

BODEMBREED INTERREG

Indicatoren voor functionele agrobiodiversiteit (FAB) in de bodem

Onderdeel: Werkgroep 3 FAB
Document: Rapport / Literatuurstudie
Tijdstip: December 2011
Versie: 1
Status: Eindversie
Opgesteld door: Merijn Bos, Marleen Zanen

Deze publicatie werd met de meeste zorg en nauwkeurigheid opgesteld. Ondanks de geleverde inspanningen kan dit echter niet garanderen dat de ter beschikking gestelde informatie steeds volledig, juist, nauwkeurig of bijgewerkt is.

De gebruiker van deze publicatie ziet af van elke klacht tegen het Louis Bolk Instituut, zijn medewerkers of de partners van het Interregproject BodemBreed, van welke aard ook, met betrekking tot het gebruik van de via deze publicatie beschikbaar gestelde informatie.

In geen geval zullen het Louis Bolk Instituut, zijn medewerkers of de partners van het Interregproject BodemBreed aansprakelijk gesteld kunnen worden voor eventuele nadelige gevolgen die voortvloeien uit het gebruik van de via deze publicatie beschikbaar gestelde informatie.

Auteursrechten: Deze publicatie werd gerealiseerd in het kader van het Interregproject Bodembreed. Deze is exclusief en volledig eigendom van alle partners van BodemBreed. Alle partners van het project BodemBreed hebben het recht om deze publicatie zonder meerprijs te gebruiken voor hun eigen publicaties, mits bronvermelding. Dit recht is onbeperkt in de tijd.



Provincie Vlaams-Brabant, Provincie Belgisch-Limburg, Provincie Nederlands-Limburg, Vlaamse Overheid (Albon), Waterschap Roer en Overmaas, Boerenbond, Iltb, Arvalis, PIBO-Campus, PPO, Hooibeekhoeve.

Mede gefinancierd door:



Inhoud

1	Inleiding	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Doelstelling	5
1.3	Werkwijze	5
2	Ontwikkeling van een indicatorset	7
2.1	Voorwaarden voor een indicator	7
2.2	Bodemfuncties als vertrekpunt	7
2.3	Referenties voor biologische bodemkwaliteit (RBB)	8
3	Consulteren van stakeholders en prioritering van bodemfuncties	11
4	Selectie van indicatoren en variabelen	13
4.1	(Semi-)kwantitatieve metingen m.b.v. profielkuil of kluit	15
4.2	Kwantitatieve metingen in bodemlaboratoria	18
	Referenties	27
	Bijlage 1: 50 bodemparameters gekoppeld aan de 10 bodemfuncties	29
	Bijlage 2: Enquête voor prioritering bodemfuncties	31

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het voorliggende document is onderdeel van een reeks¹ van drie rapportages in het kader van activiteit 4, 'Duurzaam bodembeheer en Functionele Agro-biodiversiteit', uitgevoerd door het Louis Bolk Instituut in opdracht van het Interregproject Bodembreed (2010-2011). Dit project richt zich op het verduurzamen van het landbouwkundig bodemgebruik door het versterken van kennis en inzicht van de bodem als samenhangend geheel. Voorliggende publicatie rapporteert over de resultaten van onderdeel 1b binnen activiteit 4: ontwikkeling van een indicator voor de meting van functionele agro-biodiversiteit in de bodem en de bepaling van randvoorwaarden voor het praktische gebruik van deze indicator bij monitoring.

1.2 Doelstelling

Het doel van dit onderzoeksdeel is het ontwikkelen van een indicator of indicatorenset voor het meten van functionele agro-biodiversiteit in het veld. De indicator(set) moet toelaten te monitoren in hoeverre de functionele agro-biodiversiteit op akkerbouwpercelen is ontwikkeld.

1.3 Werkwijze

Voor het ontwikkelen van een indicator(set) is gebruik gemaakt van de zogenaamde RBB-systematiek (Referenties Biologische Indicatoren, zie paragraaf 2.3) en is stakeholders, in dit geval akkerbouwers uit het projectgebied, gevraagd een prioritering te geven aan bodemfuncties. Op basis daarvan en aan de hand van de resultaten van de literatuurstudie zijn mogelijke indicatoren en variabelen gedefinieerd. Per variabele worden, indien er informatie over is, achtereenvolgens besproken: meetbaarheid, streefwaarde en bandbreedte, relaties met andere bodemvariabelen, beïnvloeding door management, bruikbaarheid als indicator.

¹ Zanen et al. (2011) Duurzaam bodembeheer & Functionele Agrobiodiversiteit in de bodem.
Zanen et al. (2011) Veldmetingen bij niet-kerende grondbewerking en ploegen: het effect op bodemleven en bodemfuncties.

2 Ontwikkeling van een indicatorset

2.1 Voorwaarden voor een indicator

Om biologische bodemkwaliteit te kunnen beoordelen en monitoren zijn indicatoren nodig. Een indicator is een parameter die informatie geeft over andere parameters die moeilijk of niet te meten zijn. Indicatoren stellen ons in staat op snelle en relatief eenvoudige wijze correcte en relevante informatie te verzamelen die relatief eenvoudig te communiceren is.

Belangrijke criteria voor de ontwikkeling van een indicatorenset zijn:

- **Ondersteuning door wetenschappelijk onderzoek** - De indicatoren moeten representatief en valideerbaar zijn.
- **Ondersteuning door de praktijk** - De indicatoren moeten betaalbaar en te analyseren zijn, bij voorkeur in het veld.
- **Gevoeligheid** - De indicatoren moeten voldoende gevoelig zijn voor veranderingen, bijvoorbeeld door verschillend management.

Verder zijn indicatoren te verdelen in drie typen: kwantitatief (metingen in het laboratorium), kwalitatief (visueel, met behulp van scorekaarten) en semi-kwantitatief (bijvoorbeeld "test kits"). Kwantitatieve beoordelingen worden als meest betrouwbaar beschouwd en zijn ook het best objectief met elkaar te vergelijken, maar hebben als nadeel dat ze verder van de praktijk afstaan en vaak duur en tijdrovend zijn. Kwalitatieve indicatoren sluiten juist goed aan bij de beleving van telers en zijn het meest geschikt om het bewustzijn van telers voor het belang van bodemkwaliteit te vergroten. Belangrijke zwakte van kwalitatieve beoordelingen is dat de resultaten afhangen van de perceptie van de beoordelaar. "Score kaarten" kunnen helpen om deze subjectiviteit te standaardiseren, waardoor toch resultaten verkregen worden die met andere resultaten te vergelijken zijn. Dergelijke score kaarten kunnen samen met enkele kwantitatieve beoordelingen een "test kit" vormen die onderzoek en praktijk verbindt.

