouwd in het DNA van bacteriën. De DNA-synthese is evenredig met de productie van nieuwe cellen. De eenheid is picomol per gram droge grond per uur.
3. Bacteriële diversiteit. Het aantal DNA-banden dat met gel-electroforese zichtbaar wordt gemaakt is een maat voor de soortenrijkdom.
4. Potentiële C-mineralisatie. Gedurende zes weken wordt de O_2 -consumptie en CO_2 -productie gemeten. Deze wordt uitgedrukt in mg gemineraliseerde koolstof per kg grond per week.
5. Potentiële N-mineralisatie. Gedurende zes weken wordt de geproduceerde minerale stikstof gemeten en uitgedrukt in mg N per kg grond per week.
6. Functionele diversiteit. Dit is een geïntegreerde maat voor diversiteit van bacteriegemeenschappen. Deze wordt bepaald aan de hand van 31 omzettingsreacties in multiwell-platen van Biolog®. Een laag getal komt overeen met een hoge functionele diversiteit.
7. Functionele activiteit. In dezelfde platen wordt ook de capaciteit van deze omzettingsreacties bepaald en uitgedrukt in μg grond die nodig is om 50% van alle substraten om te zetten.

8. Schimmelbiomassa. De totale schimmelbiomassa wordt berekend op basis van metingen aan de lengte van hyfen met de microscoop. De biomassa wordt uitgedrukt in $\mu\text{g C}$ per g droge grond.
9. Nematoden dichtheid. Het aantal nematoden per 100 g verse grond wordt met de microscoop geteld, nadat de nematoden zijn geëxtraheerd en in een kleine hoeveelheid water zijn geconcentreerd.
10. Nematodendiversiteit. Na determinatie van ongeveer 150 dieren per monster wordt het aantal taxa en de soortensamenstelling bepaald.
11. Potwormen dichtheid. Deze worden met de microscoop geteld na extractie uit ongestoorde bodemkolommetjes. De eenheid is aantal per m^2 .
12. Potwormen diversiteit. De potwormen worden tevens gedetermineerd en het aantal taxa wordt bepaald.
13. Regenwormendichtheid. Het aantal regenwormen per m^2 wordt bepaald door handmatig plaggen uit te zoeken en de wormen te tellen.
14. Regenwormendiversiteit. De regenwormen worden op het oog gedetermineerd of onder een prepareermicroscoop. De juvenielen worden tot op geslacht gedetermineerd en krijgen een aparte vermelding.
15. Micro-arthropoden dichtheid. Deze worden met de microscoop geteld na extractie uit ongestoorde bodemkolommetjes. De dichtheid wordt uitgedrukt in het aantal per m^2 .
16. Micro-arthropoden diversiteit. Ongeveer 70 mijten en springstaarten worden gedetermineerd nadat de dieren zijn opgehelderd met melkzuur.
17. Stabiliteit via de allometrische (M,N) regressie. Dit is de helling van de regressielijn die verkregen wordt door de logaritme van het lichaamsgewicht uit te zetten tegen de logaritme van de aantallen per taxon.
18. Biodiversiteit integraal. Dit is het totale aantal waargenomen taxa. De gegevens worden ongewogen bij elkaar opgeteld.
19. Aandeel grasland (%). Bij veehouderij zijn de weilanden vaak een onderdeel van een rotatie met bijvoorbeeld maïs. Dit is het percentage grasland op het tijdstip van bemonsteren.
20. Veebezetting. Dit is een maat voor de veedichtheid op het bedrijf. De eenheid is aantal grootvee per hectare.
21. Zuurgraad. Een maat voor de zuurgraad van de bodem is de H^+ -ionenconcentratie in een extract met 1M KCl.
22. Organische stof. De totale hoeveelheid organische koolstof wordt uitgedrukt als gewichtspercentage van de droge grond. Er wordt geen onderscheid gemaakt in verschillende fracties van organische stof.
23. Wateroplosbaar P (Pw). De hoeveelheid fosfaat die met water kan worden geëxtraheerd. De eenheid is $\text{mg P}_2\text{O}_5$ per liter.
24. Extraheerbaar P (PA1). Deze extractie is representatief voor een grotere fosfaatvoorraad in de bodem. De eenheid is $\text{mg P}_2\text{O}_5$ per 100 gram droge bodem.
25. Lutum. De hoeveelheid deeltjes kleiner dan $2 \mu\text{m}$ wordt uitgedrukt als gewichtspercentage van de droge grond. Dit is eigenlijk de enige parameter die niet direct via het bodembeheer beïnvloedbaar is, tenzij er een leeflaag wordt toegepast of grote hoeveelheden kleihoudende materialen worden toegepast.

Meer informatie over de parameters en meetmethoden is te vinden in hoofdstuk 5. Bovenstaande is een overzicht van parameters die zijn opgenomen in de tabellen en in de amoebefrafieken (volgens dezelfde nummering). Voor sommige combinaties van bodemgebruik en bodemtype waren niet alle gegevens voorhanden (bijvoorbeeld schimmelbiomassa). Soms zijn parameters niet relevant (zoals veebezetting bij akkerbouw). Dit is respectievelijk aangeduid met 'ng' (niet gemeten) en 'nvt' (niet van toepassing).

4.2 Werkwijze en selectie van referenties

De duurzame referenties zijn geselecteerd op basis van de oordelen van onderzoekers voor wat betreft de gemeten biologische, chemische en fysische parameters op de locaties en specifieke kenmerken van het bodembeheer (Tabel 2). De afzonderlijke en onafhankelijke oordelen werden met een eenvoudige multicriteria beslisanalyse geïntegreerd tot een rangordening over alle locaties. Per categorie werden drie tot acht locaties geselecteerd die samen de referentie vormen. De volgende onderzoekers hebben bijgedragen aan de selectie van één of meer duurzame referenties: C. ter Berg, J. Bloem, N. van Eekeren, R. de Goede, G. Jagers op Akkerhuis, H. Keidel, G. Korthals, C. Mulder, M. Rutgers en T. Schouten. In Tabel 2 is aangegeven welke disciplines hebben bijgedragen aan de selectie van de duurzame referenties. Sommige referenties werden eerder gepubliceerd (Rutgers et al. 2005, 2007).

Tabel 2. Overzicht van het selectieproces

Overzicht van het selectieproces van de referenties voor tien combinaties van bodemgebruik en bodemtype. Aangegeven zijn de datum van selectie en de toetscriteria.

categorie bodemgebruik en bodemtype	datum selectie	toegepaste expertise bij de selectie van de duurzame referentie								
		evaluatie bedrijfsvoering, bodembeheer en overige kenmerken van het (begeleide) ecosysteem*	diversiteit en voedselweb	microbiologie	regenwormen	mijten en springstaarten	potwormen	nematoden	biologische processen	organische stof
(melk)veehouderij op zand	3-11-2005	externe hectare*								
halfnatuurlijk grasland	3-11-2005	vegetatie**								
akker op klei	15-11-2006	rotatie***								
heide op zand	29-5-2007	vegetatie**								
bos op zand	29-5-2007	type bos								
akker op zand	19-10-2007									
(melk)veehouderij op klei	19-10-2007	externe hectare*								
(melk)veehouderij op veen	26-10-2007									
(melk)veehouderij op löss	26-10-2007									
stadsparken, overig groen	26-10-2007									

* 'externe hectare' is een systematiek om externe inputs (aanvoer mest, fossiele brandstoffen, krachtvoer) mee te wegen in de bedrijfsvoering (Iepema en Baars 2005).

** de vegetatie werd vergeleken met het natuurdoeltype en geëvalueerd op diversiteit.

*** ruime rotaties kregen een positief oordeel

4.3 Referenties voor biologische bodemkwaliteit (RBB)

Het volgende deel van dit rapport bevat de tien vastgestelde referenties voor biologische bodemkwaliteit (RBB) in tabellen en de ecosysteemyperingen, in de volgorde:

1. akkerbouw op klei,
2. (melk)veehouderij op klei,
3. (melk)veehouderij op löss (Limburgse klei),
4. (melk)veehouderij op veen,
5. akkerbouw op zand,
6. (melk)veehouderij op zand,
7. halfnatuurlijk grasland op zand,
8. heide op zand,
9. gemengd bos op zand,
10. stadsparken.

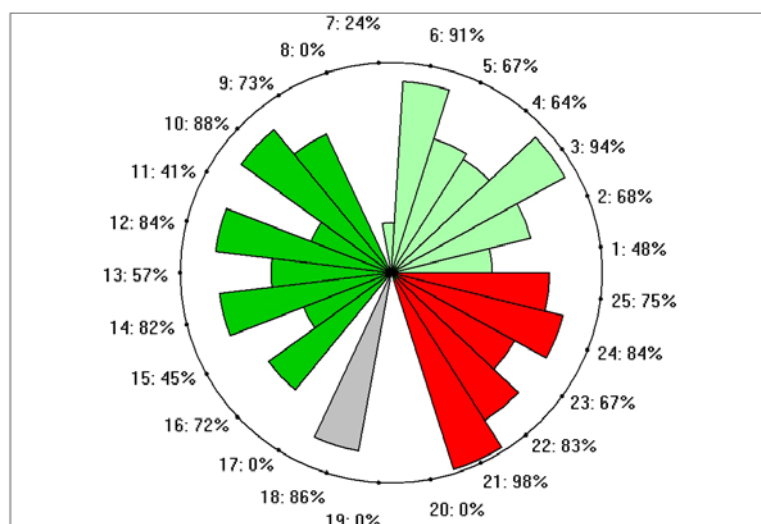
Bij deze volgorde is gekozen voor een subgroepering met gelijke bodemtypen (grondsoorten) en een start met de voor Nederland meest productieve bodem, namelijk akkerbouw op klei. Onder elke tabel is een amoebegrafiek afgebeeld waarin de taartpunten zijn genummerd volgens de lijst met parameters op bladzijde 39 en 40: lichtgroen (1 tot en met 7) microbiële parameters, geel (8) de schimmelbiomassa, donkergroen (9 tot en met 16) micro- en macrofauna parameters, grijs (17 en 18) integrale biodiversiteitsparameters, rood (19 tot en met 25) chemische en fysische parameters en gegevens van het bodembeheer. In de tabellen is de punt het decimaalteken.

In de amoebegrafiek is per parameter het landelijk gemiddelde afgebeeld ten opzichte van de (absolute) afwijking van de referentie (die op 100% is gesteld; de cirkel). Dit om te voorkomen dat extremen aan de hoge en aan de lage kant elkaar uitmiddelen. Deze presentatiewijze is beter geschikt voor het afbeelden van de gemiddelden van verschillende locaties uit de databank met bodembioologische gegevens, dan die met relatieve afwijkingen. Rutgers et al. (2005) hebben de voor- en nadelen van de verschillende amoebegrafieken bediscussieerd.

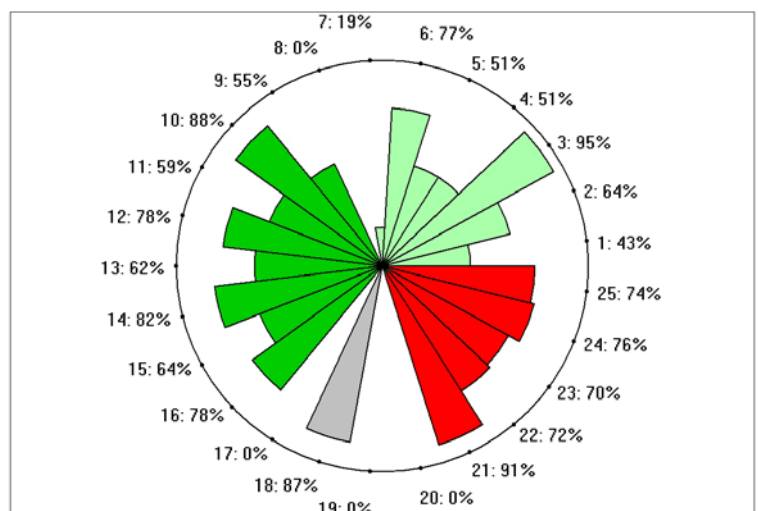
De verschillen in biologische, chemische en fysische bodemkenmerken tussen het gemiddelde van Nederland en de geselecteerde referentie zijn nog niet geëvalueerd. Dit zal aandacht krijgen bij de verdere ontwikkeling van het raamwerk voor duurzaam bodemgebruik.

De paragrafen na de tabellen bevatten de ecosysteemyperingen, met beschrijvingen van bodems, ecosystemen, bodemgebruik en indicatieve maatregelen voor de bodembeheerder. Veel gegevens werden ontleed aan het boek 'De bodem onder het landschap' (Bokhorst 2006). Drie referenties en twee typering van bodemecosystemen werden eerder gepubliceerd (Rutgers et al. 2005, 2007).

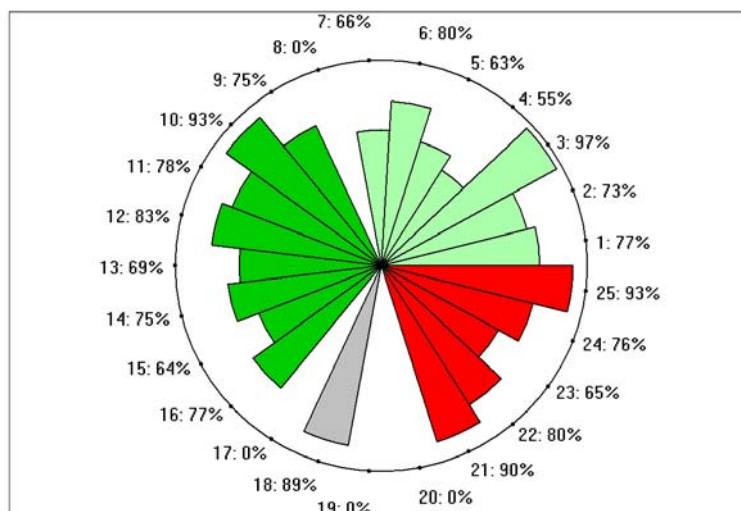
1. Akkerbouw op klei	Referentie gemiddelde (n=6)	Nederland		
		gemiddelde (n=24)	percentielen	
			5%	95%
Bacteriële biomassa (µg C/g droge grond)	51	66	7.5	162
Bacteriële activiteit (thy-inbouw; pmol/g.h)	151	122	59	219
Bacteriële diversiteit (aantal DNA-banden)	61	64	60	71
Potentiële C-mineralisatie (mg C/kg.wk)	18	22	9	48
Potentiële N-mineralisatie (mg N/kg.wk)	2.0	2.0	0.5	3.7
Functionele diversiteit (helling awcd-curve)	0.65	0.66	0.58	0.79
Functionele activiteit (µg grond/50%omz)	2700	1150	14	3960
Schimmel biomassa (µg C/g droge grond)		(ng)		
Nematoden dichtheid (n/100g verse grond)	1290	1270	660	2190
Nematoden diversiteit (aantal taxa)	33	32	25	44
Potwormen dichtheid (n/m ²)	17500	19200	1510	53800
Potwormen diversiteit (aantal taxa)	6.3	6.0	4.0	8.0
Regenwormen dichtheid (n/m ²)	200	212	12	440
Regenwormen diversiteit (aantal taxa)	4.2	4.4	1.3	7.9
Micro-arthropoden dichtheid (n/m ²)	11070	6180	1610	16200
Micro-arthropoden diversiteit (aantal taxa)	18	16	9,3	29
Stabiliteit (allometrische M,N-regressie)		(ng)		
Biodiversiteit (integraal, aantal taxa)	61	59	46	75
Aandeel grasland (%)		(nvt)		
Veebezetting (GVE/ha)		(nvt)		
Zuurgraad (pH-KCl)	7.6	7.5	7.3	7.7
Organische stof (% droge stof)	2.2	2.5	1.6	3.6
Wateroplosbaar P (Pw, mgP ₂ O ₅ /l)	70	62	33	96
Extraheerbaar P (PAI, mg P ₂ O ₅ /100g)	47	47	31	62
Lutum (% droge stof)	20	17	9	25