2.2 Bodemfuncties als vertrekpunt

Om de juiste indicator(set) te kunnen selecteren is een conceptueel kader voor bodemkwaliteit en beoordeling nodig. In 2006 heeft de Europese Commissie daartoe de eerste Kaderrichtlijn Bodem gepubliceerd waarin naast een aantal dreigingen ook routes aangegeven worden om de dreigingen van bodemkwaliteit op nationaal niveau aan te pakken. In Nederland is de Technische Commissie Bodem (TCB, www.tcbodem.nl) in het leven geroepen voor advies bij uitvoering van wettelijke voorschriften en beleid op het gebied van bodembescherming. Op advies van deze commissie (TCB, 2003) zijn de maatschappelijke functies van de bodem als uitgangspunt gekozen voor beleid. Door een groep bodemdeskundigen o.a. Rutgers et al. (2009) zijn de verschillende bodemfuncties en de daarbij horende ondersteunende diensten gedefinieerd (Tabel 1). Omdat bodemecologische processen een sleutelrol spelen in het functioneren van de meeste bodemdiensten, spreken we ook van *ecosysteemdiensten*.

Tabel 1: De 10 bodemfuncties als vertrekpunt voor beleid

Bodemvruchtbaarheid	1. Nutriënten retentie & levering
	2. Bodemstructuur, stabiele aggregaten en profielontsluiting
	3. Ziekten- en plaagwering
Adaptatie, veerkracht, weerstand, herstelvermogen	4. Weerstand tegen stress, herstelvermogen
	5. Adaptatie en veerkracht, veranderbaarheid
Buffer en reactorfunctie	6. Fragmentatie en mineralisatie van organische stof
	7. Zelfreinigend vermogen, schoon grondwater
	8. Waterretentie, opnemen, vasthouden, doorlaten
	9. Klimaatfuncties (luchtfILTER, broeikasgassen, temperatuur, vocht)
10. Biodiversiteit (buitenfunctie, geen gebruiksfunctie <i>sensu stricto</i>)	

2.3 Referenties voor biologische bodemkwaliteit (RBB)

In Nederland is de deskundigheid op het vlak van bodemchemie, bodemstructuur en bodemecologie gebundeld in een werkgroep die werkt aan een Bodem Biologische Indicator (de BoBi werkgroep). De werkgroep bestaat uit medewerkers van onder andere Wageningen Universiteit (Alterra, PPO), het Louis Bolk Instituut, het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) en BLGG AgroXpertus. Het ministerie van Volksgezondheid, Ruimtelijke Ordening en Milieu (VROM) heeft deze werkgroep opdracht gegeven om een systematiek van Referenties voor Biologische Bodemkwaliteit (RBB) op te stellen aan de hand van kwantitatieve bodemmetingen in het Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit (LMB). Dit meetnet omvat ongeveer 320 meetpunten waar een groot aantal bodemparameters gemeten wordt (Bijlage 1). Uit deze dataset zijn locaties geselecteerd waarvan verondersteld wordt dat de bodem ter plaatse relatief 'gezond' is. Hiervoor werd gebruik gemaakt van de inbreng van deskundigen met betrekking tot de stabiliteit van het voedselweb, de structuur van het ondergrondse en bovengrondse ecosysteem en de duurzaamheid van het bodembeheer. De zogenaamde duurzame referentie werd berekend uit het gemiddelde van de parameters van geselecteerde locaties met een 'gezonde' bodem. Op deze wijze is voor 10 combinaties van bodem en bodemgebruik een duurzame referentie opgesteld wat betreft de biologische bodemkwaliteit (Rutgers et al., 2007).

Het RBB-concept gaat uit van relaties tussen de bodembiodiversiteit, het functioneren van bodemprocessen en de daaraan gekoppelde ecosysteemdiensten (functies die de bodem levert). De kwantitatieve uitwerking van deze relaties staat nog in de kinderschoenen en vraagt om verdere onderbouwing. Kwalitatieve indicatoren zijn niet meegenomen in de systematiek. Er is verder nog weinig wetenschappelijke consensus over een set indicatoren om bodembiodiversiteit uit te drukken. Op basis van 'roeien met de riemen die we hebben' wordt in Nederland getracht bodemdiensten te koppelen aan een min of meer vaste set bodemvariabelen. Het Nederlandse Landelijke Meetnet Bodemkwaliteit omvat ongeveer 320 meetpunten, waarvan 11 op löss/leemgronden en waarvan er 3

als “referentielocaties” zijn aangewezen (Rutgers et al., 2007). Bovendien betreffen dit veehouderijbedrijven, waardoor nog weinig gezegd kan worden over akkerbouwbedrijven op löss/leemgronden.

De werkwijze van de RBB-systematiek omvat enkele belangrijke stappen:

Stap 1) consulteren van stakeholders

Op basis van de 10 omschreven bodemfuncties kan via een workshop met stakeholders voor een regio of locatie worden bepaald wat de belangrijkste ecosysteemfuncties zijn.

Stap 2) prioritering van bodemfuncties

De volgende stap is het bepalen van de focus, het aanbrengen van een prioritering binnen de genoemde functies.

Stap 3) selectie van parameters

Tenslotte wordt er een keuze gemaakt uit een aantal parameters welke als indicator voor de geprioriteerde functies dienen. Die keuze is de meest gevoelige en minst ontwikkelde stap in het proces. Door Rutgers et al. 2007 is een matrix opgesteld waarin relaties tussen bodemparameters en bodem ecosysteemfuncties worden aangegeven. Deze matrix is gebaseerd op de beschikbare kennis (die beperkt is) en op expert judgement binnen de BoBi-werkgroep.

Door het toetsen van de indicator(set) op praktijkpercelen kan invulling worden gegeven aan de laatste twee stappen voor het ontwikkelen van een indicator(set), te weten:

Stap 4) gevoeligheidsanalyse

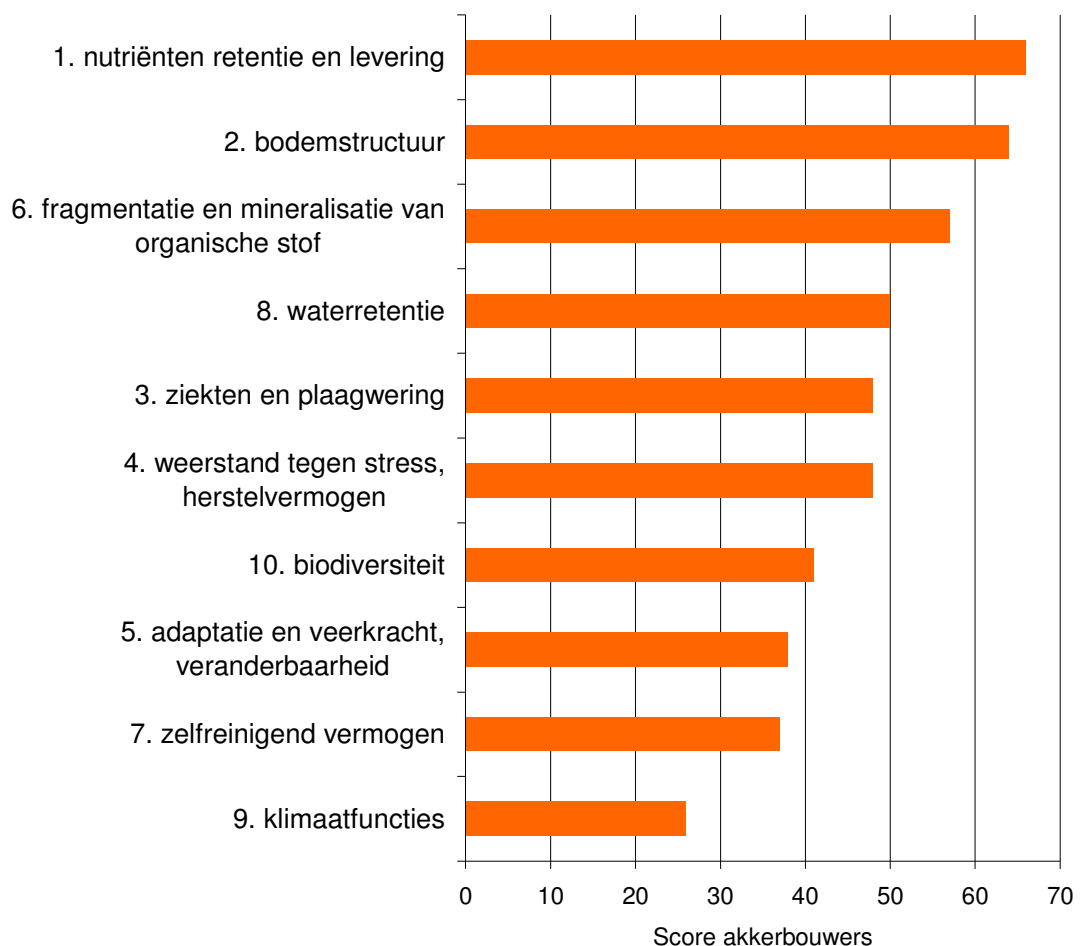
“Is de indicatorset gevoelig genoeg om verschillen in bodembewerking en de effecten daarvan op bodemdiensten te toetsen ?”

Deze stap zal in het kader van BodemBreed uitgevoerd worden aan de hand van een vergelijking tussen geploegde en niet geploegde percelen en proefvelden.

Stap 5) validatie bij de eindgebruikers

3 Consulteren van stakeholders en prioritering van bodemfuncties

Stap 1 vanuit de RBB-systematiek is het consulteren van stakeholders. Stakeholders binnen het werkveld van BodemBreed zijn geconsulteerd tijdens een werkgroepvergadering en middels een rondgestuurde enquête. Tijdens de vergaderingen werden de bodemfuncties “nutriëntenlevering”, “bodemstructuur” en “ziekte- en plaagwering” geprioriteerd. De enquête (Bijlage 2) bestond uit een lijst van de 10 bodemfuncties (Figuur 1) waar de ondervraagden 30 punten over moesten verdelen. De functies met de meeste punten kregen van de ondervraagden de hoogste prioriteit. De som van alle gegeven punten bepaalde de totale score per bodemfunctie. Uit de enquête kwamen vooral “nutriëntenlevering”, “bodemstructuur” en “fragmentatie en mineralisatie organische stof” naar voren als bodemfuncties die akkerbouwers belangrijk vonden.



Figuur 1: Prioritering van de bodemfuncties door leden van de Boerenbond aan de hand van een rondgestuurde enquête (Bijlage 2).

4 Selectie van indicatoren en variabelen

De uitkomst van stap 2, prioritering van bodemfuncties, maakte duidelijk dat er behoefte was aan een brede diversiteit van bodemfuncties. Dit maakt het noodzakelijk een brede indicatorenset te selecteren. De selectie (stap 3) is gemaakt op basis van Bijlage 1 en is aangevuld met semikwalitatieve metingen en een aantal bodemchemische analyses mits die al niet vanuit een andere activiteit binnen Bodembreed uitgevoerd werden (Tabel 2 en Tabel 3). Naast de relatie tussen de bodemparameter en de bodemfunctie is meegewogen dat de indicatorenset meetbaar en betaalbaar moet zijn en zowel uit kwantitatieve als kwalitatieve metingen moet bestaan om dicht bij de praktijk te staan. Tot slot is ook meegewogen dat de indicator gevoelig moet zijn voor verschillen in bodembeheer op basis van het voorafgaande literatuuroverzicht. De combinatie van kwantitatieve en kwalitatieve metingen is nodig omdat voor akkerbouw op löss/leemgronden nog nauwelijks of zelfs geen referentiewaarden voor bodembioologische kwaliteit en bodemfuncties bestaan. Resultaten van de veldmetingen kunnen een basis vormen voor referentiewaarden van akkerbouw op löss/leemgronden.

Tabel 2: Semi-kwalitatieve indicatoren en variabelen voor verschillende bodemfuncties.