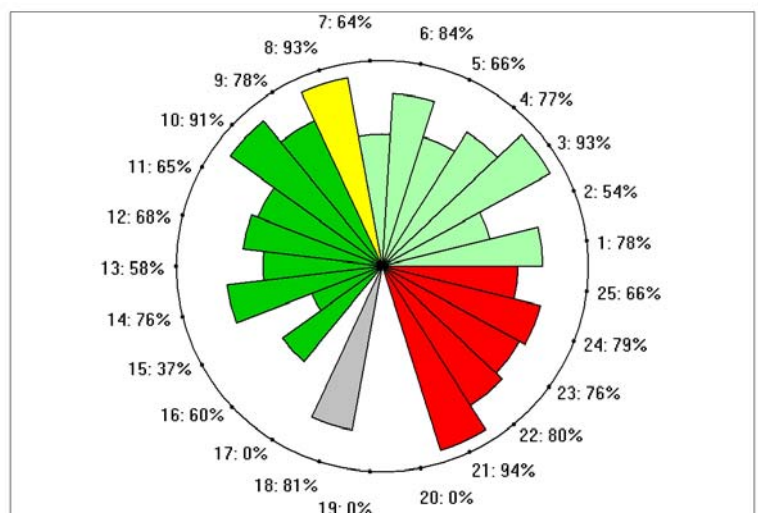
2. Melkveehouderij op klei	Referentie gemiddelde (n=8)	Nederland		
		gemiddelde (n=42)	percentielen	
			5%	95%
Bacteriële biomassa (µg C/g droge grond)	634	322	38	844
Bacteriële activiteit (thy-inbouw; pmol/g.h)	436	362	115	718
Bacteriële diversiteit (aantal DNA-banden)	62	61	56	67
Potentiële C-mineralisatie (mg C/kg.wk)	142	80	25	154
Potentiële N-mineralisatie (mg N/kg.wk)	7.9	4.2	1.3	8.9
Functionele diversiteit (helling awcd-curve)	0.35	0.45	0.30	0.62
Functionele activiteit (µg grond/50%omz)	117	8592	1.6	3150
Schimmel biomassa (µg C/g droge grond)		(ng)		
Nematoden dichtheid (n/100g verse grond)	6137	3595	2170	7260
Nematoden diversiteit (aantal taxa)	29	29	21	36
Potwormen dichtheid (n/m ²)	78500	65140	8724	139860
Potwormen diversiteit (aantal taxa)	6.4	6.2	4.0	9.0
Regenwormen dichtheid (n/m ²)	743	474	126	804
Regenwormen diversiteit (aantal taxa)	8.3	7.2	5.0	9.0
Micro-arthropoden dichtheid (n/m ²)	22330	20640	6910	37760
Micro-arthropoden diversiteit (aantal taxa)	31	26	16	38
Stabiliteit (allometrische M,N-regressie)		(ng)		
Biodiversiteit (integraal, aantal taxa)	74	68	47	83
Aandeel grasland (%)		(nvt)		
Veebezetting (GVE/ha)		(nvt)		
Zuurgraad (pH-KCl)	6.5	6.5	5.2	7.4
Organische stof (% droge stof)	9.1	7.6	3.4	13.5
Wateroplosbaar P (Pw, mgP ₂ O ₅ /l)	50	43	17	80
Extraheerbaar P (PAI, mg P ₂ O ₅ /100g)	40	37	19	57
Lutum (% droge stof)	32	31	11	47



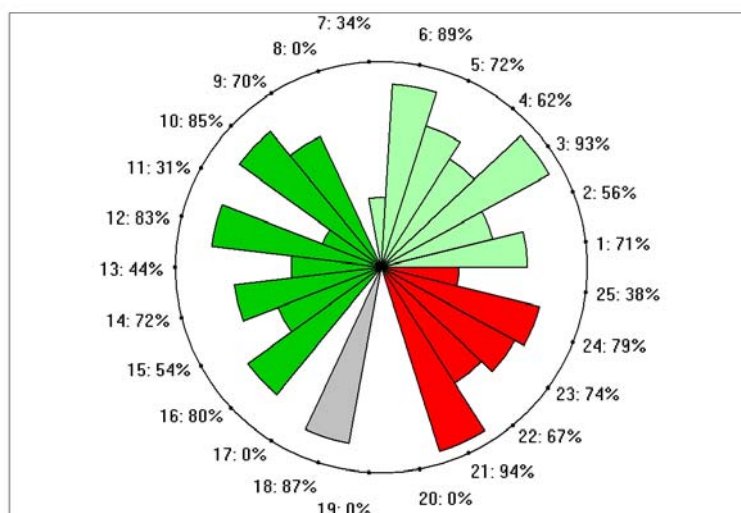
3. Melkveehouderij op löss (Limburgse klei)	Referentie gemiddelde (n=3)	Nederland		
		gemiddelde (n=8)	percentielen	
			5%	95%
Bacteriële biomassa (µg C/g droge grond)	620	476	410	593
Bacteriële activiteit (thy-inbouw; pmol/g.h)	108	78	62	94
Bacteriële diversiteit (aantal DNA-banden)	59	58	55	60
Potentiële C-mineralisatie (mg C/kg.wk)	65	37	23	62
Potentiële N-mineralisatie (mg N/kg.wk)	5.9	3.7	2.3	4.8
Functionele diversiteit (helling awcd-curve)	0.45	0.57	0.46	0.65
Functionele activiteit (µg grond/50%omz)	341	430	226	939
Schimmel biomassa (µg C/g droge grond)		(ng)		
Nematoden dichtheid (n/100g verse grond)	4817	4045	2242	5800
Nematoden diversiteit (aantal taxa)	27	29	26	32
Potwormen dichtheid (n/m ²)	46850	62360	45560	83340
Potwormen diversiteit (aantal taxa)	7.3	6.9	5.4	9.0
Regenwormen dichtheid (n/m ²)	336	283	148	502
Regenwormen diversiteit (aantal taxa)	7.0	5.5	3.4	7.3
Micro-arthropoden dichtheid (n/m ²)	16590	13800	5129	23040
Micro-arthropoden diversiteit (aantal taxa)	32	27	19	37
Stabiliteit (allometrische M,N-regressie)		(ng)		
Biodiversiteit (integraal, aantal taxa)	74	68	61	79
Aandeel grasland (%)		(ng)		
Veebezetting (GVE/ha)		(ng)		
Zuurgraad (pH-KCl)	5.8	6.4	5.5	7.2
Organische stof (% droge stof)	5.3	4.3	3.6	5.5
Wateroplosbaar P (Pw, mgP ₂ O ₅ /l)	24	42	25	60
Extraheerbaar P (PAI, mg P ₂ O ₅ /100g)	25	34	23	47
Lutum (% droge stof)	15.3	16.0	14.4	19.6



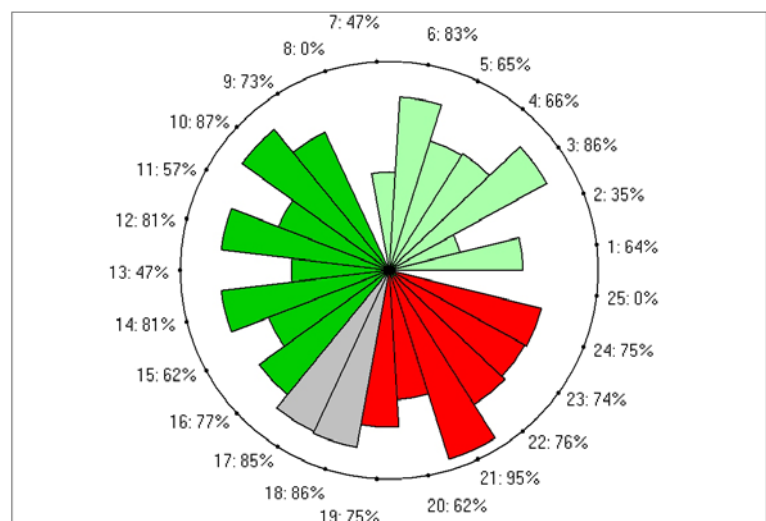
4. Melkveehouderij op veen (laagveen)	Referentie gemiddelde (n=4)	Nederland		
		gemiddelde (n=15)	percentielen	
			5%	95%
Bacteriële biomassa (µg C/g droge grond)	215	208	124	271
Bacteriële activiteit (thy-inbouw; pmol/g.h)	115	210	35	648
Bacteriële diversiteit (aantal DNA-banden)	56	61	57	66
Potentiële C-mineralisatie (mg C/kg.wk)	303	290	126	412
Potentiële N-mineralisatie (mg N/kg.wk)	28.2	21.4	-5.1	46.2
Functionele diversiteit (helling awcd-curve)	0.30	0.35	0.27	0.45
Functionele activiteit (µg grond/50%omz)	76	118	43	335
Schimmel biomassa (µg C/g droge grond)	38	38	35	42
Nematoden dichtheid (n/100g verse grond)	9363	10065	6459	16150
Nematoden diversiteit (aantal taxa)	30	31	27	37
Potwormen dichtheid (n/m ²)	31700	40260	13760	71210
Potwormen diversiteit (aantal taxa)	10.4	8.7	5.2	16.3
Regenwormen dichtheid (n/m ²)	336	530	96	1133
Regenwormen diversiteit (aantal taxa)	7.0	6.5	3.6	9.0
Micro-arthropoden dichtheid (n/m ²)	70735	26060	12700	49380
Micro-arthropoden diversiteit (aantal taxa)	40	25	10	43
Stabiliteit (allometrische M,N-regressie)		(ng)		
Biodiversiteit (integraal, aantal taxa)	87	71	46	89
Aandeel grasland (%)		(ng)		
Veebezetting (GVE/ha)		(ng)		
Zuurgraad (pH-KCl)	4.5	4.7	4.2	5.5
Organische stof (% droge stof)	35.5	30.1	19.9	40.7
Wateroplosbaar P (Pw, mgP ₂ O ₅ /l)	40	36	22	50
Extraheerbaar P (PAI, mg P ₂ O ₅ /100g)	52	44	31	58
Lutum (% droge stof)	33	27	11	48



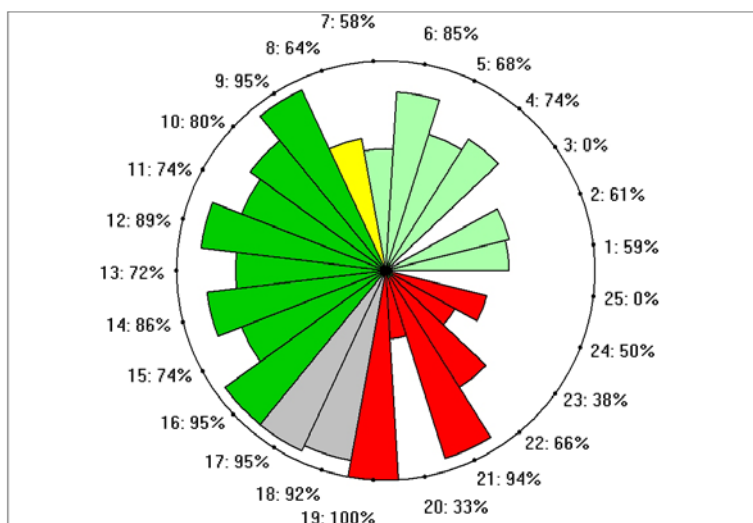
5. Akkerbouw op zand	Referentie gemiddelde (n=6)	Nederland		
		gemiddelde (n=28)	percentielen	
			5%	95%
Bacteriële biomassa (µg C/g droge grond)	81	88	25	145
Bacteriële activiteit (thy-inbouw; pmol/g.h)	105	59	25	105
Bacteriële diversiteit (aantal DNA-banden)	68	68	59	75
Potentiële C-mineralisatie (mg C/kg.wk)	50	42	11	92
Potentiële N-mineralisatie (mg N/kg.wk)	5.6	4.3	3.0	6.6
Functionele diversiteit (helling awcd-curve)	0.52	0.56	0.46	0.66
Functionele activiteit (µg grond/50%omz)	486	1614	187	3597
Schimmel biomassa (µg C/g droge grond)		(ng)		
Nematoden dichtheid (n/100g verse grond)	4240	3605	1475	6331
Nematoden diversiteit (aantal taxa)	29	26	19	32
Potwormen dichtheid (n/m ²)	32505	20126	2270	82156
Potwormen diversiteit (aantal taxa)	8.7	7.9	5.4	10.7
Regenwormen dichtheid (n/m ²)	77	30	0	118
Regenwormen diversiteit (aantal taxa)	2.8	1.8	0.0	4.7
Micro-arthropoden dichtheid (n/m ²)	20660	23511	3851	72605
Micro-arthropoden diversiteit (aantal taxa)	24	22	11	31
Stabiliteit (allometrische M,N-regressie)	-0.89	-1.01	-0.80	-1.21
Biodiversiteit (integraal, aantal taxa)	64	58	44	70
Aandeel grasland (%)		(nvt)		
Veebezetting (GVE/ha)		(nvt)		
Zuurgraad (pH-KCl)	5.3	5.1	4.6	5.6
Organische stof (% droge stof)	6.9	7.6	3.3	16.2
Wateroplosbaar P (Pw, mgP ₂ O ₅ /l)	78	62	39	102
Extraheerbaar P (PAI, mg P ₂ O ₅ /100g)	62	54	34	75
Lutum (% droge stof)	4.5	2.3	1.0	6.7



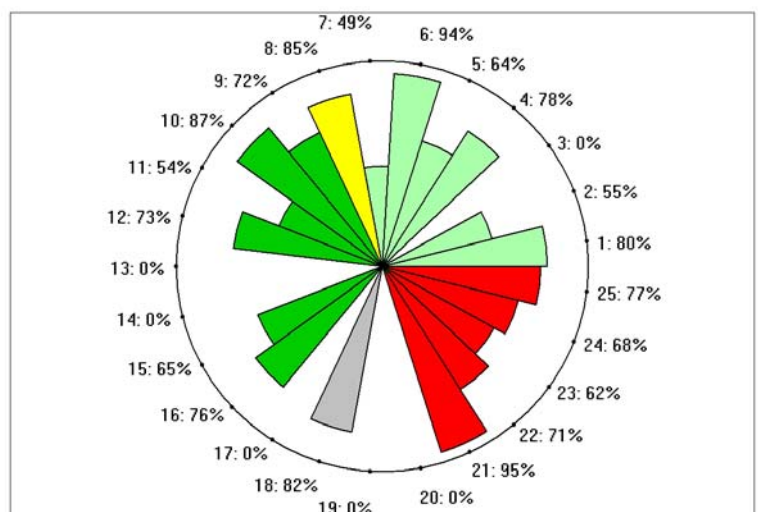
6. Melkveehouderij op zand	Referentie gemiddelde (n=6)	Nederland		
		gemiddelde (n=81)	percentielen	
			5%	95%
Bacteriële biomassa (µg C/g droge grond)	132	146	40	293
Bacteriële activiteit (thy-inbouw; pmol/g.h)	77	65	3	215
Bacteriële diversiteit (aantal DNA-banden)	57	51	38	65
Potentiële C-mineralisatie (mg C/kg.wk)	61	66	21	127
Potentiële N-mineralisatie (mg N/kg.wk)	12	9	3	17
Functionele diversiteit (helling awcd-curve)	0.48	0.52	0.34	0.74
Functionele activiteit (µg grond/50%omz)	300	590	40	1670
Schimmel biomassa (µg C/g droge grond)		(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)	8.5	8.2	4.0	12.0
Regenwormen dichtheid (n/m ²)	64	163	24	388
Regenwormen diversiteit (aantal taxa)	4.8	4.6	3.0	7.0
Micro-arthropoden dichtheid (n/m ²)	43500	44700	14700	123000
Micro-arthropoden diversiteit (aantal taxa)	24	27	15	41
Stabiliteit (allometrische M,N-regressie)	-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



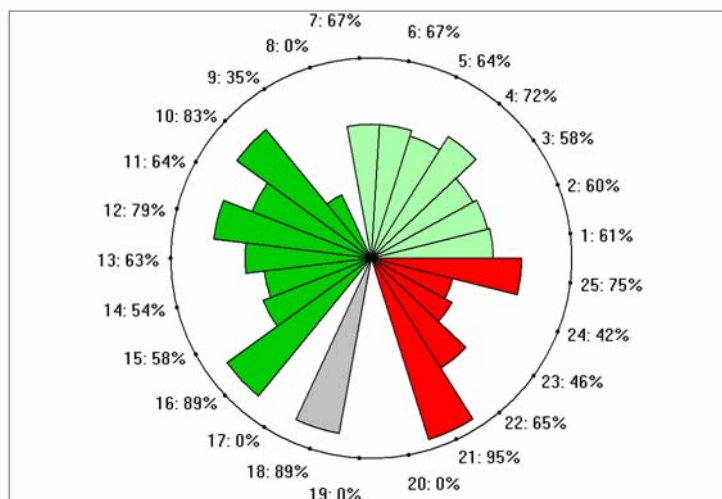
7. Halfnatuurlijk grasland op zand	Referentie gemiddelde (n=6)	Nederland		
		gemiddelde (n=4)	percentielen	
			5%	95%
Bacteriële biomassa (µg C/g droge grond)	142	297	-	-
Bacteriële activiteit (thy-inbouw; pmol/g.h)	20	12	-	-
Bacteriële diversiteit (aantal DNA-banden)		(ng)	-	-
Potentiële C-mineralisatie (mg C/kg.wk)	104	117	-	-
Potentiële N-mineralisatie (mg N/kg.wk)	10	14	-	-
Functionele diversiteit (helling awcd-curve)	0.34	0.36	-	-
Functionele activiteit (µg grond/50%omz)	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)	14.0	13.0	-	-
Regenwormen dichtheid (n/m ²)	150	108	-	-
Regenwormen diversiteit (aantal taxa)	7.0	6.5	-	-
Micro-arthropoden dichtheid (n/m ²)	87900	120000	-	-
Micro-arthropoden diversiteit (aantal taxa)	24	23	-	-
Stabiliteit (allometrische M,N-regressie)	-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	-	-