		1. Nutriënten retentie & levering	2. Aggregaten en profiel	3. Ziekten en plaagwering	4. Weerstand tegen stress	5. Adaptatie en veerkracht	6. Afbraak van organische stof	7. Zelfreinigend vermogen	8. Watervasthouden, doorlaten	9. Klimaatfuncties	10. Biodiversiteit
In kuil of kluit	Variabele										
Structuur	Kruimel, afgerond, scherp										
Beworteling	Diepte, intensiteit										
Poriën	Micro en macroporiën										
Bodemlevenactiviteit	Sporen, gangen, wormen										
Storende lagen	Diepte storende laag										

Tabel 3: Kwantitatieve indicatoren en variabelen voor verschillende bodemfuncties.

		1. Nutriënten retentie & levering	2. Aggregaten en profiel	3. Ziekten en plaagwering	4. Weerstand tegen stress	5. Adaptatie en veerkracht	6. Afbraak van organische stof	7. Zelfreinigend vermogen	8. Watervasthouden, doorlaten	9. Klimaatfuncties	10. Biodiversiteit
Microfauna	Variabele										
Bacteriën	Bacterie biomassa	Donker Groen	Licht Groen	Licht Groen	Oranje	Oranje	Licht Groen	Rood	Oranje	Rood	Licht Groen
Schimmels	Schimmel biomassa	Donker Groen	Donker Groen	Licht Groen	Licht Groen	Licht Groen	Licht Groen	Licht Groen	Oranje	Oranje	Oranje
	Actieve hyphen	Licht Groen	Oranje	Licht Groen	Licht Groen	Donker Groen	Licht Groen	Donker Groen	Oranje	Oranje	Donker Groen
Nematoden	Dichtheid	Licht Groen	Rood	Oranje	Oranje	Oranje	Rood	Licht Groen	Rood	Rood	Oranje
	Diversiteit (taxa, voedselgroepen)	Oranje	Rood	Licht Groen	Licht Groen	Donker Groen	Rood	Donker Groen	Rood	Rood	Rood
	Plantparasitaire aaltjes	Rood	Rood	Donker Groen	Licht Groen	Licht Groen	Rood	Donker Groen	Rood	Rood	Rood
Activiteit microfauna	Potentieel mineraliseerbare N	Donker Groen	Oranje	Oranje	Oranje	Licht Groen	Donker Groen	Licht Groen	Licht Groen	Rood	Donker Groen
	Potentieel mineraliseerbare C	Donker Groen	Oranje	Oranje	Oranje	Licht Groen	Donker Groen	Licht Groen	Donker Groen	Licht Groen	Licht Groen
Macrofauna											
Potwormen	Dichtheid	Oranje	Licht Groen	Oranje	Oranje	Licht Groen	Licht Groen	Licht Groen	Donker Groen	Licht Groen	Rood
Regenwormen	Dichtheid	Donker Groen	Donker Groen	Oranje	Licht Groen	Licht Groen	Donker Groen	Donker Groen	Donker Groen	Donker Groen	Donker Groen
	Diversiteit	Oranje	Licht Groen	Oranje	Licht Groen	Licht Groen	Donker Groen	Licht Groen	Oranje	Licht Groen	Licht Groen
Chemisch											
Zuurgraad	pH	Licht Groen	Licht Groen	Licht Groen	Oranje	Licht Groen	Licht Groen	Oranje	Oranje	Donker Groen	Licht Groen
Totaal stikstof	N-totaal	Donker Groen	Oranje	Rood	Oranje	Donker Groen	Donker Groen	Rood	Licht Groen	Donker Groen	Licht Groen
Totaal fosfaat	P-totaal	Oranje	Oranje	Rood	Rood	Licht Groen	Oranje	Oranje	Licht Groen	Oranje	Licht Groen
Beschikbaar fosfaat	Pw of P- <i>Al</i>	Licht Groen	Rood	Rood	Rood	Donker Groen	Oranje	Oranje	Oranje	Donker Groen	Donker Groen
Koolstof	OS%, C%, HWC	Donker Groen	Donker Groen	Licht Groen	Licht Groen	Donker Groen	Oranje	Licht Groen	Oranje	Licht Groen	Licht Groen
Fysisch											
Indringingsweerstand	Penetrometer	Oranje	Donker Groen	Oranje	Oranje	Oranje	Rood	Licht Groen	Donker Groen	Donker Groen	Licht Groen

Rood= geen indicator, donker groen= sterke indicator.

4.1 (Semi-)kwalitatieve metingen m.b.v. profielkuil of kluit

Middels het graven van profielkuilen kunnen (semi-)kwalitatieve beoordelingen uitgevoerd worden om bodemstructuur, beworteling, poriën, bodemlevenactiviteit en storende lagen te bepalen.

Structuur, beworteling, poriën, bodemlevenactiviteit en storende lagen De fysische bodemkwaliteit (bodemstructuur) is van groot belang en kan kwalitatief beoordeeld worden aan uit de profielwand gestoken kluiten. Bij bodemstructuur wordt onderscheid gemaakt tussen kruimelstructuur, afgerondblokkige structuur en scherpblokkige structuur (zie Figuur 2) in de lagen 0-10 cm en 10-20 cm (FAO, 2006). Een bodemstructuur met veel kruimels en afgerondblokkige elementen duidt op veel activiteit van het bodemleven en een luchtige structuur waardoor lucht en watertransport kunnen plaatsvinden. Scherpblokkige structuurelementen duiden juist op weinig bodemleven en beworteling. Daarnaast is de bodemstructuur belangrijk voor de mate van beworteling van een gewas. Wortels hebben voor de plant verschillende functies zoals opname van water en voedingsstoffen, verankering en opslag van reservestoffen. De wortel heeft allerlei directe- en indirecte effecten op het bodemleven en de bodemstructuur. Door het afgeven van wortellexudaten en door het afsterven van wortels worden er grote hoeveelheden koolstof in de grond gebracht. Dit maakt dat wortels een belangrijke invloed uitoefenen op de bodemvorming en wortels maken de bodem. Een goed wortelstelsel is daarmee één van de belangrijkste voorwaarden om een goede gewasgroei te krijgen. De intensiteit en de diepte van de beworteling bepalen in belangrijke mate de mineralen- en vochtvoorziening van het gewas vooral wanneer relatief weinig bemest wordt. Een goede structuur heeft daarmee invloed op de opbrengst en de benutting van nutriënten. Naast structuurelementen kan ook gekeken worden naar signalen die wijzen op bodemleven zoals wormgangen en poriën.



Figuur 2: Van links naar rechts: kruimels, afgerondblokkige en scherpblokkige elementen uit een kluit.

Om storende lagen inzichtelijk te maken kan de bodemweerstand (of indringingsweerstand) in iedere bodemlaag gemeten worden. De bodemweerstand geeft aan in hoeverre de grond verdicht is en vooral ook op welke diepte de verdichting zit.

Meetbaarheid De bodemstructuur kan in het veld visueel beoordeeld worden door een kluit uit de wand van een profielkuil te steken (Figuur 3). De verschillende percentages kunnen worden bepaald op basis van nauwkeurige schattingen of met een keukenweegschaal.

Een variant op het bepalen van de diverse structurelementen is de zogenaamde heuptest (Shepherd, 2000) waarbij een kluit van de bovengrond vanaf heuphoogte op de grond wordt gegoid. De bewortelingsdiepte en mate van verstoring kunnen bepaald worden aan de hand van profielkuilen. Voor de objectivering van de metingen is het belangrijk de waarnemingen aan de hand van een scoreformulier uit te voeren of steeds door eenzelfde ervaren waarnemer. De grondlegger van deze methode is Görbing die aan de hand van een groot aantal waarnemingen middels de 'Spatenanalyse' de kwaliteit van een bodem beoordeelde. De bewortelingsdichtheid wordt traditioneel gemeten door wortelmonsters te spoelen, te drogen, eventueel te verassen en het droog gewicht of asvrij gewicht te bepalen. Deze methode is zeer arbeidsintensief en het is moeilijk onderscheid te maken tussen dode en levende wortels. Geïnspireerd door de zogenaamde "handmethode" (Sprangers en Arp, 1999) kan de beworteling ook snel in het veld bepaald worden door het aantal wortels in een kluit op 10 en 20 cm diepte te tellen. Dit is minder arbeidsintensief, maar de resultaten zijn niet altijd even goed vergelijkbaar om bewortelingsdichtheid te kwantificeren. Momenteel wordt onderzocht in hoeverre plantenetende nematoden een indicator kunnen zijn voor bewortelingsintensiteit zodat een beoordeling van de doorworteling onderdeel kan worden van al bestaande nematodenanalyses. Een beoordeling van beworteling kan gedaan worden door gebruik van scorekaarten met bijv. een 5 als optimale beworteling en een 0 voor afwezigheid van beworteling in een bepaalde bodemlaag. Bij bodemlevenactiviteit kan de mate van porositeit die veroorzaakt is door het bodemleven worden gescoord op een schaal van 1-5.



Figuur 3: Het graven van een profielkuil (links) en het steken van een kluit (rechts) kan goed door telers zelf uitgevoerd worden.

De bodemweerstand is te meten met verschillende soorten weerstandsmeters (penetrometers). De simpelste vorm is een eenvoudige stalen pin die men in de grond drukt en waarbij men zelf de weerstand voelt om storende lagen te signaleren. Een objectievere meting van de bodemweerstand is het gebruik van analoge of digitale penetrometer. Het meten van de bodemweerstand kan tijdens het lopen door een perceel regelmatig uitgevoerd worden om zo een goed beeld te krijgen van de

ruimtelijke spreiding een mogelijk storende laag of bijvoorbeeld het effect van berijding te zien op rijpaden of aan de uiteinden van een perceel. Bodemweerstand is sterk gecorreleerd aan het vochtgehalte van de bodem. Inzicht in de vochttoestand is dus van belang bij interpretatie van de resultaten.

Streefwaarde en bandbreedte Een hoog percentage scherpblokkige elementen in de laag 0-10 cm duidt op een minder goede structuur. Kruiden en afgerondblokkige elementen worden als goed voor de bodemstructuur beoordeeld. In de laag 0-10 cm is het wenselijk dat er minimaal 50% kruimelstructuur is, 30% afgerondblokkige elementen en maximaal 20% scherpblokkige elementen. De laag van 10 tot 20 cm is vaak verdicht. Het is wenselijk dat ook in deze laag tenminste 25% kruiden en afgerondblokkige elementen voorkomen. De bewortelingsintensiteit verschilt tussen gewassen maar wordt ook sterk beïnvloed door bodemstructuur, beschikbaar vocht en verschillen in voedselrijkdom. Beworteling wordt daarom beoordeeld in de context van overige variabelen. Bodemlevenactiviteit dient geïnterpreteerd te worden in de context van vochttoestand, gewas en bodembewerking. Een bodemweerstand van meer dan 2,5-3,0 MPa (10^6 Pascal) is voor plantenwortels niet of moeilijk doordringbaar en 3 MPa wordt vaak als bovengrens aangehouden.

Relaties met andere bodemparameters De kruimeligheid van bodems is het resultaat van bodemlevenactiviteit. Bodemaggregaten zijn bodemdeeltjes verkleefd met mucus en schimmeldraden en ontstaan door activiteit van het bodemleven. Regenwormen spelen een belangrijke rol in de vorming van aggregaten. In een grote proef op Nederlandse zandgronden was het percentage kruiden positief en het percentage scherpblokkige elementen negatief gecorreleerd met wormendichtheid. Afgerondblokkige elementen konden in dezelfde proef worden voorspeld door het organisch stofgehalte en de C/N-verhouding (van Eekeren, 2011). De diepte van de beworteling wordt op zandgrond sterk bepaald door de dikte van de humusrijke, donkere bovenlaag. Doorworteling hangt af van fysieke omstandigheden (bodemstructuur, storende lagen), vochtbeschikbaarheid (vooral effect op bewortelingsdiepte) en bodemvruchtbaarheid (effect op wortelintensiteit). Momenteel wordt nog onderzocht in hoeverre aantallen planteneterende nematoden een indicator is voor doorworteling. Bodemlevenactiviteit wordt sterk beïnvloed door vocht, lucht en aanwezigheid van organische stof. Bodemweerstand hangt samen met storende lagen en is afhankelijk van het vochtgehalte van de bodem. Bodemweerstand is dan ook het beste te meten wanneer de grond niet te droog of te vochtig is. Berijding van het perceel onder natte omstandigheden of met te hoge bandenspanning in combinatie met slechte beworteling en afwezigheid van diepgravende regenwormen zijn de belangrijkste oorzaken van bodemverdichting. Wanneer de bouwvoor altijd op dezelfde diepte geploegd wordt, kan dit leiden tot een "ploegzool": een harde verdichte laag op ploegdiepte waar beworteling maar ook regenwater moeilijk of niet doorheen dringen.