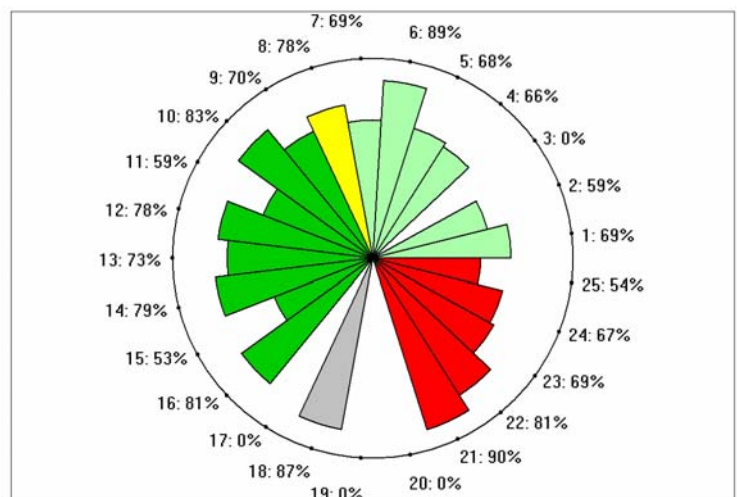
8. Heide op zand	Referentie gemiddelde (n=4)	Nederland		
		gemiddelde (n=6)	percentielen	
			5%	95%
Bacteriële biomassa (µg C/g droge grond)	79	73	48	94
Bacteriële activiteit (thy-inbouw; pmol/g.h)	3.3	4.4	1.7	6.3
Bacteriële diversiteit (aantal DNA-banden)		(ng)		
Potentiële C-mineralisatie (mg C/kg.wk)	86	86	48	122
Potentiële N-mineralisatie (mg N/kg.wk)	2.0	3.3	1.7	5.5
Functionele diversiteit (helling awcd-curve)	0.40	0.42	0.40	0.45
Functionele activiteit (µg grond/50%omz)	13400	6540	1280	12700
Schimmel biomassa (µg C/g droge grond)	54	53	41	71
Nematoden dichtheid (n/100g verse grond)	1840	2200	1380	3080
Nematoden diversiteit (aantal taxa)	24	21	16	24
Potwormen dichtheid (n/m ²)	8310	17850	5275	42350
Potwormen diversiteit (aantal taxa)	7.3	5.5	4.0	7.5
Regenwormen dichtheid (n/m ²)	0	0	0	0
Regenwormen diversiteit (aantal taxa)	0	0	0	0
Micro-arthropoden dichtheid (n/m ²)	190500	135000	68700	214000
Micro-arthropoden diversiteit (aantal taxa)	25	20	15	25
Stabiliteit (allometrische M,N-regressie)		(ng)		
Biodiversiteit (integraal, aantal taxa)	56	46	41	53
Aandeel grasland (%)		(nvt)		
Veebezetting (GVE/ha)		(ng)		
Zuurgraad (pH-KCl)	3.1	3.2	2.9	3.5
Organische stof (% droge stof)	6.8	7.7	3.6	13
Wateroplosbaar P (Pw, mgP ₂ O ₅ /l)	4.5	5.3	2.0	10
Extraheerbaar P (PAI, mg P ₂ O ₅ /100g)	2.1	1.9	1.5	3.4
Lutum (% droge stof)	2.3	2.2	1.3	3.0



9. Gemengd bos op zand	Referentie gemiddelde (n=4)	Nederland		
		gemiddelde (n=16)	percentielen	
			5%	95%
Bacteriële biomassa ($\mu\text{g C/g}$ droge grond)	28	51	11	162
Bacteriële activiteit (thy-inbouw; pmol/g.h)	3.3	1.7	-5.9	5.4
Bacteriële diversiteit (aantal DNA-banden)	27	24	3.8	44
Potentiële C-mineralisatie (mg C/kg.wk)	29	25	12	38
Potentiële N-mineralisatie (mg N/kg.wk)	1.4	2.4	1.3	3.6
Functionele diversiteit (helling awcd-curve)	0.81	0.55	0.38	0.76
Functionele activiteit ($\mu\text{g grond/50\%omz}$)	35500	40760	13510	83500
Schimmel biomassa ($\mu\text{g C/g}$ droge grond)		(ng)		
Nematoden dichtheid (n/100g verse grond)	1420	560	183	1680
Nematoden diversiteit (aantal taxa)	28	24	19	30
Potwormen dichtheid (n/m^2)	15050	22950	7800	45500
Potwormen diversiteit (aantal taxa)	4.3	4.8	3.0	7.0
Regenwormen dichtheid (n/m^2)	6.3	9.3	0.0	33
Regenwormen diversiteit (aantal taxa)	0.8	0.7	0.0	2.0
Micro-arthropoden dichtheid (n/m^2)	157700	148000	36430	309400
Micro-arthropoden diversiteit (aantal taxa)	58	59	46	70
Stabiliteit (allometrische M,N-regressie)		(ng)		
Biodiversiteit (integraal, aantal taxa)	91	85	63	99
Aandeel grasland (%)		(nvt)		
Veebezetting (GVE/ha)		(nvt)		
Zuurgraad (pH-KCl)	3.2	3.2	2.9	3.5
Organische stof (% droge stof)	4.5	6.0	1.9	10.3
Wateroplosbaar P (Pw, $\text{mgP}_2\text{O}_5/\text{l}$)	11	7.6	0.5	19
Extraheerbaar P (PAI, $\text{mg P}_2\text{O}_5/100\text{g}$)	4.8	2.7	1.0	7.3
Lutum (% droge stof)	2.8	2.7	1.8	4.3



10. Stadsparken op zand	Referentie gemiddelde (n=4)	Nederland		
		gemiddelde (n=10)	percentielen	
			5%	95%
Bacteriële biomassa ($\mu\text{g C/g}$ droge grond)	107	90	52	144
Bacteriële activiteit (thy-inbouw; pmol/g.h)	44	70	35	110
Bacteriële diversiteit (aantal DNA-banden)		(ng)		
Potentiële C-mineralisatie (mg C/kg.wk)	59	73	29	103
Potentiële N-mineralisatie (mg N/kg.wk)	8.0	8.1	3.7	15.1
Functionele diversiteit (helling awcd-curve)	0.60	0.59	0.47	0.71
Functionele activiteit ($\mu\text{g grond/50\%omz}$)	1277	1640	714	2985
Schimmel biomassa ($\mu\text{g C/g}$ droge grond)	26	28	16	35
Nematoden dichtheid (n/100g verse grond)	2770	3694	2154	4755
Nematoden diversiteit (aantal taxa)	41	35	31	41
Potwormen dichtheid (n/m^2)	11100	15610	4100	28700
Potwormen diversiteit (aantal taxa)	13.2	13.4	8.5	18.1
Regenwormen dichtheid (n/m^2)	367	356	165	547
Regenwormen diversiteit (aantal taxa)	5.3	5.6	3.0	8.6
Micro-arthropoden dichtheid (n/m^2)	56460	30018	5600	45650
Micro-arthropoden diversiteit (aantal taxa)	26	21	16	26
Stabiliteit (allometrische M,N-regressie)		(ng)		
Biodiversiteit (integraal, aantal taxa)	86	75	67	85
Aandeel grasland (%)		(nvt)		
Veebezetting (GVE/ha)		(nvt)		
Zuurgraad (pH-KCl)	6.5	6.5	4.8	7.2
Organische stof (% droge stof)	5.0	6.0	4.0	9.6
Wateroplosbaar P (Pw, $\text{mgP}_2\text{O}_5/\text{l}$)	50	51	19	93
Extraheerbaar P (PAI, $\text{mg P}_2\text{O}_5/100\text{g}$)	52	41	17	75
Lutum (% droge stof)	6.0	7.0	2.5	15.4



4.4 Akkerbouw op klei



Akkerbouw op zeeklei - Strijensas (ZH) 2006

4.4.1 Inleiding akkerbouw op klei

In een brede kuststrook brak tijdens het holoceen de zee door de duinenrij en liet via kreken en overstromingsvlaktes in het achterland kleideeltjes achter. Kalkrijke kleiafzettingen door sedimentatie waren het gevolg. Er is een onderverdeling mogelijk naar de periode van afzetting (oude en jonge zeeklei) en naar regio (Zuidwest-Nederland, Noord-Nederland en droogmakerijen in veengebieden en IJsselmeerpolders). Nadat het kustgebied zich stabiliseerde legde men dijken aan en konden de kleigronde ontgonnen worden ten behoeve van de landbouw. De oudste in gebruik genomen kleigronde dateren van enkele honderden jaren voor de jaartelling (Bokhorst 2006). De onderlinge verschillen, tussen oude en jonge zeekleigebieden en tussen de noordelijke en zuidelijke zeekleigebieden, zijn groot (Pols et al. 2005).

Het zeekleigebied combineert een goed te manipuleren waterbeheer met een uitermate voedzame en draagkrachtige bodem. Afgezien van lokale problemen met inklinking, structuurbederf en verzilting zijn de zeekleigebieden economisch gezien de meest vitale landbouwgebieden: goede tot optimale waterhuishouding, uiterst vruchtbaar, efficiënt verkaveld en geschikt voor nagenoeg alle vormen van landbouw. De meer zandige delen blijken zelfs geschikt voor de bollenteelt, een aparte categorie in het LMB. De akkerbouw is veruit de dominante functie. De ontstaansreden van dit landschap is ook de landbouw zelf: het land is drooggelegd ten behoeve van de landbouwproductie. Dit gebeurde tot ver in de twintigste eeuw: de drooglegging van de jonge zeekleipolders in Zeeland en Zuid-Holland ging door tot aan het einde van de negentiende eeuw, de IJsselmeerpolders zijn onze jongste polders. De vruchtbaarheid van de bodem en de moderne agrarische structuur lijken nu de voorwaarden voor een langdurig agrarisch gebruik: de landbouw zal niet snel uit de zeekleigebieden verdwijnen.

4.4.2 De klei onder de akkerbouwbedrijven

De akkerbouwbedrijven op zeeklei uit het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB) liggen gespreid in de kustgebieden van Nederland. In Zeeland, Noord-Holland en Friesland liggen de meeste bedrijven. Ook zijn er nog enkele bedrijven bemonsterd in Groningen en de Noordoostpolder. Het bodemgebruik op de zeeklei is bestendig; akkerbouw op de lichte en wat drogere velden, grasland op de vochtige terreinen. De relatief jonge bodems zijn hoogproductief, mede dankzij de nog altijd aanwezige kalkafzettingen. Deze zorgen voor een hogere zuurgraad (in LMB gemiddelde pH(KCl) = 7,5) die de snelle omzetting van (verse) organische stof mogelijk maken. Hierdoor is het gehalte aan organische stof laag, gemiddeld 2,4%. Met name de lichtere kleibodems worden gebruikt voor de akkerbouw. Het gemiddelde lutumgehalte is 18%; feitelijk geeft dit aan dat het zavel betreft en geen kleibodem. Opvallend waren de lage aantallen micro-arthropoden in soortenarme levensgemeenschappen in de kleibodems van het LMB.

De laag onder de bouwvoor is in principe goed doorwortelbaar vanwege de open sponsstructuur. Deze is afkomstig van oude plantenresten die nog dateren uit de tijd dat de klei zich afzette. Door het geringe gehalte aan organische stof in de bovengrond heeft de bodem de neiging te verdichten, zeker als de boer met zwaar materieel onder natte condities de percelen betreedt. Een verdichte humusrijke laag net onder de bouwvoor is een bekend probleem bij deze bodems. Dit bijna ondoordringbare laagje heeft een negatieve invloed op de doorworteling. Bij overvloedige regenval komen de percelen blank te staan door onvoldoende capaciteit om water op te nemen. Diepploegen heeft volgens Bokhorst (2006) een averechts effect.

Bij akkerbouw zijn de ingrepen in de bodem zo groot dat rotaties een essentieel onderdeel vormen van het bodembeheer. Bij een te krappe of onzorgvuldige rotatie treden onherroepelijk opbrengstverliezen op als gevolg van pathogene en parasitaire organismen. Helaas dwingen economische omstandigheden de boer te kiezen voor hoogrenderende gewassen, zoals groenten en hakvruchten, die een slechte invloed hebben op de bodemstructuur. Granen leveren minder op maar zorgen wel voor een betere bodemstructuur. Bij krappe rotaties en beperkte gewaskeuze is het bestrijdingsmiddelengebruik een essentieel onderdeel van de bedrijfsvoering. De ingrepen om pathogenen en parasieten in de bodem te bestrijden zijn soms fors, zoals fumigatie of het onderwater zetten van complete percelen.

4.4.3 Selectie van de referentie akkerbouw op klei

Dertig bedrijven in de categorie akkerbouw op klei zijn in 2002 bemonsterd; twintig 'gangbare' bedrijven en tien 'biologische' bedrijven. Twaalf bedrijven liggen in Zeeland, zes in Noord Holland, vijf in Groningen, vier in Friesland en drie in Flevoland. In totaal zijn zes locaties geselecteerd die aan de criteria voor een duurzame akkerbodem voldeden; drie biologische en drie gangbare bedrijven. Deze criteria laten zich als volgt omschrijven:

- De omvang van een bedrijf is circa 25 hectare. Het gehalte organische stof bedraagt minimaal 2% en lutum is homogeen over de percelen verdeeld. Het bouwplan is ruim met maximaal 1 op 4 aardappelen of ruimer. Het aandeel hakvruchten is niet te groot (< 30%). Rotaties met gras en gras/klaver zijn een positieve factor. Organische mest en groenbemesters zijn onderdeel van het bodembeheer. Het bouwplan en de vruchtopvolging zijn ruim en zorgvuldig gekozen.
- De toestand van het bodemecosysteem geeft volgens de oordelen van de onderzoekers voeding aan de veronderstelling dat het een actief en relatief stabiel systeem betreft. De biodiversiteit in de bodem is goed te noemen, volgens een ruime set bodembiologische parameters:
 - a. microbiologie: activiteit en diversiteit;
 - b. nematoden, inclusief plantparasitaire nematoden;
 - c. potwormen;
 - d. regenwormen;

- e. mijten en springstaarten;
- f. bodemprocessen (N-cylcus).

Uit de totale set van 30 locaties werden 6 locaties (bedrijven) geselecteerd die maximaal scoorden op bovengenoemde groepen en processen. Hierbij werd het oordeel voor aspect 1 (beheer van de bodem) drie keer meegeteld en de deelaspecten van 2 (bodemeologie) elk één keer. Drie bedrijven in de referentie bleken biologische bedrijven te zijn en drie gangbaar. De duurzame referentie werd bepaald door het gemiddelde te berekenen van de gegevens van deze 6 geselecteerde bedrijven. De gegevens van de overige 24 bedrijven werden gebruikt om het gemiddelde voor Nederland te berekenen en de 5% en 95% percentielen.

4.4.4 Prestaties van de ecosysteemdiensten in de bodem van de Hoeksche Waard

De bodemkwaliteit bij vier akkerbouwbedrijven in de Hoeksche Waard werd in een pilot-project vastgesteld (Rutgers et al. 2007). De vier bedrijven werden in viervoud bemonsterd en geanalyseerd met een set biologische, chemische en fysische bodemparameters. Op basis van significante verschillen en overeenkomsten in de bodemparameters konden drie groepen met een kenmerkende bodemkwaliteit onderscheiden worden. Twee bedrijven hadden een vergelijkbare bodemkwaliteit. De bodemkwaliteit werd vergeleken met de landelijke referentie voor biologische bodemkwaliteit (RBB) en uitgedrukt in de prestaties van de ecosysteemdiensten. De drie groepen kenmerkten zich door relatief goede prestaties voor: 1) ziekten- en plaagwering en biodiversiteit (twee bedrijven), 2) zelfreinigend vermogen en klimaatfuncties (één bedrijf), of 3) nutriëntenretentie en levering (één bedrijf). Ten opzichte van de landelijke referentie voor biologische bodemkwaliteit lijkt de bodem in de Hoeksche Waard gemiddeld genomen slecht te scoren op de 'bodemstructuur' en 'nutriëntenretentie en levering' en gemiddeld goed te scoren op 'klimaatfuncties' en het 'zelfreinigende vermogen'. Eén van de conclusies van het onderzoek was dat de landelijke referentie een bruikbaar vertrekpunt vormt voor de beoordeling van de bodemkwaliteit op een locatie, maar dat als gevolg van regionale bodemeigenschappen het soms noodzakelijk kan zijn om een gebiedsspecifieke referentie af te leiden.

4.5 (Melk)veehouderij op klei



Melkveehouderij op klei – Oosterend (Fr) 2003

4.5.1 Inleiding veehouderij op klei

In Nederland komen twee dominante kleibodems voor, rivierklei en zeeklei. De ontstaansgeschiedenis van de zeeklei is beschreven bij 'Akkerbouw op klei'. Rivierklei is afgezet door de rivieren. De rivierdalen van de Maas, Rijn en IJssel bevatten uitgestrekte gebieden met rivierklei. De rivieren namen zand en kleideeltjes mee die tijdens overstromingen en afnemende stroomsnelheid van de rivier afgezet werden. De zwaarste klei werd afgezet bij de laagste stroomsnelheid. Rivierkleigebieden hebben een meer heterogeen bodemprofiel dan zeekleigebieden, als gevolg van het meanderen van de rivieren, onregelmatiger overstromingspatronen en hoogteverschillen in het landschap. Zeeklei is een mengsel van heel fijn zand en klei; rivierklei is een afwisselend mengsel van grover zand en zwaardere klei (Bokhorst 2006).

De ruimtelijke opbouw van het rivierenlandschap is overzichtelijk: rivierstroom, zomerdijken, uiterwaarden, winterdijken, oeverwallen, donken (zanderige ruggen uit het pleistoceen) en stroomruggen (met bomen en bebouwing). Het verst van de rivier liggen de komgronden (open): weidegronden die tegenwoordig iets zijn verbeterd met behulp van bodemverbetering en ontwatering. Het rivierkleigebied bevat uitstekende landbouwbodems op de wat jongere en drogere delen. Volgens fruitspecialisten komt het lekkerste fruit van de rivierklei uit de Betuwe. In de rivierdalen is een vruchtbare grond ontstaan doordat een eeuwenlange begroeiing voor aanvoer van organisch materiaal heeft gezorgd. Onder invloed van het bodemleven ontstond een humusprofiel tot op grote diepte. De toplagen zijn al behoorlijk ontkalkt, maar op grotere diepte is nog vaak wel kalk aanwezig. Humus en kalk op grote diepte verklaren de goede doorwortelbaarheid van de bodem, zodat ze zeer geschikt is voor de fruitteelt. Ook andere vormen van landbouw zoals akkerbouw en (melk)veehouderij komen voor in deze gebieden.