Bruikbaarheid De hierboven beschreven observaties aan bodemstructuur zijn relatief gemakkelijk uit te voeren in het veld en geven een goed beeld van de staat van de bodem. Er zijn algemene streefwaarden voorhanden, maar verschillen zijn te verwachten bij verschillende vochtgehalten. Bodemmanagement heeft zeker invloed op de bodemstructuur. De beworteling is een belangrijke

indicator. Een biomassabepaling is echter een kostbare methode wat een minpunt is. Het tellen van wortels in een kluit tijdens veldwaarnemingen is een goed alternatief om effecten van management (bijv. ploegen versus niet-ploegen) te vergelijken. Om de effecten van bodemmanagement op beworteling en van beworteling op bodemkwaliteit vast te kunnen stellen is meer onderzoek nodig. Dit laatste geldt ook voor de indicatorwaarde van plantetende nematoden voor de beworteling. Het meten van bodemweerstand m.b.v. prikstok is een eenvoudige en snelle methode om de effecten van bodembewerking op de bodemstructuur te beoordelen, maar vanwege de sterke wisselwerking met het vochtgehalte op het moment van meten, niet aan te raden voor het monitoren van veranderingen in de tijd.

4.2 *Kwantitatieve metingen in bodemlaboratoria*

4.2.1 *Bacteriën en schimmels*

Bacteriën en schimmels dragen bij aan veel bodemprocessen, zoals de afbraak van een groot aantal organische verbindingen en het vrijmaken van koolstof en minerale stikstof (mineralisatie). Verder scheiden bacteriën en schimmels stoffen uit die bodemdeeltjes aan elkaar katten, waardoor aggregaten worden gevormd.

Meetbaarheid Het bodembioologische laboratorium van WUR-Alterra in Wageningen is in staat microbiologische analyses aan grond uit te voeren. Voor de metingen worden grondmonsters 4 weken bij 12 °C (gemiddelde bodemtemperatuur) en 50% WHC (= 50% van het waterbergend vermogen) bewaard. Dit is een standaardprocedure om variatie door o.a. weersomstandigheden op het tijdstip van monsternamen zoveel mogelijk weg te nemen (Bloem et al., 2006). Het totale aantal bacteriën en de afmetingen van de cellen worden bepaald door middel van directe microscopische tellingen na kleuring met fluorescerende verbindingen (Bloem en Vos, 2004). Deze metingen worden gedaan met een confocale laser-scan microscoop en automatische beeldverwerking (Bloem et al., 1995). Uit het aantal en volume van de cellen wordt de bacteriële biomassa berekend en uitgedrukt in µg C/g grond. De totale hoeveelheid schimmeldraden (hyfen) in de grond wordt bepaald door de lengte van de hyfen te meten onder de microscoop. De lengte wordt omgerekend naar koolstof en de schimmelbiomassa wordt uitgedrukt in µg C/g droge grond. Actieve schimmels worden onderscheiden door een specifieke kleuring van DNA en RNA met een rode fluorescerende kleurstof. Actief groeiende hyfen bevatten veel RNA. Bij inactieve schimmels zijn alleen de blauw gekleurde celwanden te zien. De onderzochte indicatoren worden nu nog niet routinematig uitgevoerd, maar de indicatoren zijn belangrijk als het gaat om een bodembioologische beoordeling vanwege de cruciale rol van micro-organismen in het bodemvoedselweb.

Streefwaarde en bandbreedte In de Nederlandse referentie voor biologische bodemkwaliteit zijn streefwaarden en bandbreedtes voor bacteriële parameters gegeven (Tabel 4). Er is vaak een hoge variantie in metingen waardoor meerdere herhalingen nodig zijn. Tot nog toe vastgestelde streefwaarden en bandbreedtes zijn nog aan verandering onderhevig. Voor schimmels zijn er nog helemaal geen referenties.

Omdat voor löss/leemgronden alleen waarden voor de veehouderij beschikbaar zijn, zijn de waarden voor akkerbouw op klei en zand ook gegeven. Verdere bemonsteringen van löss/leemgronden in Vlaanderen en Nederland moeten de bandbreedte nauwkeuriger maken.

Tabel 4: Referentiewaarden en bandbreedtes voor bacteriële biomassa op een aantal grondsoorten voor veehouderij en akkerbouw

Parameter	Landgebruik	Referentie	Gemiddelde	Laagste 5%	Hoogste 5%
Bacteriële biomassa	Veehouderij op löss/leem	620	476	410	593
(µg C/g droge grond)	Akkerbouw op klei	51	66	7,5	162
	Akkerbouw op zand	81	88	25	145

Relaties met andere bodemparameters Het wortelstelsel van het gewas is een “hot spot” voor bodemleven, wortellexudaten en afgestorven delen zijn voedsel voor het bodemleven, wat ook naar voren komt in de bacterie- en schimmelgemeenschappen.

Beïnvloeding door management Er worden meer bacteriën en schimmels gevonden in de bodem in gebruik als grasland dan in akkerbouw. Verder stimuleert toevoeging van organische materialen zoals mest, compost en stro de microbiële activiteit, soms wel met een factor 1000.

Bruikbaarheid Voor onderzoeksdoeleinden is het belangrijk om met deze indicatoren verder te gaan. Een belangrijke barrière voor de invoering in de praktijk is dat deze metingen nog niet routinematig worden uitgevoerd door bodemlaboratoria.

4.2.2 Nematoden

Nematoden zijn kleine wormvormige diertjes (0,2 - 2 mm lang) die in hoge aantallen en diversiteit voorkomen in bodems. Aaltjes (zoals nematoden ook wel genoemd worden) hebben een negatieve naam vanwege de schade die ze kunnen berokkenen in de landbouw. Voor bodemnematoden is dit grotendeels onterecht: van de duizenden soorten die voorkomen is slechts een kleine minderheid van plantparasitaire soorten schadelijk voor landbouwgewassen. De rest heeft geen duidelijke invloed of is juist nuttig vanwege de rol in het bodemvoedselweb. Nematoden voeden zich met (onderdelen van) bacteriën, schimmels, dieren en planten. Door begrazing van de microflora beïnvloeden microbivore (en predatore) nematoden de mineralisatie van nutriënten. Nematoden worden ingedeeld in functionele groepen op basis van voedingstype en overlevingsstrategie. Qua voedingstype worden bacterivore, fungivore, carnivore, omnivore, algenetende en herbivore nematoden onderscheiden. Het onderscheid op basis van overlevingsstrategie van de nematoden wordt gemaakt op basis van voortplantingssnelheid en de levensduur.

Meetbaarheid De nematodendichtheid en -samenstelling wordt door BlggAgroXpertus geanalyseerd. Nematoden worden met een spoel-/zeefmethode uit de bodemmonsters (0-10 cm) gehaald (de “Oostenbrink-methode”, Oostenbrink 1960). Na telling van het aantal nematoden in 100

gram verse grond worden de nematoden gefixeerd en worden circa 150 exemplaren gedetermineerd met behulp van een lichtmicroscop. Op basis daarvan wordt de samenstelling van de gehele nematodengemeenschap geschat. Het aantal vrijlevende nematoden wordt in Nederland routinematig bij verschillende commerciële laboratoria bepaald. Daarnaast kunnen ze worden gedetermineerd op geslacht of soort op basis waarvan ze ingedeeld kunnen worden naar overlevingsstrategie. In de procedure van determinatie kunnen de laboratoria verschillen. Bemonstering van nematoden kan soms gecombineerd worden met de monsternamen voor een standaard chemische analyse. Kosten voor bepalingen zijn afhankelijk van de soort determinatie (geslacht of soort) In een samenwerking van de WUR en BLGG AgroXpertus wordt op het moment gewerkt aan een routinematige analyse van nematodengemeenschappen door gebruik te maken van DNA-barcodes. Dit zou in de toekomst de kostprijs van een routinematige bepaling kunnen verlagen.

Streefwaarde en bandbreedte In de referentie voor biologische bodemkwaliteit zijn mogelijke streefwaarden en de bandbreedtes voor nematoden weergegeven (Tabel 5). Deze zijn gebaseerd op slechts enkele metingen in leem/löss gronden. Uitbreiding van deze meetset is daarom zeer waardevol en zal helpen deze waarden te verscherpen. Omdat voor löss/leemgronden alleen waarden voor de veehouderij beschikbaar zijn, zijn de waarden voor akkerbouw op klei en zand ook gegeven. Verdere bemonsteringen van löss/leemgronden in Vlaanderen en Nederland moeten de bandbreedte nauwkeuriger maken.

Tabel 5: Referentiewaarden en bandbreedtes voor aantallen en diversiteit van nematoden op een aantal grondsoorten voor veehouderij en akkerbouw

Parameter	Landgebruik	Referentie	Gemiddelde	Laagste 5%	Hoogste 5%
Dichtheid	Veehouderij op löss/leem	4817	4045	2242	5800
(aantal/100g verse grond)	Akkerbouw op klei	1290	1270	660	2190
	Akkerbouw op zand	4240	3605	1475	6331
Diversiteit	Veehouderij op löss/leem	27	29	26	32
(aantal taxa/100g verse grond)	Akkerbouw op klei	33	32	25	44
	Akkerbouw op zand	29	26	19	32

Relaties met andere bodemparameters Omgevingsfactoren zoals voedselbeschikbaarheid en abiotische omstandigheden worden weerspiegeld in combinaties van zogenaamde “colonizer-persister groepen” waar de bodemgebonden nematodensoorten in te delen zijn (cp-groepen). “Colonizers” zijn snelle voortplanters en goede kolonisten die zich snel in een dynamische omgeving kunnen vestigen, oftewel “r-strategen”. “Persisters” planten zich minder snel voort en leven langer waardoor ze zich minder goed in dynamische omgevingen kunnen handhaven, oftewel “k-strategen”. De ‘cp1’-groep is een indicator voor (plotselinge) voedselrijkdom. De ‘cp2’-groep omvat veel soorten die zich hebben aangepast aan het overleven in moeilijke omstandigheden (droogte, voedselschaarste, zure grond). De ‘cp3’ tot en met ‘cp5’ groepen bevatten de grotere, meer gespecialiseerde en gevoelige soorten. Deze indeling in ecologisch functionele groepen is ontwikkeld

door de Wageningse nematoloog Tom Bongers en wordt gehanteerd door onder andere BLGG AgroXpertus.

De volgende vuistregels worden gehanteerd:

Situatie 1: aandeel cp groep 1 > 15%: voedselrijke situatie. Op van nature arme bodems indiceert een dergelijke waarde een ernstige eutrofiëring (verhoogde secundaire productie).

Situatie 2: aandeel cp groep 1 > 50%: extreem voedselrijke situatie. Op alle bodemtypen indiceert dit een sterk verhoogde secundaire productie.

Situatie 3: aandeel cp groep 2 > 90%: sterk gedegenererde nematodenfauna. Deze waarde indiceert een beginstadium van natuurlijke successie of de aanwezigheid van een extreme antropogene stressfactor (secundaire productie wordt bedreigd of kan aangetast zijn).

Met de cp-indeling kan de zogenaamde Maturity Index (MI; Bongers, 1990) berekend worden. Deze index is een maat voor de verhouding tussen groepen met een meer of minder opportunistische levenswijze. Voedselverrijking van de bodem, bijvoorbeeld door organische mest, is goed herkenbaar in een lage waarde van de index. Een rijpe en onverstoorde bodem heeft een MI tussen de 2,5 en 3,5. Situaties 1, 2 en 3 gaan doorgaans gepaard met een verlaagde Maturity Index. Bodems met een landbouwgerichte gebruiksfunctie bezitten doorgaans een hoog aandeel van cp groep 1.

Beïnvloeding door management Het bouwplan inclusief groenbemester kan de nematodenpopulaties behoorlijk beïnvloeden. Sommige planten zijn zogenaamde waardplanten voor bepaalde soorten die zich daardoor verder vermeerderen.