4.5.2 De klei onder de veehouderijbedrijven

De veehouderijbedrijven op rivierklei en zeeklei uit het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB) liggen verspreid in de kustgebieden van Nederland en in de rivierdalen van Maas, Rijn en IJssel. Hoewel er aanleiding is om onderscheid te maken tussen rivierklei en zeeklei zijn in deze eerste aanzet alle gegevens samen geanalyseerd. Het betreft gegevens van twintig gangbare bedrijven op zeeklei, twintig gangbare bedrijven op rivierklei en tien biologische bedrijven op zeeklei. De zuurgraad van de kleibodem onder veehouderijbedrijven in het LMB bedraagt gemiddeld 6,5 (pH-KCl). Rivierklei is gemiddeld 0,7 pH-eenheid lager dan zeeklei. Het organische stof gehalte bij rivierklei ligt wat hoger dan bij zeeklei, respectievelijk 8,0% en 6,3%. De biologische bedrijven op zeeklei hebben een hoger organische stofgehalte, namelijk 10,6%. De graslanden zijn ouder en worden minder vaak gescheurd. Bij deze bedrijven is er aandacht voor de balans in de organische stof en wordt vaker dierlijke mest, compost en groenbemesting gebruikt dan bij de gangbare bedrijven.

Afgezien van lokale problemen met verdichting van de bodem, zijn de rivier- en zeekleigebieden economisch gezien de meest vitale landbouwgebieden: goede tot optimale waterhuishouding, uiterst vruchtbaar, en geschikt voor nagenoeg alle vormen van landbouw.

4.5.3 Selectie van de referentie (melk)veehouderij op klei

Vijftig bedrijven in de categorie (melk)veehouderij op klei zijn in 2002 en 2003 bemonsterd. In totaal zijn acht bedrijven geselecteerd die aan de criteria voor een duurzame bodem voldeden; drie gangbare (één op zeeklei en twee op rivierklei) en vijf biologische bedrijven (alle op zeeklei). De criteria voor selectie laten zich als volgt omschrijven:

- De 'productiviteit' van het bodemecosysteem, op basis van de rijkdom van het bodemleven, en andere bodemeigenschappen zoals potentiële N-mineralisatie in relatie tot het gehalte aan organische stof. Deze aspecten hebben een relatie met een goede productiviteit.
- Het bodembeheer is gericht op de vermindering van het gebruik van meststoffen en verschuiving naar organische mesttypen.
- De hoeveelheid 'externe hectares' van een bedrijf moet in balans zijn met de productiviteit van een bedrijf (Iepema en Baars 2005). Van veel bedrijven is dit indexgetal overigens niet bekend.
- Frequentie scheuren van het grasland is minder dan 1 keer per 5 jaar.
- De toestand van het bodemecosysteem geeft volgens de oordelen van de onderzoekers voeding aan de veronderstelling dat het een actief en relatief stabiel systeem betreft. De biodiversiteit in de bodem is goed te noemen, afgemeten aan een set bodembioologische parameters:
 - a. microbiologie: activiteit en diversiteit;
 - b. nematoden, inclusief plantparasitaire nematoden;
 - c. potwormen;
 - d. regenwormen;
 - e. mijten en springstaarten;
 - f. bodemprocessen (N-cylcus).

Enkele onderzoekers gaven aan dat het bodemecosysteem van de zeeklei duidelijk verschilt met die van de rivierklei. De samenvoeging van deze categorieën leidt daarom vermoedelijk tot verlies van onderscheidend vermogen. In sommige gevallen zal de hier gerapporteerde referentie dus niet optimaal zijn. Dit is een aandachtspunt voor een volgende selectieronde van de referenties. Om een betrouwbare referentie voor veehouderij op rivierklei af te kunnen leiden zijn er nog gegevens nodig van biologische bedrijven, want die ontbreken momenteel. Uit de totale set van 50 locaties werden 8 locaties (bedrijven) geselecteerd die maximaal scoorden op bovengenoemde oordelen. De duurzame referentie werd bepaald door het gemiddelde te berekenen van de gegevens van deze 8 geselecteerde bedrijven. De gegevens van de overige 42 bedrijven werden gebruikt om het gemiddelde en de 5%- en 95%-percentielen voor Nederland te berekenen.

4.6 (Melk)veehouderij op löss (Limburgse klei)



Grasland op löss (Limburgse klei) - Epen (Li)

4.6.1 Inleiding löss

Het krijt- en lösslandschap in het zuiden van Limburg is onderdeel van het uitgestrekte Ardennen- en Eifelmassief, waarvan de noordelijke uitloper in Nederland valt. Het bestaat uit vrij vlakke plateaus met beekdalen, droge dalen en hellingen. Tijdens de laatste ijstijd werd hier een lössdek afgezet, dat relatief vruchtbaar en goed bewerkbaar is, maar slechts weinig kalk bevat. Löss komt in de aangrenzende delen van België en Duitsland veel voor, maar in Nederland betreft het een relatief klein oppervlak. Löss is geen formele categorie in het LMB, maar is uitgekozen in de ronde van 2003 als extra categorie.

Het heuvelland in het zuiden van Limburg was vroeger een cultuurlandschap met veel open bouwland en grasland (Pols et al. 2005). Onder invloed van de mijnbouw en de veranderingen in de landbouw is het Limburgse landschap in de laatste eeuw sterk veranderd. In de laatste helft van de vorige eeuw was het de ruilverkaveling die het landschap ingrijpend veranderde. Ook werd, onder meer om de gevolgen van de mijnsluitingen te compenseren, veel geïnvesteerd in recreatie en in landschapsverbetering. Vanwege de toeristische betekenis van het heuvelland in Limburg werd hier, eerder dan in andere delen van Nederland, aandacht besteed aan de natuurlijke en landschappelijke waarden. De kleine bossen liggen op de steile hellingen en langs de beken ligt schraalgrasland. Door het reliëf en het aantrekkelijke mozaïek van grondgebruik met streekeigen teelten, is het landschap aantrekkelijk voor recreanten. Momenteel is het agrarische gebruik van dit landschapstype teruggelopen en is veel cultuurland in bezit van natuurorganisaties. De beekdalen en de hellingen liggen in de Ecologische Hoofdstructuur. Op de hoger gelegen plateaus bevinden zich de voor de landbouw meest bruikbare en vruchtbare gronden.

4.6.2 De löss onder de veehouderijbedrijven

In 2003 zijn als extra categorie in het LMB zeven gangbare en vier biologische melkveehouderijbedrijven op löss gemonsterd. De zuurgraad van de bodem bedraagt gemiddeld 6,2 (pH-KCl). Het gehalte aan organische stof is gemiddeld 4,6%. Het lutumgehalte is gemiddeld 15,8%. P-totaal bedraagt 690 mg/kg.

4.6.3 Selectie van de referentie veehouderij op löss

De categorie (melk)veehouderij op löss die met bodembioïologische monitoring is geanalyseerd is gering van omvang, waardoor de selectie van een goede referentie onzeker is. Uit de beschikbare set gegevens over de lössbodem bij elf bedrijven staken volgens de beoordeling van de onderzoekers drie bedrijven met kop en schouders boven de andere uit, namelijk twee gangbare en één biologisch bedrijf. Bovengemiddeld goed scoorden beoordelingsparameters met betrekking tot potentiële N-mineralisatie, functionele diversiteit en de regenwormengemeenschap.

Het areaal löss in Nederland is beperkt van omvang. Er is nog geen aandacht besteed aan de inventarisatie van potentiële maatregelen om het bodemgebruik op löss duurzamer te maken. Dit zal in toekomstige versies van dit rapport aandacht krijgen.

4.7 (Melk)veehouderij op veen



Melkveehouderij op veen - Zegveld (Ut) 2003

4.7.1 Inleiding veehouderij op veen

Het veenlandschap groeide in het holoceen bij een stijgende zeespiegel achter de strandwallenkust in het westen van Nederland. Veenvelden kunnen zoveel water vasthouden dat het onafhankelijk wordt van het grondwater. Zo kan het tot meters hoog groeien tot boven het peil van de omgeving; het voedselarme hoogveen. Het meer voedselrijke laagveen stond onder invloed van de zee of de rivieren; deze gronden waren meer kalk- en slibhoudend en beter geschikt voor de landbouw dan de hoogvenen. Hoogvenen zijn overigens nog niet in het kader van de bodembio-ecologische monitoring onderzocht. In de aanlegfase zijn de laagvenen gebruikt voor akkerbouw en veehouderij. Door slechte hydrologische toestand en bodemdaling van het veengebied kon niet meer geconcurrereerd worden met de beter te ontwateren klei- en zandbodems en zijn de boeren in de laagveengebieden overgegaan op beweide grasland.

De indeling van het huidige laagveenlandschap wordt bepaald door de polders, hoger gelegen boezemwateren en wetingen, kaden, de strokenverkaveling, langgerekte sloten en een scala aan kleinschalige nutbosjes. Het landschap bevat veel cultuurhistorische elementen. De ecologische betekenis is sterk verweven met de bedrijfsvoering: het zijn 'halfnatuurlijke' landschappen die ook internationaal gezien grote betekenis hebben, bijvoorbeeld voor weidevogels. De veenweidegebieden zijn zeer gewaardeerde cultuurlandschappen, zo zelfs dat men het Groene Hart is ondertunnelt voor de hogesnelheidslijn.

De Hollanders zijn rijk geworden met het veen, maar de toekomst van het laagveenlandschap is nu onzeker. De huidige wijze van landbouw staat onder druk, omdat de eeuwenlange ontwatering heeft geleid tot de oxidatie van veen en een flinke bodemdaling van enkele meters. Lag het laagveengebied vroeger betrekkelijk hoog, soms enkele meters, boven de zeespiegel, momenteel liggen alle laagveengebieden onder zeeniveau. Een proces dat onverminderd voortgaat. Doorgaan met deze ontwatering leidt op de lange termijn tot ernstige problemen met de waterbeheersing, de veiligheid en de waterkwaliteit. Uiteindelijk levert deze problematische waterhuishouding beperkingen op voor alle functies; ook voor de stedelijke functies, die overigens in het westen een belangrijk deel van het grondgebruik beslaan.

4.7.2 De veenbodem onder de veehouderijbedrijven

De belangrijkste laagveengebieden liggen in de provincies Utrecht, Noord- en Zuid-Holland. Ook in Friesland en de kop van Overijssel is laagveen te vinden. De gemiddelde zuurgraad van de bodem bij de bemonsterde bedrijven is 4,7 (pH-KCl). Het gehalte aan organische stof is hoog (gemiddeld 31%). Het gemiddelde lutumgehalte is ook hoog (28%). De associatie tussen de kleigebieden (rivier- en zeeklei) en gebieden waar het veen zich kon vormen is hiermee gedemonstreerd.

4.7.3 Selectie van de referentie veehouderij op veen

De bemonstering en bodembio-ecologische analyse van veehouderij op veen ging vergezeld met tegenslagen. In het ritme van de bemonstering van het LMB waren de veenbodems in 2001 aan de beurt. Door een uitbraak van de ziekte mond- en klauwzeer bij rundvee werd de bemonstering in het voorjaar van 2001 afgebroken. De abiotische monitoring in het LMB is in het najaar van 2001 alsnog uitgevoerd, maar deze bemonstering was ongeschikt voor bodembio-ecologische analyses. Op een aantal manieren is alsnog informatie verkregen over de bodembio-ecologische toestand bij (melk)veehouderij op veen. Zes gangbare bedrijven uit het LMB zijn bemonsterd in 2003. Tevens zijn in dezelfde ronde in 2003 vijf biologische bedrijven bemonsterd. Deze elf bedrijven liggen in de provincies Noord- en Zuid-Holland en Utrecht. Drie met zware metalen verontreinigde graslanden op veen zijn in 2003 met Bobi geanalyseerd in het kader van het Stimuleringsprogramma Systeemgericht Ecotoxicologisch Onderzoek (SSEO; Rutgers 2007). Deze terreinen hebben als gevolg van eeuwenlange bodemverbetering met onder andere stadsafval momenteel een met zware metalen verontreinigde laag van 15 tot 50 cm. Deze jonge bodemlaag wordt 'toemaakdek' genoemd. In 2004 is het bedrijf van de

familie Spruit in Zegveld (Zuid-Holland) bemonsterd en geanalyseerd. Dit bedrijf is op verschillende aspecten van de bedrijfsvoering en de milieueffecten beoordeeld, waaronder ook het bodemecosysteem, in verband met het niet-toegestane bovengronds verspreiden van organische mest (Sonneveld en Bouma 2005). In 2005 zijn vier melkveebedrijven in Friesland gemonsterd als onderdeel van de initiatieven bij de Noordelijke Friese Wouden (vervolg van het VEL-VANLA programma).

Vier bedrijven zijn geselecteerd met een relatief gezonde bodem ten opzichte van de andere locaties. Bij de vier bedrijven die zijn geselecteerd voor de referentie zijn twee bedrijven uit de provincie Utrecht, één uit Noord-Holland en één uit Friesland. Opvallend bij de geselecteerde bedrijven was een kwalitatief goede mijten- en springstaartengemeenschap, en slechts een matige kwaliteit van de nematodengemeenschap. De terreinen met toemaakdek en hoge concentraties zware metalen kregen de laagste beoordeling van de meeste onderzoekers.

4.7.4 Maatregelen voor duurzame (melk)veehouderij op veen

Als veen oxideert komen er veel voedingsstoffen vrij en dit is in principe gunstig voor allerlei vormen van landbouw. De nadelen zijn navenant. Lagen de laagveengebieden vroeger boven zeeniveau, nu liggen ze zonder uitzonderingen beneden zeeniveau en de bodemdaling gaat nog steeds door met enkele centimeters per jaar in de sterkst ontwaterde veengebieden. Door de oxidatie van het organische materiaal zullen de concentraties zware metalen toenemen en dat is een probleem voor de met zware metalen verontreinigde in gebieden met toemaakdek. Aantasting van de bodem door te intensieve beweiding en gebruik van te zware machines komt ook veelvuldig voor. Maatregelen die zich op de waterhuishouding, het verlies van organische stof en bodemverdichting concentreren zullen naar verwachting positief bijdragen aan de bodemkwaliteit. Gedacht kan worden aan opzetten van het waterpeil, niet gebruiken van zware machines, betreden onder gunstige omstandigheden en permanent gras (dus geen vruchtwisseling met maïs). De onderbouwing hiervoor is nog niet beschikbaar.

4.8 Akkerbouw op zand



Akkerbouw op zand - Schoonoord (Dr) 2006

4.8.1 Inleiding akkerbouw op zand

Noord-, Oost- en Zuid-Nederland heeft een groot areaal aan zandgronden. Deze zandgronden zijn ontstaan in de laatste ijstijd, zo'n 70.000 tot 10.000 jaar geleden. In de ijstijd was het te koud voor plantengroei, zodat de grote zandvlakte van de huidige droge Noordzee (Doggersbank) met noordwestenwinden tot in Duitsland kon verstuiven. Grote hoeveelheden zand werden 50.000 jaar geleden aangevoerd en vormden een grote deken met 'dekzand' over Noordwest-Europa. In Zuid-Limburg werd de fijnste fractie afgezet, de latere lössbodem. Tijdens de laatste ijstijd, 15.000 jaar geleden, was het minder koud en werden kleinere hoeveelheden zand vanuit droge rivierbeddingen in zogenaamde zandruggen afgezet.

Omdat zandgronden relatief oud zijn is de kalk uitgespoeld en is de bodem zuurder geworden. Onder natuurlijke omstandigheden worden vervolgens de zogenaamde podzolgronden gevormd, waarbij donkere, humusachtige en instabiele stof uitspoelt en zich weer op grotere diepte ophoopt. De donkere humus is dan stabiel en kan duizenden jaren oud worden. Onder droge omstandigheden geeft de vegetatie (eiken, berken, dennen) een zwarte en zure humus die in karakteristieke dunne laagjes inspoelt. Intacte humusprofielen van deze droge podzolisolatie vindt men nog onder heidevelden. Onder natte omstandigheden werd een bruine en egalere humus gevormd.

De bodems die door de mens zijn opgehoogd met zandhoudende mest bevatten een dikke humushoudende bovengrond van soms 80 cm dik. Dit zijn de enkeerdgronden. Er zijn grote verschillen tussen enkeerdgronden afhankelijk van de uitvoering van de eeuwenoude landbouwtradities om plaggen van heide, bos of beekdalen te halen om de bodem te verbeteren. Dit zijn de enken, engen of essen. Globaal bedroeg de ophoping 1 mm per jaar; 50 cm bovengrond kost dus 500 jaar om te maken. De oudste sporen van akkers op de zandgronden dateren van rond het begin van de jaartelling.

4.8.2 De zandbodem onder de bedrijven

Een veelgehoord citaat voor droge zandbodem is: 'slechts door ploegen krijgt de boer een vruchtbare grond'. Droge zandbodems zijn geen goede basis voor een hoog renderende akkerbouw. Vaak wordt akkerbouw afgewisseld met groenbemesting. Door bekalking en het gebruik van gewasresten en organische mest wordt de dynamiek in de organische stof versneld en ten gunste van de bodemvruchtbaarheid aangewend. De akkerbodems hebben een gemiddelde zuurgraad van 5,2 (pH-KCl). Het gehalte aan organische stof is relatief hoog met een gemiddelde van 5,2%. Dit heeft te maken met het gegeven dat er veel locaties in het LMB een veenkoloniale achtergrond hebben en in de provincie Drenthe liggen. Het percentage lutum is gemiddeld 2,6%.

4.8.3 Selectie van de referentie akkerbouw op zand

In 2001 en 2002 zijn 34 akkerbouwbedrijven op zand bemonsterd en geanalyseerd: twintig gangbare en veertien biologische bedrijven. De meeste bedrijven liggen in de provincie Drenthe (zeventien) en vaak hebben ze een veenkoloniale achtergrond. De overige bedrijven liggen in de provincies Gelderland, Overijssel en Noord-Brabant. Zeven bedrijven werden in eerste instantie geselecteerd voor de referentie. Eén bedrijf is niet meegenomen voor de referentie in verband met een te hoog percentage lutum (10%). Opvallend was dat de groepen regenwormen, potwormen en nematoden bij de referentie een eensluidend positief oordeel kregen van de betreffende onderzoekers. Bij twaalf van de 34 bedrijven werden geen regenwormen aangetroffen en dit werd negatief beoordeeld voor de bodemkwaliteit op dit aspect. Eén bedrijf zonder regenwormen scoorde op de overige bodemparameters zo goed dat het toch geselecteerd werd voor de referentie.

4.8.4 Maatregelen voor duurzame akkerbouw op zand

Zandbodems zijn niet de meest ideale bodem voor akkerbouw. Gebrek aan vocht, voedingsstoffen, lucht en zure omstandigheden beïnvloeden de bodemvruchtbaarheid in ongunstige zin. Ploegen van de bodem kan soms een remedie zijn tegen een onbruikbare, met zwarte humusdeeltjes verdichte, bodem, maar kan ook de door regenwormen aangebrachte lokale structuur met verticale gangen in een keer vernietigen. Aanvoer van voldoende organische mest, groenbemesting, lichte machines, rotaties met gras of gras/klaver en een beperkte bodembewerking zijn positieve factoren voor een duurzamer bodembeheer.

4.9 (Melk)veehouderij op zand



Melkveehouderij op zand - De Lutte (Ov)

4.9.1 Inleiding veehouderij op zand

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 totale 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 is dan het eigen areaal (Iepema en Baars 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).

4.9.2 De zandbodem onder de veehouderijbedrijven

De categorie melkveehouderij op zandgrond ligt op de droge zandgronden in het midden, oosten en zuiden van Nederland, de zogenaamde enkeerdgronden, holtpodzolgronden en veldpodzolgronden. De bodem is overwegend zanderig (90% > 50 µm) met weinig leem en kleideeltjes (5% < 2 µm), organische stof (3,8%) en nutriënten. De pH is van nature laag, maar wordt kunstmatig op peil gehouden via een actief bekalkingsbeheer (gemiddelde pH-KCl = 4,7). De grondwaterstand is relatief laag (ongeveer 1 meter beneden maaiveld; 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 (*Lolium perenne*) en ook timoteegras (*Phleum pratense*). De percelen worden steeds vaker ingezaaid met witte klaver (*Trifolium repens*) om de stikstofhuishouding te beïnvloeden. In kleinere hoeveelheden worden ook veldbeemd (*Poa pratensis*) en Italiaans raaigras toegepast (*Lolium multiflorum*).

4.9.3 Selectie van de referentie (melk)veehouderij op zand

De gegevens over de bodem van melkveehouderijen op zand in het monitoringsprogramma (Schouten et al. 2002) met de bodembiologische indicator bevat 87 locaties (bedrijven). Deze zijn in categorieën in te delen, 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 per hectare).
- extensief: conventionele veehouderijbedrijven met een relatief lage veedichtheid (minder dan 2,8 GVE per hectare).
- intensief: veehouderijbedrijven met een gangbare veedichtheid (2,8 tot 5 GVE per hectare).
- 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 twintig 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, 2006). Een allometrische relatie voor het gemiddelde gewicht van de bodemorganismen uitgezet tegen de gevonden aantallen, resulteert onder duurzame condities in een regressielijn met een helling die gelijk aan -1 is. Geïntegreerd over alle lagen van het bodemvoedselweb zijn onder deze omstandigheden de prooien in evenwicht met de rovers. 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% van hun eigen oppervlak 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 zes locaties geselecteerd die voor vijf van de zes bovengenoemde kenmerken voldeden aan de criteria voor duurzaamheid: vier biologische en twee gangbare bedrijven. 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 zes geselecteerde bedrijven. De gegevens van de overige 75 bedrijven werden gebruikt om het gemiddelde voor Nederland te berekenen en de 5% en 95% percentielen.

Volgens de onderzoekers is het aantal regenwormen in de categorie melkveehouderij op zandgrond aan de lage kant en in de referentie aan de zeer lage kant. Vaak worden meer dan 200 regenwormen per vierkante meter aangetroffen.

4.9.4 Maatregelen bij (melk)veehouderij op zand

Inleiding

De beoordeling van de gezondheid van de bodem en de duurzaamheid van het bodemgebruik is pas nuttig voor de bodemgebruikers als naast een beoordelingsmethode ook bruikbare maatregelen te geven zijn om bodemkwaliteit te verbeteren. Hiervoor moet er voldoende bekend zijn over het verband tussen beheer c.q. bedrijfsvoering en de reactie van het bodemecosysteem 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 bodembologisch worden geanalyseerd. In het project Bodem, Bedrijf, Biodiversiteit (Koopmans et al. 2006) werd aandacht besteed aan de relatie tussen bedrijfsvoering en bodembologische 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).

Gras- versus bouwland bij (melk)veehouderij op grasland

Nog groter dan het verschil van grondsoort op bodemleven is het verschil tussen grasland en bouwland. In grasland wordt over het algemeen meer bodemleven gevonden dan in bouwland. Door ploegen worden de leefomstandigheden en voedselvoorziening van het bodemleven letterlijk overhoop gegooid.

Maatregelen continue maïsland

Bij continueelt van maïs is het moeilijk om het bodemleven positief met managementmaatregelen te beïnvloeden. Voor de hand liggende maatregelen zijn ‘mestsoort’ en ‘groenbemester telen’. Op Praktijkcentrum Aver Heino lag een meerjarige proef met continueelt van snijmaïs waarbij jaarlijks verschillende hoeveelheden mest werden gegeven in combinatie met winterbraak en nateelt met winterrogge als groenbemester. Na zestien jaar was er in deze proef geen eenduidig effect van bemesting en groenbemester op de bacteriële biomassa. Opvallend was wel dat of mest of groenbemester zorgden voor een verhoging van de bacteriële biomassa ten opzichte van geen mest maar dat een combinatie van mest en groenbemester nauwelijks effect had. De gemiddelde bacteriële biomassa was echter minder dan de helft van wat normaal op akkerbouwgrond wordt gevonden. Ook het aantal wormen was klein met gemiddeld 10 per m². Zowel bemesting als groenbemester had geen wezenlijke invloed op het aantal wormen. Eén van de methoden waarmee de activiteit van het bodemleven kan worden beoordeeld is de ademhalingstest of koolzuurproductie. De meeste bodemorganismen produceren koolzuur (CO₂). Een hoge koolzuurproductie betekent een hoge activiteit. De gemiddelde activiteit in het proefveld was laag. Zowel bemesting als groenbemester had een positief effect op de ademhaling. De absolute verschillen waren echter klein (Van Schooten et al. 2006). Vruchtwisseling van bouwland met grasland lijkt eigenlijk de enige maatregel die het bodemleven op bouwland positief kan beïnvloeden.

Vruchtwisseling

Bij vruchtwisseling worden door ploegen de leefomstandigheden en voedselvoorziening van het bodemleven overhoop gegooid. Micro-organismen en nematoden lijken zich hier redelijk snel van te herstellen. Grondbewerking is echter funest voor regenwormen. Aantallen nemen snel af in bouwland en herstel in jong grasland tot het niveau van oud grasland duurt minimaal 5 jaar. Dit alles heeft zijn effect op de cyclus tussen gras/wortels ↔ bodemleven ↔ bodem. Vooral de functies die regenwormen vervullen in de bodem hebben hieronder te leiden; structuurverbetering en watervoorziening van de plant door een betere waterinfiltratie en ontsluiting van diepere bodemlagen voor worteling. De rol van het bodemleven in de structuurverbetering is met name belangrijk voor blijvend (niet geploegd) grasland omdat dit niet ieder jaar wordt geploegd.

Bovenstaande zou er voor pleiten om grasland zo lang mogelijk in stand te houden zolang de cyclus tussen het gewas en bodem goed draait. Hiermee wordt organische stof zoveel mogelijk opgebouwd en kan het ook worden benut voor een hoger stikstofleverend vermogen onder het grasland en een hogere beschikbaarheid van vocht. Valt de cyclus stil dan zal of door graslandbeluchting/woelen of ploegen de cyclus mogelijk weer aangejaagd kunnen worden. Als onderdeel van het plan voor herinzaai zou dan mogelijk 1 jaar maïs geteeld kunnen worden.

Wat betreft maïsteelt is ook duidelijk dat vruchtwisseling met gras of grasklaver het gunstigste is voor de bodemkwaliteit. Op een bedrijf met 70% gras en 30% maïs gaat de gewasrotatie van gras met maïs echter ten koste van het blijvend grasland. Dit zou er voor pleiten om de graslandfase in de rotatie zo kort mogelijk te houden in dienst van de maïsteelt. In deze graslandfase van één of twee jaar zou er een lichte organische stof opbouw plaats kunnen vinden en een licht herstel van het bodemleven. Hierdoor is er een plus in de maïsproductie. Aangezien het grasland na één of twee jaar toch weer wordt omgeploegd zijn regenwormen onder het tijdelijk grasland voor structuurherstel en waterinfiltratie minder noodzakelijk (Van Eekeren et al. 2007).

Spoorvorming bij grasland

Spoorvorming onder grasland is geen maatregel maar wordt wel vaak gezien als een van de oorzaken van de afname van bodemleven onder grasland. In een vergelijkende proef op proefbedrijf Aver Heino zijn in en naast het spoor, één en negen weken na de berijding, verschillende bodemparameters gemeten. Berijden bleek geen effect te hebben op de bodemdichtheid (0-30 cm), het vochtgehalte (0-30 cm), de visuele bodemstructuur (0-20 cm), het aantal wortels en macroporiën (0-20 cm), de

biomassa van bacteriën en schimmels (0-10 cm), het aantal wormen (0-20 cm), het aantal en de voedingsgroepen nematoden (0-10 cm) en de potentiële C- en N-mineralisatie. De indringingsweerstand (0-60 cm) was steeds hoger in het spoor; alleen in de laag 10-20 cm was dit verschil echter significant. Negen weken na berijden was de biomassa van de regenwormen in het spoor afgenomen ten opzichte van het onbereden oppervlak (78 vs. 131 g/m² in 0-20 cm). Door berijden nam het celvolume van de bacteriën significant toe, wat kan wijzen op minder predatie door protozoën en nematoden in het ondergrondse voedselweb. Ook in Engels onderzoek had éénmalig berijden geen significant effect op het aantal wormen na tien maanden. Bij tienmaal achter elkaar berijden in hetzelfde spoor nam het aantal wormen echter duidelijk af. In vijfjarig onderzoek op zandgrond in de Wieringermeer leidde frequente verdichting tot een toename van het aantal plantenetende nematoden in 0-10 cm, mogelijk door een toename van de beworteling in dezelfde laag (De Boer en Van Eekeren 2007).

Leeftijd bij grasland

Uitstellen van graslandvernieuwing en ouder laten worden van een graszode is een belangrijke maatregel om het bodemleven op te bouwen. De bacteriële biomassa en de N-mineralisatie waren in 5 tot 17 jaar oud grasland op Koeien en Kansen-bedrijven, twee tot driemaal hoger dan in 1 jaar oud grasland. In 5 jaar oud grasland kan het bodemleven dus behoorlijk herstellen (Bron: ongepubliceerde data Bobi 2004). In Bioveem werd gevonden dat percelen ouder dan 6 jaar significant verschilden van percelen met een leeftijd van 1 tot 3 jaar en 3 tot 6 jaar (bron: ongepubliceerde data Bioveem 2003; De Vries et al. 2007).

Gras versus grasklaver

Puur witte klaver staat bekend als een gewas met een minder goed ontwikkeld wortelstelsel dan gras. In een proef had klaver in de laag 0-10 cm een wortelbiomassa van 1 ton droge stof per hectare tegen 5,8 ton droge stof in de variant met alleen onbemest grasland. Dit minder ontwikkelde wortelstelsel uitte zich in een slechtere structuur (minder kruimels) onder klaver dan onder onbemest gras of grasklaver. Een ander fenomeen is echter dat de biomassa van wormen onder puur klaver verdubbelt ten opzichte van onbemest grasland wat resulteert in meer macroporiën. Een combinatie van gras en klaver lijkt het beste van gras en klaver te combineren. Zowel de kruimelstructuur als het aantal macroporiën scoort goed onder grasklaver. Introductie van grasklaver is daarom een belangrijke maatregel om het bodemleven en haar ecologische diensten te verbeteren (Van Eekeren et al. 2006, Van Eekeren et al. 2007).

Mestsoort en bemestingsniveau

In graslanden op zand lijkt de grote input van organische stof van het gewas via wortellexudaten, wortels en gewasresten een groter effect te hebben op het bodemleven dan de mestsoort of het bemestingsniveau. In een proef op zandgrond in Bakel waren er na vijf jaar bemesting met verschillende mestsoorten alleen verschillen zichtbaar in fysische en biologische parameters tussen het gebruik van organische mest en geen bemesting of bemesting met kunstmest. De verschillen waren echter klein, meestal niet significant en manifesteerden zich vooral in een iets hogere aanwezigheid en activiteit van micro- en mesofauna bij organische mestsoorten en het positieve effect van humest en stalmest op de indringweerstand en van stalmest op de bulkdichtheid (De Boer et al. 2007).

4.10 Halfnatuurlijk grasland op zand



Halfnatuurlijk grasland op zand - (Dr) 2004

4.10.1 Inleiding halfnatuurlijk grasland op zand

Halfnatuurlijke graslanden (HNG) zijn er in grote verscheidenheid. 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 (maaïen/beweiden).

De typering van het bodemecosysteem voor halfnatuurlijk grasland inclusief de duurzame referentie dient gezien te worden als representatief voor een 'natuurlijke' vorm van grasland in Nederland. Daarbij dient opgemerkt te worden dat veel halfnatuurlijke graslanden in Nederland zich nog in een overgangsfase bevinden en relatief kortgeleden uit productie zijn genomen. Graslanden met een productiedoelstelling vallen onder het bodemgebruik (melk)veehouderij. 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 vochthuishouding in de bodem bij bedrijven met een productiedoelstelling veel minder verschillen dan de vochthuishouding bij halfnatuurlijke graslanden. Het is bekend dat de vochthuishouding 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 mede gebaseerd moeten worden op de 'bodemgezondheid'. 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 minder robuust. Er zijn minder locaties geanalyseerd (10 locaties HNG; 87 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.

4.10.2 Beheer van halfnatuurlijke graslanden op zand

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 plaatsvindt. Daarnaast worden verschillende vormen van maaibeheer aangetroffen. De variatie in deze factoren is te groot om binnen de beperkte dataset categorieën te maken.

4.10.3 Selectie van de referentie halfnatuurlijk grasland op zand

De selectie van de referentie voor halfnatuurlijke graslanden is al eerder gepubliceerd in een rapport (Rutgers et al. 2005). Het aantal halfnatuurlijke graslanden in de Bobi-database is beperkt. De tien 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 bodembioologisch onderzoek is uitgevoerd in terreinen van circa 10 hectare, is er ook een grote heterogeniteit in de samenstelling van planten op een dergelijk oppervlak. De door Rutgers et al. (2005) gepubliceerde vegetatietypering is daarom alleen bedoeld als algemene aanduiding. 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; 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 tien in totaal) die gezamenlijk het referentiebeeld vormen. Uitbreiding van het aantal waarnemingen binnen de groep halfnatuurlijke graslanden is gewenst voor een beter onderbouwd landelijk beeld. De amoebegrafiek 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.

4.10.4 De vegetatie op halfnatuurlijke graslanden

De gestreepte witbol (*Holcus lanatus*) is een van de meest voorkomende grassen in het land. Samen met de geknikte vossenstaart (*Alopecurus geniculatus*) en het ruw beemdgras (*Poa trivialis*), 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 milieumomstandigheden heersten. In het bijzonder zijn grassen zoals het Engels raaigras (*Lolium perenne*) en gewone kroppaar (*Dactylis glomerata*) 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*) is van de zuidoostelijke Veluwezoom verdwenen. Orchideeën, zoals *Dactylorhiza maculata* (twee keer) en *D. majalis* (één keer), worden sporadisch aangetroffen op natte, voedselarme en soms zwak zure bodems. 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 verstoring.

4.10.5 Maatregelen en beheer van halfnatuurlijke graslanden

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 verschrallen 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 top laag afplaggen (niet aan te bevelen), de eerste keren het maaisel afvoeren, niet vaker maaien dan nodig is, geen bagger op het perceel brengen, eventueel extensief beweiden (minder dan 0,5 GVE per hectare als alternatief voor maaien) en het waterpeil opzetten.

4.11 Heide op zand



Heide – Balloërveld (Dr) 2004

4.11.1 Inleiding heide

De natuurlijke plantengroei op de droge podzolgrond bestaat voor een belangrijk deel uit loofbos, maar door branden, grootschalige kap in de Middeleeuwen en eeuwenlange intensieve begrazing is het bos teruggedrongen en kwam er struikheide voor in de plaats (Vera 2000). De heide is dus een cultuurlandschap wat slechts door intensieve begrazing in stand werd gehouden. Het afplaggen van droge heide voor de stal rondom boerderijen veroorzaakte zelfs op grote schaal stuifzanden, waardoor de bodem nog verder verarmde.

Op de droge heide komen naast struikheide (*Calluna vulgaris*) een beperkt aantal andere soorten voor, zoals bochtige smele (*Deschampsia flexuosa*), pijpestrootje (*Molinia caerulea*) en andere grassen, en jeneverbes (*Juniperus communis*). Boomsoorten die er voorkomen zijn de grove den en de eik. In het noorden van Nederland komt kraaiheide (*Empetrum nigrum*) voor. Vochtige heide, vaker op veen, kenmerkt zich met soorten zoals dopheide (*Erica tetralix*), pijpestrootje (*Molinia caerulea*), ronde zonnedauw (*Drosera rotundifolia*), klokjesgentiaan (*Gentiana pneumonanthe*), beenbreek (*Narthecium ossifragum*) en zeggen. Een typische struik is de gagel (*Myrica gale*).

De heide in Nederland komt tegenwoordig steeds meer onder druk te staan, onder andere door ruimtedruk (recreatie, militaire activiteiten, wegen, wonen, landbouw). Daarnaast zijn de heideterreinen aan het ‘vergrassen’ naar een dominantie van bochtige smele (*Deschampsia flexuosa*) en pijpestrootje (*Molinia caerulea*). Tevens zijn veel van de kruidensoorten, korstmossen en mossen van droge heide aan het verdwijnen. Deze afname van de bovengrondse biodiversiteit heeft direct zijn invloed op de fauna, zowel bovengronds als ondergronds. Op de Dwingeloose Heide worden bijvoorbeeld veel

minder vlindersoorten aangetroffen dan voorheen (Mulder en Breure 2006). Voor de instandhouding of herstel van de heideterreinen is ook nu weer een intensief beheer nodig.

4.11.2 De bodem onder de heide

De zandbodem onder droge heide kenmerkt zich door schraalheid en een lage zuurgraad. De gemiddelde pH-KCl is 3,2. Mede daardoor bevat de bodem een hoog gehalte organische stof (gemiddelde totaalgehalte bedraagt 7,3). De fosfaatgehalten zijn laag: P-totaal bedraagt gemiddeld 9,2 mg per 100 g droge grond. De droge heide heeft per se lage grondwaterstanden. Net als bij bossen zijn de regenwormen vrijwel afwezig. De schimmelbiomassa is behoorlijk hoog en nematoden, mijten en springstaarten komen in grote aantallen voor.

4.11.3 Bemonsterde locaties en selectie van een duurzaam heideterrein

Tien voornamelijk droge heideterreinen zijn in 2004 bemonsterd; vijf in Drenthe, drie in Gelderland, één in Utrecht en één in Noord-Brabant. De meeste terreinen waren van het type struikheide-brem associatie (*Callunetum*), soms met een mengvorm (dopheide struikheide associatie; *Ericetum* en *Callunetum*) of met brem (*Genistion*).

Voor de bemonstering ten behoeve van de analyses met Bobi werd het standaardprotocol aangepast. Een volledige gebiedsbemonstering (analoog aan een agrarische bedrijf) was bij de heidevelden niet mogelijk. In zo'n natuurgebied wisselen bospercelen en open terrein elkaar af. Daarnaast zijn op een aantal locaties vennen of vochtige delen aangelegd. De bodemmonsters zijn alleen gestoken op plaatsen met heidevegetatie. Wanneer het terrein niet te doorkruisen of te overzien was, is zes keer een hectare bemonsterd rond de plots voor de enkelvoudige monsters (regenwormen, potwormen, micro-arthropoden, et cetera.). Deze plots zijn verspreid over het hele gebied gekozen.

Vier locaties zijn geselecteerd voor de referentie op basis van de oordelen van de onderzoekers. Drie geselecteerde heideterreinen lagen in Drenthe en één in Gelderland. Alle heideterreinen hadden een associatie met struikheide.

4.11.4 Maatregelen voor heidebeheer

Het beste heidebeheer is regelmatig plaggen. Maar deze manier is kostbaar en wordt daarom vaak achterwege gelaten. Plaggen is nadelig voor de bodemfauna, omdat de structuur van het terrein ernstig wordt aangetast, maar brengt vaak nieuwe kansen voor het kiemen van planten. Het dient dus kleinschalig te gebeuren. Door het gehanteerde plagbeleid, waarbij grote stukken heide in één keer machinaal worden afgeplagd komen reptielenpopulaties onder druk te staan. Deze dieren geven de voorkeur aan een structuurrijke omgeving waarin naast wat oudere heide ook open en mogelijke vochtige plekjes aanwezig zijn. Voordat tot plaggen wordt overgegaan moet in ieder geval gekeken worden op welke plaatsen deze reptielen het meest voorkomen en moeten deze plaatsen zo veel mogelijk met rust gelaten worden.

Nog rigouzeuzer is het bodembeheer als voormalige landbouwbodems weer heide moeten worden, zoals op het Banisveld (deelgebied van de Kampina, Noord-Brabant). De voedselrijke en sterk bemeste toplaag van de bodem, wordt dan vaak grotendeels of volledig tot op 40 cm diepte verwijderd, met een groot verlies van de bodemstructuur en het bodemleven tot gevolg. Natuurbeheerders moeten zich in die gevallen veel moeite getroosten om heide te laten ontwikkelen, omdat de bodem veel tijd nodig heeft om zich te ontwikkelen tot een voor heide geschikt systeem (Van der Wal 2007). Momenteel wordt de bodemkwaliteit onderzocht op de heide op het Banisveld in een chronosequentie van onlangs afgeplagde landbouwpercelen.

4.12 Gemengd bos op zand



Gemengd bos op zand – Sallandse heuvelrug (Ov)

4.12.1 Inleiding gemengd bos

Natuurlijke bossen zijn in Nederland niet meer te vinden. Het laatste ‘oerbos’, het legendarische Beekbergerwoud, werd tussen 1869 en 1871 gekapt. De situatie bevond zich midden 18^e eeuw op een dramatisch dieptepunt. Destijds was in Nederland nog slechts 50.000 hectare bos over. Toch neemt het bosareaal in Nederland al 250 jaar lang voortdurend toe. Vanaf de jaren 70 van de vorige eeuw worden de Nederlandse bossen vaak beheerd als bosecosysteem. De zware stormen in 1972 en 1973 hadden grote schade veroorzaakt in de eenvormige en kwetsbare ‘houtakkers’. Vaak wordt gestreefd naar een zo natuurlijk mogelijke soortensamenstelling en bosstructuur, met overwegend loofhout. Bedrijfseconomisch gezien is bosbouw in Nederland niet meer rendabel. De overheid springt met talrijke subsidiemaatregelen bij om bosbouw mogelijk te maken.

Anno 2002 beslaat bos in Nederland slechts 360.000 hectare en dat komt overeen met 11% van de totale landoppervlakte. Vooral de hoge bevolkingsdruk in Nederland heeft een grote rol bij de ontbossing gespeeld, waardoor veel ruimte nodig was voor akkerbouw en veeteelt (zo zijn de heidevelden in het zuiden en oosten van Nederland ontstaan), voor bewoning, voor wegen en voor industrie. Ook werd er veel bos gekapt ten behoeve van menselijk gebruik: koken en verwarming (brandhout), meubels en houtproducten (bijvoorbeeld papier), scheepsbouw en later mijnbouw. Anderzijds hebben soms natuurlijke processen gezorgd voor ontbossing. Zo raakten veel bossen door hoogveenvorming verstikt, waardoor veenmoerassen ontstonden.

Er worden vier verschillende categorieën bos onderscheiden: productiebossen, schermbossen (bossen die bedoeld zijn om een bescherming te bieden tegen geluid, wind, water of erosie), landgoedbossen en spontane bossen. Productiebossen vormen veruit de grootste groep, in 1985 omvatten ze 57% van het

totaal. Bossen van dit type werden hoofdzakelijk aangelegd op heidevelden en dan vooral in de 19^e en de eerste helft van de 20^e eeuw. De oudste productiebossen stammen echter al uit de 16^e eeuw en zijn hoofdzakelijk in Noord-Brabant te vinden. Meer dan de helft van alle productiebossen dateren dan ook van na 1900. Veelal gaat het om naaldbossen van uitheemse soorten als fijnspar, zilverspar en Douglas-spar. Van de vier inheemse boomsoorten - larix, venijnboom, jeneverbes en grove den - is alleen de grove den in grote aantallen aangeplant. Een probleem bij productiebossen vormt de eentonigheid van de bosstructuur door de aanplanting: alle bomen zijn namelijk van dezelfde soort en tegelijk aangeplant, dus even oud. Ook worden de bossen gekenmerkt door rechthoekige percelen met kaarsrechte lanen, gericht op een zo doelmatig mogelijke bosbouw. De aandacht is tegenwoordig echter verschoven naar recreatie, waardoor diversificatie van het boombestand (verschillende soorten en leeftijden door elkaar aanplanten) noodzakelijk is.

De oudste bossen waren grotendeels gemengd loofbos. De meeste loofbomen zijn inheems, in tegenstelling tot veel naaldsorten die pas later zijn ingevoerd. De meeste bossen die in de 19^e en begin 20^e eeuw werden aangeplant, zijn naaldbossen. Alleen op landgoederen vindt men veel gemengde bossen, omdat de eigenaren een zo groot mogelijke soortenrijkdom nastreefden. Productiebossen die in de polder werden aangelegd, zijn vaak snelgroeiende (uitheemse) populieren. Vanwege de eentonigheid, kwetsbaarheid en milieubezwaren van naaldbossen, plant men de laatste decennia in bestaande en nieuwe bossen vooral loofbomen aan, waardoor het areaal loofbossen sterk groeit.

De belangrijkste boomsoorten in 2002 zijn in volgorde van bosareaal grove den (36,9%), eik (17,4%), larix (7,3%), Douglas-spar (7,2%), populier en wilg (6,3%), fijn- en zilverspar (4,4%), berk (3,7%), beuk (3,0%), es (2,7%), Amerikaanse eik (2,3%), esdoorn (1,1%) en els (1,0%). Vergeleken met 1982 neemt het areaal van inheemse soorten zoals eik en berk duidelijk toe, maar en Douglas-spar neemt ook toe.

4.12.2 De bodem onder de bossen

De meeste bosbodems hebben een gelaagde opbouw, bestaande uit een organische en een minerale laag. De structuur van deze horizonten wordt bepaald door een combinatie van eigenschappen van de bodem (het moedermateriaal), de vegetatie en klimaatomstandigheden. De klassieke verschijningsvormen zijn een mor-, moder- of mullbodem. Op zandige, voedselarme en zure bodems met een opstand van naaldbomen ontstaat een mortype. Het dode organische materiaal (gevallen naalden) is slecht afbreekbaar en hoopt zich op in de vorm van een strooisellaag. Dit organische pakket heeft meestal een dikte tussen de 5 en 10 cm. De hoogte van de strooisellaag wordt mede bepaald door het evenwicht tussen de snelheid van aanvoer en afbraak. Binnen het strooiselpakket zijn verschillende stadia van decompositie te onderscheiden. Bovenin liggen de vers gevallen naalden (of bladeren). Deze worden opgeknipt in steeds kleinere delen door de activiteit van bodemdieren, micro-organismen en verwerking. Zo ontstaat een middenlaag met steeds kleinere fragmenten. Hierin zijn veel schimmels en bodemdieren te vinden. Uiteindelijk wordt de meeste organische stof afgebroken en omgezet. Wat rest is een dunne amorfe humusmassa, die op de overgang naar de minerale bodem ligt. De humus spoelt langzaam uit naar de minerale laag of wordt door de activiteit van bodemdieren daar doorheen gemengd. Bij een lage zuurgraad kunnen in de ondergrond podzolbodems ontstaan. Metalen als ijzer en aluminium lossen met de humuszuren op in het bovenste deel (grijze uitspoelingslaag) en slaan dieper in de bodem weer neer. Dit is terug te vinden als een donkere band die boven op een lichtgekleurde zandlaag ligt.

Op veel boslocaties is de bodem 'vergraven'. In het verleden is de bodem geploegd, of zijn stronken verwijderd. Soms zijn richels aangebracht om jonge bomen op aan te planten. Deze bewerkingen zijn

nog steeds duidelijk in het profiel terug te vinden. Bodemvormende processen spelen zich op een lange tijdschaal (eerder eeuwen dan decennia) af.

Onder loofbossen, vooral op minder zure en rijkere bodems, ontstaat het zogenaamde mull-type. Hierin vindt snelle afbraak en een goede menging plaats, mede door de aanwezigheid van regenwormen. In dit type bossen is de strooisellaag dun. De bladeren die in de herfst vallen, zijn in de eerste helft van het volgende jaar vrijwel geheel verdwenen.

De bodems van de bossen die in het kader van de monitoring met Bobi zijn geanalyseerd zijn tamelijk zuur; de gemiddelde pH-KCl is 3,2. Het gehalte aan organische stof is gemiddeld 5,7%. Totale fosfaatgehalten zijn laag met een gemiddelde van 3,1 mg P₂O₅ per 100 g grond. De concentraties van zware metalen zijn opvallend veel lager dan bij de landbouwkundig beheerde bodems. Het bodemecosysteem wijkt sterk af van dat bij landbouwkundig beheerde bodems: er komen weinig regenwormen en nematoden voor, schimmels blijken goed vertegenwoordigd te zijn. De diversiteit en het aantal mijten en springstaarten is het hoogste van alle categorieën.

4.12.3 Bemonsterde locaties en selectie van duurzame bosbodems

Twintig bossen zijn in het voorjaar van 2000 in het kader van de monitoring met Bobi bemonsterd en geanalyseerd. Zes terreinen liggen in Noord-Brabant, zes in Drenthe, drie in Utrecht, drie in Gelderland en de overige in Overijssel en Limburg. Elf terreinen bevatten vrijwel uitsluitend naaldbomen (grove den, Douglas-spar, larix en fijnspar), zeven terreinen een gemengde opstand van loof- en naaldbomen (met Amerikaanse eik, beuk, lijsterbes en jeneverbes), en twee zijn loofbossen (populier, els, eik en beuk).

De monsternamen in de bossen is aangepast aan de afwijkende opbouw van het bodemprofiel. In het LMB worden de strooisellaag en minerale bodem gescheiden en apart geanalyseerd. De locaties zijn redelijk homogene, aaneengesloten opstanden. De grootte varieert van één tot enkele hectares. Het locatiemengmonster wordt verzameld door op veertig plekken strooisel te verzamelen van een oppervlak van 10x10 cm. Na het verwijderen van het strooisel worden in het gat 4 bodemmonsters gestoken met de graszodeboor (diameter 2,3 cm). Het materiaal van de organische en de minerale laag worden apart gemengd en voor de verschillende analyses verdeeld. De overige Bobi-monsters worden (weer) op zes verschillende plekken binnen de locatie verzameld. Hierbij wordt geen onderscheid gemaakt tussen bodem en strooisel. De potwormen worden per laagje van 2,5 cm geëxtraheerd, hierbij worden de horizonten vanzelf gescheiden. De mijten en springstaarten komen uit monsters van 7,5 cm diep. Deze bestaan grotendeels uit strooiselmateriaal. Plaggen voor regenwormen worden inclusief strooisel verzameld.

De selectie van locaties met een gezonde bodem, door de verschillende onderzoekers, bleek lastig te zijn. Met andere woorden, de onderzoekers waren het onderling oneens over de locaties met een relatief goede bodemkwaliteit. Geconstateerd werd dat sommige bosbodems meer op een agrarische bodem leken dan andere en dat de zuidelijke locaties zich onderscheiden van de meer noordelijk gelegen bosterreinen. De best scorende locaties zijn in de referentie opgenomen. De categorie bos blijft echter zeer divers en zou eigenlijk in subcategorieën moeten worden ingedeeld. Dat kan pas als er meer meetgegevens (locaties) beschikbaar zijn. Uit de complete rangordening van locaties zijn vier terreinen uitgekozen voor de berekening van de referentie. De overige locaties dienden om het landelijke gemiddelde te berekenen.

4.13 Stadsparken



Stadspark op zand – Leeuwarden (Fr) 2006

4.13.1 Inleiding stadsparken

Groen in en om de stad is onmisbaar voor een goede kwaliteit van de woon- en leefomgeving. Buitenstedelijk groen, zoals bossen, natuur-, recreatie- en landbouwgebieden, is ook heel belangrijk maar kan het binnenstedelijke groen niet vervangen. Andersom geldt hetzelfde. Binnen- en buitenstedelijk groen kennen hun eigen gebruik en waardering en zijn niet uitwisselbaar, zo blijkt uit onderzoek. De kwantiteit en de kwaliteit van het groen in en om de stad zijn de afgelopen decennia aanzienlijk verminderd. Mede door het beleid voor de compacte stad is veel groen verdwenen. Sportvelden en volkstuincomplexen zijn naar de randen van de stad verplaatst. Door de hoge grondprijzen hebben nieuwe wijken een hoge woningdichtheid en te weinig groen. Vooral in de Randstad bestaat ook rondom de steden een enorm tekort aan groen. Het aanwezige groen voldoet vaak niet (meer) aan de wensen van de gebruikers en het is versnipperd door barrières zoals spoorwegen en (snel)wegen.

Het Rijk vindt dit een ongunstige ontwikkeling. De behoefte aan groen in en om de stad groeit. Verschillende stedelijke bevolkingsgroepen zijn voor hun recreatiemogelijkheden aangewezen op het groen in en om de stad. Ook blijkt dat meer mensen willen wonen en werken in een groene omgeving. Verschillende studies tonen bovendien aan dat groen belangrijk is voor de economie, het welzijn en de gezondheid van bewoners. Andere studies tonen aan dat groen in relatie tot andere functies één van de kritische factoren is voor de leefbaarheid van de stedelijke omgeving. En tot slot reguleert groen het stedelijke klimaat, vangt stof in en beperkt windhinder en geluidsoverlast.

Om een duurzame functievervulling te kunnen garanderen is ook aandacht voor het beheer van groot

belang. Het is cruciaal dat een gemeente de verschillende gebruikers en hun wensen kent. De waardering en het gebruik van groen verschilt namelijk sterk naar gelang cultuur en leeftijd. Daarbij dient rekening gehouden te worden met het bodemtype, inclusief de voedingstoestand en hydrologische omstandigheden. Niet elk type groen kan op elke bodem gepland worden. De referenties voor biologische bodemkwaliteit kunnen een hulpmiddel zijn om efficiënt met de gebruiksmogelijkheden om te gaan en de bodem duurzaam te benutten.

4.13.2 De bodem onder de parken

In het kader van de bodembioologische monitoring zijn in 2006 14 stadsparken en gebieden met stedelijk groen bemonsterd. Voor een eerste serie monsterlocaties is slechts in de grasvelden of grassige terreinen gemonsterd, dit met het oog op een maximale vergelijkbaarheid met de rest van de monitoring in het LMB (melkveehouderij op zand en halfnatuurlijk grasland op zand). Voor wat betreft de regenwormen hadden de parken een verrassing in petto: verschillende wormen waren niet eerder in het LMB aangetroffen, en konden niet op naam worden gebracht. Ook de diversiteit van de potwormen- en de nematodengemeenschap behoorde tot de hoogste van alle categorieën. De zuurgraad bedroeg gemiddeld 6,5 (pH-KCl), Het gehalte aan organische stof bedroeg gemiddeld 5,7%. Het lutumgehalte was 5,8%. Eén park is niet in beschouwing genomen vanwege een hoog lutumgehalte (19%). De gehalten aan zware metalen was tamelijk hoog, vergeleken bij veel landbouwbodems en natuur. De concentratie lood en zink bedroegen gemiddeld respectievelijk 70 en 135 mg per kg droge bodem.

4.13.3 Selectie van referentie stadspark

Veertien parken zijn bemonsterd met een grote spreiding over de grote steden in Nederland. Relatief veel parken in Rotterdam werden bemonsterd in verband met aansluiting met een lopend project in Rotterdam. De parken zijn in willekeurige volgorde: Volkspark (Enschede), Vossepark/Westerpark (Leeuwarden), Zocherplantsoen (Utrecht), Zuiderpark (Den Haag), Noorderplantsoen (Groningen), Stadspark (Groningen), Vondelpark (Amsterdam), Rijsterborgpark (Deventer), Gennepark (Eindhoven), Park de Hey (Rotterdam), Westpunt (R'dam-Hoogvliet), Ruigeplaatbos (Rotterdam-Hoogvliet), Polder de Esch (R'dam-Kralingen-Crooswijk), Noord-Oost-Abtspolder (Rotterdam-Overschie).

Op basis van de oordelen van diverse onderzoekers zijn vier parken geselecteerd voor de referentie.

5 Bodembioologische monitoring en analyse

5.1 Wijze van monstername

De monstername voor biologische eigenschappen van de grond zijn op efficiënte wijze verweven met die van het LMB. Er wordt gebruik gemaakt van dezelfde infrastructuur en een deel van de analyses (microbiologie, nematoden, processen) kan worden uitgevoerd aan dezelfde bedrijfsmengmonsters. Voor grotere organismen (potwormen, regenwormen mijten en springstaarten) worden aparte bodemkernen verzameld op zes plots binnen de locaties. Het LMB werkt op ‘bedrijfsniveau’ omdat voor agrarische bedrijven als geheel gegevens over stofstromen (aanvoer - afvoer) verzameld worden door het Landbouw Economisch Instituut (LEI). Met die gegevens is het mogelijk een balans op te maken en de belasting van de bodem en het grondwater te berekenen. Het is (was) niet gebruikelijk om bodembioologische analyses te doen aan monsters afkomstig van een dergelijk groot oppervlak. De heterogeniteit van de bodem en variatie in bewerking werden als struikelblok gezien. Het doel van het LMB, Bobi en RBB is echter een landelijk beeld van de bodemkwaliteit te maken, gedifferentieerd naar categorieën voor zover dit nodig en mogelijk is. Het komt neer op een ecologische bodemtypologie, maar dan geleid door de belangrijkste vormen van bodemgebruik en het identificeren van maatregelen die duurzaamheid ten goede komen. Hiervoor moet een steekproef kunnen worden genomen uit een representatief deel van een bodemgebruikscategorie. De LMB-benadering, om dit aan de hand van agrarische bedrijven te doen, is een hele praktische.

Daarnaast is er een aantal vormen van bodemgebruik waar de ‘bedrijvenbenadering’ niet op gaat. Dit zijn bijvoorbeeld de bossen, heidevelden, natuurlijke graslanden en stadsparken. Ook deze locaties hebben meestal een duidelijke begrenzing, maar zijn een stuk minder homogeen qua begroeiing of gebruik. In het LMB is er daarom voor gekozen om geen boswachterijen in het meetnet op te nemen, maar dit te beperken tot een groot perceel met een uniforme aanplant. In de overige natuurgebieden is de LMB-methodiek zo goed mogelijk toegepast.



Figuur 10. Graszodeboor

Met de graszodeboor worden 320 kerntjes per bedrijf gestoken en gemengd. De mengmonsters worden gebruikt voor abiotische analyses en voor de microbiologische en nematodenanalyses.

Bedrijfs- of locatiemengmonsters worden verzameld met een zogenaamde graszodeboor. Dit is een steekbuisje van 10 cm lang en een diameter van 2,3 cm. Deze is bevestigd onder een metalen verzamelbeker waar circa 5 à 8 kernen in passen. Hiermee kan al lopend door het terrein efficiënt een aantal bodemmonstertjes worden gestoken zonder de boor te hoeven legen. Er worden 320 kerntjes gestoken, evenredig verdeeld over de verschillende percelen. Dit levert een mengmonster van ongeveer 15 kg op. De kernen worden met de hand verkruid en voorzichtig gemengd totdat er op het oog een homogene massa is ontstaan. Vervolgens worden hier submonsters uit genomen voor chemische, microbiologische en nematodenanalyses.

De overige monsters worden verzameld op zes plots verspreid over de locatie. Deze zijn voor analyses die niet aan een mengmonster kunnen worden gedaan. Een plot heeft de omvang van een stuk grond binnen een cirkel van 10 meter. De ligging wordt met een hand-GPS ingemeten. Bodemmonsters voor potwormen en mijten + springstaarten worden gestoken met een deelbare boor van 5,8 cm in diameter. In de boor kunnen PVC-ringen (2,5 cm hoog) worden geplaatst. Deze houden het monster tijdens transport bijeen, en laten het gemakkelijk in laagjes opdelen. Regenwormen worden verzameld door een blok grond (plag) van 20x20x20 cm te steken. Deze wordt in een plastic zak meegenomen, en in het laboratorium met de hand uitgeplozen op de aanwezigheid van wormen. Bij deze wijze van monsternamen worden dieplevende soorten (de 'pendelaars') niet gevangen. Tot slot wordt op de plot een monster gestoken om de bulkdichtheid van de grond te bepalen en met de 'penetrologger' de indringweerstand gemeten.

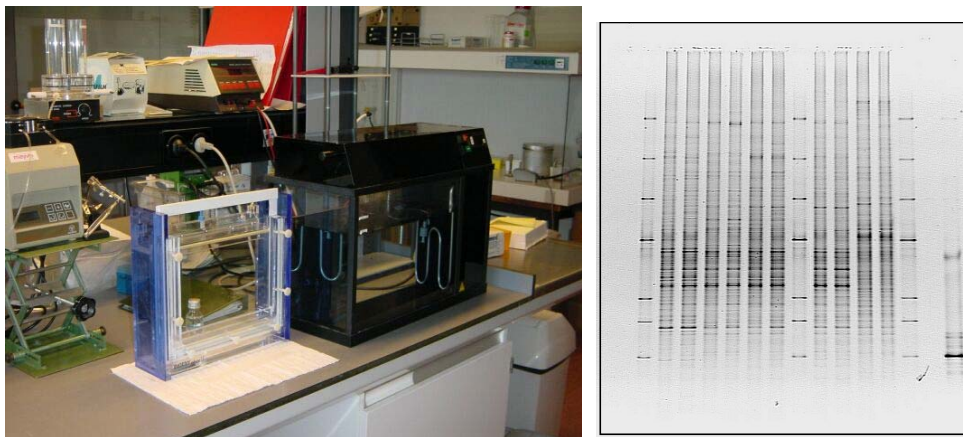
5.2 Microbiologische analyses

In het meetnet (LMB en Bobi) zijn de bacteriedichtheden en hun afmetingen bepaald door middel van directe microscopische tellingen met een confocale laser-scan microscoop en automatische beeldverwerking (Bloem 1995, Bloem et al. 1995a, 1995b). Hiervoor worden grondpreparaten gemaakt van de mengmonsters. De micro-organismen worden gekleurd met een fluorescerende verbinding. Uit de cijfers over aantallen en de afmetingen van bacteriecellen worden het biovolume en de biomassa berekend (zie Figuur 11).



Figuur 11. Opstelling van confocale laser-scan microscoop voor automatische beeldverwerking

De groeisnelheid van bacteriën wordt gemeten aan de hand van de inbouw van radioactief gelabelde stoffen (3H-thymidine en 14C-leucine) die respectievelijk voor de aanmaak van DNA en eiwitten worden gebruikt (Michel en Bloem 1993). De genetische diversiteit van bacteriën wordt bepaald door DNA uit de grond te extraheren en via een aantal stappen te zuiveren, te vermeeiden en in een bandenpatroon zichtbaar te maken (Figuur 12; Muyzer et al. 1993).



Figuur 12. Opstelling voor gelelectrophorese (links) en gel met DNA-bandenpatroon (rechts)

Het aantal banden is een afspiegeling van het aantal genotypen ('soorten') en de intensiteit van een band is een maat voor de relatieve abundantie van de betreffende groep.

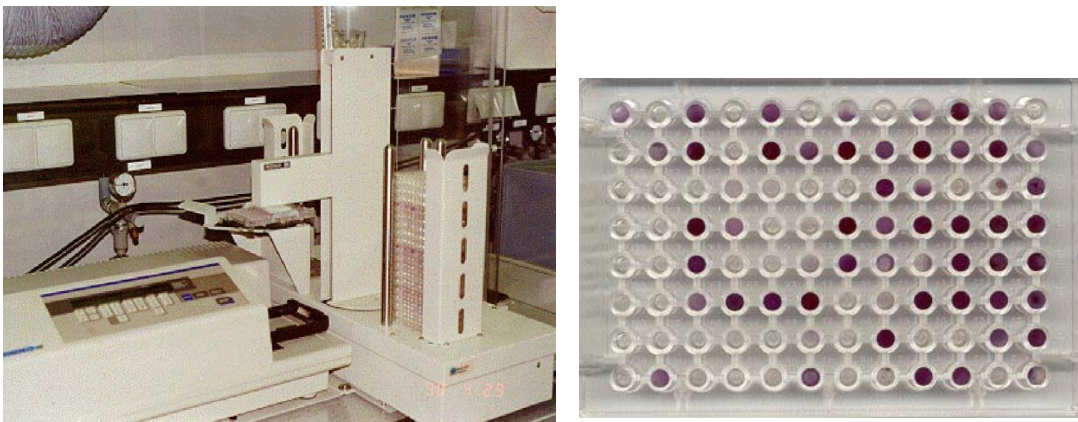
De potentiële koolstof- en stikstofmineralisatie worden bepaald door monsters te incuberen in luchtdichte potten (Bloem et al. 1994). Tussen week 1 en week 6 worden de concentraties zuurstof en kooldioxide regelmatig gemeten met een gaschromatograaf (zie Figuur 13). De ademhaling wordt berekend uit de verschillen in zuurstof concentratie tussen week 1 en week 6. De toename in minerale stikstof (NH_4 en NO_3) in de bodem wordt gebruikt om mineralisatiesnelheden te berekenen.



Figuur 13. Foto van opstelling waarmee de respiratie (zuurstofverbruik) wordt gemeten

De diversiteit in bacteriële omzettingen (afbraakroutes) wordt gemeten in doorzichtige multi-well platen van de firma Biolog. De bacteriën worden losgemaakt van de grond en in een verdunningsreeks in de platen gebracht. In de plaat vindt kleurvorming plaats als gevolg van de substraat omzettingen, in elk putje een unieke omzetting. De kleurverandering wordt twee keer per dag gemeten gedurende 7 dagen. De metingen zijn voor een groot deel geautomatiseerd (Figuur 14). Tegelijk met de incubatie in de Biolog®-platen worden agarplaten geënt. Na acht dagen wordt het aantal kolonies hierop geteld. Deze tellingen zijn een interne standaard voor de berekeningen.

Uit de bewerkingen komen een maat voor de functionele diversiteit (de helling van de AWCD-curve), een maat voor de functionele 'capaciteit' (de hoeveelheid grond die nodig is om 50% van alle omzettingsreacties te katalyseren) en een fingerprint.



Figuur 14. Robotarm voor invoer van Biolog-platen in de spectrofotometer (links) en kleurreacties in de platen (rechts)

5.3 Nematoden

De nematodendichtheid en samenstelling wordt onderzocht bij het Bedrijfslaboratorium voor grond en gewasonderzoek (Blgg). De nematoden worden via een speciale spoel- en zeefmethode uit de grond gehaald (Figuur 15). Hiervoor wordt 100 gram grond gebruikt. Tot slot worden de levende nematoden geconcentreerd en gevangen met behulp van een wattenfilter. De nematoden kruipen hier gedurende twee dagen actief doorheen en worden verzameld in een kleine hoeveelheid water. Het totale aantal nematoden in 100 g grond wordt geschat door 2 x 10% van de geëxtraheerde dieren te tellen. Na telling wordt het monster gefixeerd. Vervolgens worden preparaten gemaakt om circa 150 nematoden onder een lichtmicroscop te identificeren (Figuur 16).



Figuur 15. Stappen in de extractie van nematoden uit grond

Links: Oostenbrinktrechter met een stapel 40 µm opvangzeven;

Midden: zeefjes met wattenfilter;

Rechts: extractieschaaltjes in stelling.



Figuur 16. Tellen en determineren van nematoden in het laboratorium van het Blgg

5.4 Potwormen

Voor verwerking werden de monsters opgedeeld in schijfjes van 2,5 cm die afzonderlijk werden geëxtraheerd volgens een gemodificeerde natte extractiemethode (Figuur 17; Didden 1991). De potwormen werden geteld, opgemeten en gedetermineerd met behulp van een lichtmicroscop. Adulte exemplaren werden tot op soort gedetermineerd, juveniele tot op geslacht. Op basis van de lengte werd het versgewicht berekend met behulp van bestaande regressievergelijkingen. Op grond van de bekende gegevens over de biologie van potwormen zijn de waargenomen soorten onderverdeeld in drie functionele groepen



Figuur 17. Extractieapparaat voor potwormen

Bodemmonsters (schijfjes) worden op een filter in de steunzeefjes gezet. Het zeefje komt op een trechter met water te staan. De monsters worden aan de bovenzijde verwarmd.

5.5 Regenwormen

De regenwormen worden door 'handsorting' uit de grond gehaald, geteld, gewogen en opgeslagen in 70% alcohol. De geconserveerde wormen worden verder op naam gebracht met behulp van een determinatietabel. Volwassen exemplaren worden tot op soort gedetermineerd, juveniele tot op geslacht. De regenwormen zijn ingedeeld in twee van de drie functionele groepen. De resultaten van de zes monsters van elke locatie werden (op papier) samengevoegd tot één mengmonster .

5.6 Micro-arthropoden

De groep micro-arthropoden bestaat voornamelijk uit mijten en springstaarten. Mijten hebben acht poten en behoren tot de spinachtigen. Springstaarten zijn primitieve bodembewonende insecten. Mijten en springstaarten worden uit het bodemmateriaal gehaald door het monster in een Tullgrenapparaat te plaatsen (Figuur 18). De grond wordt vervolgens aan de bovenkant verwarmd waardoor de dieren naar onderen kruipen. Ze vallen vervolgens in een trechter en komen terecht in een flesje met fixatief. De gehele extractietijd duurt één week. De verzamelde micro-arthropoden kunnen nu voor langere tijd worden bewaard.

Van vier monsters (kernen) werden de voorkomende soorten geteld en gedetermineerd door ze uit het monster te vissen en in preparaat te brengen. Het vijfde monster werd als reserve bewaard. Per monster worden 70 individuen geteld en gedetermineerd. Vervolgens zijn de soorten gegroepeerd naar elf voedselgildes en twaalf overlevingsstrategieën.



Figuur 18. Tullgrenapparaat voor de extractie van micro-arthropoden

Grondmonsters bevinden zich in de zeefjes op trechters. Monsters worden met gesloten kap van boven verwarmd. De uitgekropen dieren worden onder in de trechter in alcohol opgevangen.

Literatuur

- Bal D, Beije HM, Fellingner M, Haveman R, Van Opstal AJFM, Zadelhoff FJ (2001) Handboek natuurdoeltypen, 2e geheel herziene druk. Rapport 2001/020, Expertise Centrum LNV, ISBN 90-75789-09-2, Wageningen.
- Bloem J (1995) Fluorescent staining of microbes for total direct counts. In "Molecular Microbial Ecology Manual" (ADL Akkermans, JD van Elsas, FJ de Bruijn, editors), pp 4.1.8:1-12. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Bloem J, Lebbink G, Zwart KB, Bouwman LA, Burgers SLGE, De Vos JA, De Rooter PC (1994) Dynamics of microorganisms, microbivores and nitrogen mineralisation in winter wheat fields under conventional and integrated management. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 51: 129-143.
- Bloem J, Veninga M, Shepherd J (1995a) Fully automatic determination of soil bacterium numbers, cell volumes and frequencies of dividing cells by confocal laser scanning microscopy and image analysis. *Applied and Environmental Microbiology* 61: 926-936.
- Bloem J, Bolhuis PR, Veninga MR, Wieringa J (1995b) Microscopic methods for counting bacteria and fungi in soil. In "Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry" (K Alef and P Nannipieri, editors), pp. 162-173. Academic Press, London.
- Bloem J, Schouten T, Didden W, Jagers op Akkerhuis G, Keidel H, Rutgers M, Breure T (2004) Measuring soil biodiversity: experiences, impediments and research needs. In: Proceedings of the OECD expert meeting on soil erosion and soil biodiversity indicators, R Francaviglia (ed), 25-28 March 2003, Rome, Italy. OECD, Paris, p. 109-129. (http://webdomino1.oecd.org/comnet/agr/soil_ero_bio.nsf).
- Bloem J, Schouten AJ, Sørensen SJ, Rutgers M, Van der Werf A, Breure AM (2006) Monitoring and evaluating soil quality. In: *Microbiological Methods for Assessing Soil Quality* (J Bloem, A Benedetti and DW Hopkins, editors). CABI, Wallingford, Oxfordshire, UK. pp. 23-49.
- Bodem+ (2006) Duurzaam bodemgebruik in de landbouw, een beoordeling van agrarisch bodemgebruik in Nederland. Den Haag.
- Bokhorst J (2006) Bodem onder het landschap, ontdek het fundament van natuur en boerenland. ISBN 978-75280-94-4. Roodbont, Zutphen.
- Bongers T (1990) The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia* 83: 14-19.
- Breure AM, Bloem J, Didden W, Rutgers M, Siepel H, Schouten AJ (2002) The biological indicator for soil quality: results of the first pilot project. In: *Cost Action 831: Monitoring, Conservation and Remediation, Report of activities 1999* (EUR 20098).
- Breure AM, Mulder C, Rutgers M, Schouten T, De Zwart D, Bloem J (2004) A biological indicator for soil quality. In: Proceedings of the OECD expert meeting on soil erosion and soil biodiversity indicators, R Francaviglia (ed), 25-28 March 2003, Rome, Italy. OECD, Paris, p. 485-494. (http://webdomino1.oecd.org/comnet/agr/soil_ero_bio.nsf).
- De Boer H, Van Eekeren N, Hanegraaf M (2007) Ontwikkeling van opbrengst en bodemkwaliteit van grasland op een zandgrond bij bemesting met organische mest of kunstmest. Rapport 69, Louis Bolk Instituut, Driebergen.
- De Boer HC, Van Eekeren N (2007) Bodemverdichting door berijden bij zodebemesten: effecten op opbrengst en voederwaarde van gras-klover, bodemstructuur en biologische bodemkwaliteit. Rapport 47, Wageningen UR.

- De Knecht B, Van Veen MP, Esbroek MLP (2003) Waarde van het Landelijk Meetnet Flora - Milieu- en Natuurkwaliteit voor de bepaling van de Natuurwaarde van de Flora. Rapport 718101002, RIVM, Bilthoven.
- De Vries FT, Bloem J, Van Eekeren N, Brusaard L, Hoffland E (2007) Fungal biomass in pastures increases with age and reduced N input. *Soil Biology and Biochemistry* 39: 1620-1630.
- Diden WAM (1991) Population ecology and functioning of Enchytraeidae in some arable farming systems. PhD Thesis, Agricultural University Wageningen, 116 pp.
- Diden W (2003) Development and potential of a stereotypic site as a reference site in ecological monitoring. *Newsletter on Enchytraeidae* 8: 33-40.
- Iepema G, Baars T (2005) Afgewenteld grondgebruik op melkveebedrijven: externe hectares. Rapport 10, Bioveem, Louis Bolk Instituut, Driebergen.
- Knoben RAE, Peeters ETHM (1997) Eco-atlas van waterorganismen. Deel I: methodiek en gebruik, watertypenbeschrijving en register. Rapport 97-37. Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA), Utrecht.
- Koopmans CJ, Smeding FW, Rutgers M, Bloem J, Van Eekeren N (2006) Biodiversiteit en bodembeheer in de landbouw. Rapport LB14, Louis Bolk Instituut, Driebergen.
- Koopmans C, Bokhorst J, Ter Berg C, Van Eekeren N (2007) Bodesignalen, praktijkgids voor een vruchtbare bodem. ISBN 978-90-75280-81-4, Roodbont, Zutphen.
- Michel PH, Bloem J (1993) Conversion factors for estimation of cell production rates of soil bacteria from thymidine and leucine incorporation. *Soil Biology and Biochemistry* 25: 943-950.
- Mulder C, Breure AM (2006) Impact of heavy metal pollution on plants and leaf-miners. *Environmental Chemistry Letters* 4: 83-86.
- Mulder C, De Zwart D, Van Wijnen HJ, Schouten AJ, Breure AM (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 C, Van Wijnen HJ, Den Hollander HA, Schouten AJ, Rutgers M, Breure AM (2004) Referenties voor bodemecosystemen: evaluatie van functies en ecologische diensten. Rapport 607604006, RIVM, Bilthoven.
- Mulder C, Cohen JE, Setälä H, Bloem J, Breure AM (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 C, Dijkstra JB, 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 C, Schouten AJ, Hund-Rinke K, Breure AM (2005c) The use of nematodes in ecological soil classification and assessment concepts. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 62: 278-289.
- Mulder C, Van Wezel AP, Van Wijnen HJ (2005d) Embedding soil quality in the planning and management of land use. *International Journal of Biodiversity Science and Management* 1: 1-8.
- Mulder C, Den Hollander H, Schouten T, Rutgers M (2006) Allometry, biocomplexity, and web topology of hundred agro-environments in The Netherlands. *Ecological Complexity* 3: 219-230.
- Muyzer G, De Waal EC, Uitterlinden AG (1993) Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction-amplified genes coding for 16S rRNA. *Applied and Environmental Microbiology* 59: 695-700.
- Oenema O (2003) Bodem en duurzame landbouw. Technische Commissie Bodembescherming, Stichting Natuurmedia, Den Haag.
- Pols L, Daalhuizen F, Segeren A, Van der Veeken C (2005) Cultuurland, agrarisch landschap in verandering. Rapport Ruimtelijk Planbureau, Den Haag.

- 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, Mulder C, Schouten AJ, Bogte JJ, Breure AM, Bloem J, Jagers op Akkerhuis GAJM, Faber JH, Van Eekeren N, Smeding FW, Keidel H, De Goede RGM, Brussaard L (2005) Typering van bodemecosystemen - Duurzaam bodemgebruik met referenties voor biologische bodemkwaliteit. Rapport 607604007, RIVM, Bilthoven.
- Rutgers M, Kuiten AMP, Brussaard L (2007) Prestaties van de bodem in de Hoeksche Waard: nulmeting en toepassing van een referentie voor biologische bodemkwaliteit (RBB). Rapport 607020001, RIVM, Bilthoven.
- Rutgers M (2007) Field effects of pollutants at the community level - experimental challenges and significance of community shifts for ecosystem functioning. *Science of the Total Environment* (in press).
- Schouten AJ, Brussaard L, De Ruiter PC, Siepel H, Van Straalen NM (1997) Een indicatorsysteem voor life support functies van de bodem in relatie tot biodiversiteit. Rapport 712910005, RIVM, Bilthoven.
- Schouten AJ, Bloem J, Breure AM, Didden WAM, Van Esbroek M, De Ruiter PC, Rutgers M, Siepel H, Velvis H (2000) Pilotproject bodembioologische indicator voor life support functies van de bodem. Rapport 607604001, RIVM, Bilthoven.
- Schouten AJ, Rutgers M, Breure AM (2001) Bobi op weg – tussentijdse evaluatie van het project bodembioologische indicator. Rapport 607604002, RIVM, Bilthoven.
- Schouten AJ, 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 AM, Mulder C, Rutgers M (2004) Nematode diversity in Dutch soils, from Rio to a Biological Indicator for Soil Quality. *Nematology Monographs and Perspectives* 2: 469-482.
- Smeding FW, Van Eekeren N, Schouten AJ (2005) Bodemvoedselwebben op melkveebedrijven – methode voor een kwalitatieve analyse van de voedselwebstructuur. Bioveem intern rapport 14, Lelystad.
- Sonneveld MPW, Bouma J (2005) Nutriënten management op het melkveebedrijf van de familie Spruit, studie naar bedrijfsvoering en milieukwaliteit, syntheserapport. Rapport 2005-049, Wageningen Universiteit.
- Tansley AG (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 BJE, Hoesper SH (1989) Naar toetsbare ecologische doelstellingen voor het waterbeheer: de AMOEBA-benadering. *H₂O* 22: 612-618.
- Van Dam AM, De Boer HC, De Beuze M, Van der Klooster A, Kater LJM, Van Geel W, Van der Steeg P (2006) Duurzaam bodemgebruik in de landbouw, advies uit de praktijk. Rapport 340101, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Lelystad.
- Van de Leemkule MA (2001) Characterizing land use related soil ecosystem health – discussion paper. Report R15, Technische Commissie Bodembescherming, Den Haag.
- Van Delft B (2004) Veldgids humusvormen; beschrijving en classificatie van humusprofielen voor ecologische toepassing. Alterra, Wageningen.
- 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 Wal A (2007) Soils in transition: dynamics and functioning of fungi. Ph. D. Thesis, ISBN 978-90-6464-168-8, Leiden University.

- 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 LV52, Louis Bolk Instituut, Driebergen.
- Van Eekeren N, De Visser M, André G, Lantinga E, Bloem J, Smeding F (2006) Effect van mestkwaliteit op gewasgroei en bodemleven, een verkennende potproef. Rapport 16, Bioveem, Louis Bolk Instituut, Driebergen.
- Van Eekeren N, Smeding F, Murray P (2007) Soil biota in grassland, its ecosystem services and the impact of management. In: A De Vliegheer en L Carlier (editors) Permanent and Temporary Grassland Plant, Environment and Economy. Grassland Science in Europe volume 12: 247-258.
- Van Schooten HA, Van Eekeren N, Hanegraaf MC, Van der Burgt GJ, De Visser M. (2006) Effect meerjarige toepassing groenbemester en organische mest op bodemkwaliteit bij continueelt maïs. Rapport 01. Animal Sciences Group, Wageningen UR.
- Vera FWM (2000) Grazing Ecology and Forest history. CAB International, Wallingford.
- VROM (2003) Beleidsbrief Bodem. Kenmerk BWL/2003 096250, Ministerie van VROM, Den Haag.

Bijlage 1. Begrippen

- 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 amoebebenadering is aanvankelijk ontwikkeld voor aquatische ecosystemen. De methode is gebaseerd op een afbeelding in aangepast taartdiagram 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 in de afzonderlijke afsneden.
- 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 (ecosysteemdienst):** zie habitatfunctie.
- Bodembioologische indicator (Bobi):** set bodembioologische 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 samenwerkingsverband met verschillende kennisinstellingen (Schouten et al. 1997, Schouten et al. 2001, Rutgers et al. 2002).
- Bobi:** dagelijkse aanduiding van de Bodembioologische indicator.
- Bodemecosysteem:** een 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 ecosysteemdiensten aan de maatschappij. De aanduiding 'bodemecosysteem' is een compromis, omdat 'ecosysteem' in de praktijk onvoldoende geassocieerd wordt met de bodem en 'bodemsysteem' onvoldoende geassocieerd wordt met levende aspecten.
- Bodemecosysteemypering:** een kwalitatieve en kwantitatieve beschrijving van een bodemsysteem bij een bepaald bodemgebruik en bodemtype. Een bodemecosysteemypering bevat gegevens over parameters die een relatie hebben met de bodemkwaliteit of 'gezondheid' van de bodem, aangevuld met andere relevante karakteristieken. In de typering zijn de gegevens in verband gebracht met het gemiddelde niveau voor Nederland en de 5% en 95% percentielen, en het veronderstelde duurzame niveau (de referentie).
- Bodemkwaliteit:** bodemkwaliteit is een richtinggevend concept waarmee de kwaliteit van de bodem en het bodemecosysteem wordt benoemd (VROM 2003). Bodemkwaliteit wordt bepaald door de biologische, chemische en fysische factoren van het bodemsysteem, evenals door factoren in het bodembeheer die deze factoren beïnvloeden. Het begrip bodemkwaliteit kan operationeel gemaakt worden met behulp van de zogenaamde ecosysteemdiensten. Deze bieden een platform om diverse belangen van bodemgebruikers (lokaal, regionaal, landelijk) te wegen.
- Bodemvruchtbaarheid (ecosysteemdienst):** een geïntegreerde ecosysteemdienst 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 (ecosysteemdienst): een geïntegreerde ecosysteemdienst 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 ecosysteemdienst. Er is enige overlap met de ecosysteemdienst 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' kan worden 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.

Ecosysteemdienst: een maatschappelijke dienst het bodemecosysteem, zoals door gebruiker, (de)centrale overheden, en maatschappij worden herkend en erkend. Op basis van een TCB-advies (TCB 2003) werden vier basisdiensten onderscheiden (zie ook Bijlage 2), namelijk bodemvruchtbaarheid, weerstand tegen stress en adaptatie, de bodem als buffer en reactor, en biodiversiteit. Deze vier basisdiensten kunnen vervolgens verder onderscheiden worden tot in totaal tien ecosysteemdiensten.

Gezond bodemecosysteem: zie ook bodemkwaliteit. De toestand van de bodem die gekoppeld is aan langdurig duurzaam bodemgebruik. 'Gezondheid van bodemecosystemen' is afgeleid concept 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).

Habitatfunctie: een buitencategorie van de ecosysteemdiensten van de bodem. Biodiversiteit in deze zin is niet gekoppeld aan een duidelijk herkenbare gebruiksnuut. Door biodiversiteit als ecosysteemdienst 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.

Indicatieve waarde: een schatting van de (relatieve) maat voor de bijdrage van een parameter aan de kwantificering van een ecosysteemdienst, 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 bodemkwaliteit.

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 ecosysteemdiensten 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 bodem-ecosysteem. 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.

Praktijkamoebe: een ingeperkte vorm van de bodemecosysteemypering en de (duurzame) referentie, gebaseerd op de keuze voor de ecosysteemdiensten 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 bodemecosysteemypering 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 ecosysteemdiensten (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 (ecosysteemdienst): een geïntegreerde ecosysteemdienst 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 bodemecosysteemypering.

Bijlage 2. Ecosysteemdiensten

Enquêteformulier voor bodemgebruikers om de belangen van ecosysteemdiensten voor het betreffende bodemgebruik aan te geven (in dit geval landbouw, natuur en overig groen) en een beschrijving van de ecosysteemdiensten (volgende bladzijde).

<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		natuur	landbouw	overig groen
ecologische dienst:				
1. productie (o.a. 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. Milieu (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>)				

Ecosysteemdiensten. 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 'ecosysteemdiensten', die door de maatschappij benut worden. Het gaat om de volgende ecosysteemdiensten (overgenomen van de TCB (2003) en gedeeltelijk aangepast):

1. **Productiefunctie:** Dit geïntegreerde aspect staat bij landbouwkundig gebruik voor de klassieke term 'bodemvruchtbaarheid'. De mensheid is afhankelijk van de productie van voedsel in de landbouw. De bodem staat aan de basis 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:
 - a. leveren en vasthouden van voedingsstoffen en de timing daarvan gedurende het seizoen voor plantengroei en teeltgewassen.
 - b. een goede bodemstructuur voor beworteling van planten door aanwezigheid van stabiele aggregaten, mogelijkheden voor ontsluiting van het bodemprofiel en een optimale bodemdichtheid.
 - c. het natuurlijke vermogen van de bodem om ziekten en plagen te onderdrukken.
2. **Weerstand tegen stress en vermogen tot veranderen:** De bodem wordt vaak eenzijdig gebruikt. Voor duurzaamheid worden eisen gesteld aan het gebruik die de continuïteit en de flexibiliteit van de bodemfuncties garanderen.
 - a. continuïteit. Het vermogen om weerstand te bieden tegen bedreigingen, en het vermogen om te herstellen binnen een redelijke termijn na een stress door natuurlijke of menselijke oorzaken.
 - b. flexibiliteit. Het vermogen om ook op de lange termijn alle potentiële ecologische diensten te vervullen, en het vermogen om aan te passen aan een ander bodemgebruik.
3. **Buffer- en reactorfunctie:** Een belangrijk aspect van het bodemecosysteem is dat ze een belangrijke onderdeel is van onze leefomgeving, waarin 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 de stofkringlopen: Deelaspecten van de buffer- en reactorfunctie zijn:
 - a. fragmentatie van plantenresten, mineralisatie van organische stof en het natuurlijk onderhoud van een relatief stabiele fractie organische stof in de bodem.
 - b. 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' blijft.
 - c. 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).
 - d. 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.
- **Habitatfunctie:** bescherming van de structurele, genetische en functionele biodiversiteit is geen 'ecosysteemdienst' 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 ecosysteemdiensten 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.