Bruikbaarheid Aangezien nematoden in een aantal trofische niveaus van het bodemvoedselweb vertegenwoordigd zijn, is de samenstelling een interessante indicator voor het functioneren van dat voedselweb. Indirect zou het aantal plantenetende nematoden ook een maat kunnen zijn voor de wortelbiomassa. Een aantal nematodenparameters zijn ook gerelateerd aan ecosysteemdiensten. Nematodengemeenschappen reageren snel op veranderende omstandigheden en zijn daardoor een gevoelige indicator. De mogelijkheden voor een routinematige bepaling maakt dit op korte termijn tot een zeer waardevolle laboratoriummethode voor de beoordeling van biologische bodemkwaliteit.

4.2.3 Organische stofkwaliteit en stikstofmineralisatie

Het meten van de productie van CO₂ geeft de ademhalingsactiviteit van het bodemleven aan. Welke organismen hiervoor verantwoordelijk zijn wordt bij deze methode niet duidelijk. Wordt het meten van de CO₂ productie onder gestandaardiseerde omstandigheden toegepast dan geeft deze aan hoeveel gemakkelijk verteerbaar voedsel er voor het bodemleven is en kan ook als maat voor de organische stofkwaliteit dienen. Door verdichting, anaerobe omstandigheden, kou e.d. kan het zijn dat in het veld het bodemleven zich niet ontwikkelt zoals in het laboratorium. Het meten van de respiratie in het veld geeft daar uitsluitsel over.

Stikstof is een belangrijke voedingsstof voor de plant. De N-mineralisatie uit organische stof kan met aerobe en anaerobe labmethodes bepaald worden.

Meetbaarheid

Hot Water-extractable Carbon

De grond wordt eerst gedroogd bij 40 °C, gemalen en vervolgens gezeefd (2 mm). Met een vochtnevel wordt onder voortdurend schudden de grond weer bevochtigd tot de eerste kluitvorming van 1 cm grootte optreedt. Dit komt overeen met een vochtgehalte van ca 60% van het waterbergend vermogen. De vochtige grond wordt in een afgesloten container gedaan en 1 week bij 20 °C weggezet. Onderin de container bevindt zich 0,1 M KOH. De hoeveelheid koolzuur wordt middels een titratie met zoutzuur gemeten en wordt omgerekend naar potentiële C-mineralisatie.

Potentiële N-mineralisatie

De potentiële N mineralisatie wordt bepaald door gehomogeniseerde en gezeefde (< 5mm) grond te incuberen in luchtdichte potten bij 20 °C. De toename in minerale N tussen week 1 en week 6 wordt gebruikt om de stikstof mineralisatiesnelheden te berekenen. Minerale stikstof wordt geëxtraheerd met 1M KCl waarna NH₄ en NO₃ worden gemeten via een kleurreactie in een auto-analyser. Bij de mineralisatie doen voornamelijk aerobe micro-organismen het werk. De aerobe potentiële stikstofmineralisatie benadert de veldsituatie het best, hoewel de structuur van het materiaal veranderd is.

Potentieel mineraliseerbare N

Een andere veel toegepaste methode is incubatie van een grondmonster gedurende 1 week onder water bij 40 °C (Canali en Benedetti, 2006). Deze meer kunstmatige warme en zuurstofarme omstandigheden zijn optimaal voor een snelle mineralisatie van organische stof door anaerobe bacteriën. Onder de zuurstofloosheid wordt de vrijkomende NH₄ niet omgezet in NO₃, en kan er ook geen ongecontroleerd verlies door denitrificatie optreden. De hoeveelheid minerale stikstof (NH₄-N) die vrijkomt is potentieel een maat voor de kwaliteit (N gehalte en afbreekbaarheid) van de organische stof. De anaerobe incubatie heeft als voordeel boven de aerobe dat er onder waterverzadigde omstandigheden weinig immobilisatie van stikstof optreedt en dat de stikstof als ammonium vrijkomt en daardoor gemakkelijk te meten is.

Streefwaarde en bandbreedte In de referentie voor biologische bodemkwaliteit zijn mogelijke streefwaarden en de bandbreedtes voor potentiële C- en N-mineralisatie weergegeven.

Omdat voor löss/leemgronden alleen waarden voor de veehouderij beschikbaar zijn, zijn de waarden voor akkerbouw op klei en zand ook gegeven. Verdere bemonsteringen van löss/leemgronden in Vlaanderen en Nederland moeten de bandbreedte nauwkeuriger maken.

Relaties met andere bodemparameters Potentiële C mineralisatie was sterk gecorreleerd met organische stof ($r=+0.69$ in 262 proefplotjes in grasland en $r=+0.51$ in 20 percelen proef) en N-totaal ($r=+0.69$ in 269 proefplotjes in grasland en $r=+0.70$ in 20 percelen proef). Met andere bodemparameters was er veel minder correlatie met de potentiële C mineralisatie.

De potentiële N-mineralisatie was het meest gecorreleerd met potentieel mineraliseerbare C ($r=+0.5$ in 259 proefplotjes) en in mindere mate met organische stof ($r=+0.32$ in 289 proefplotjes). De potentieel mineraliseerbare N was in 20 proefpercelen sterk gecorreleerd met N-totaal ($r=+0.87$), maar over verschillende jaren en proeven was dit minder ($r=+0.33$ in 144 proefpercelen).

Beïnvloeding door management In een vruchtwisselingproef in Gent had grasland een hogere potentiële C en N mineralisatie dan bouwland. Tijdelijk bouwland in vruchtwisseling had een hogere C en N mineralisatie dan bouwland met een continue teelt van maïs (van Eekeren, 2011). De verschillende mestsoorten hadden geen effect op de potentiële C-mineralisatie. De kunstmestbehandeling onderscheidde zich van de behandelingen met organische mest door een lagere potentiële C en N mineralisatie (van Eekeren, 2011).

Bruikbaarheid De veldrespiratie is een zeer bewerkelijke methode. De kosten voor potentiële C- en N-mineralisatie zijn nog vrij hoog. De potentieel mineraliseerbare C wordt routinematig door het Gaia-laboratorium (www.gaiabodem.nl) uitgevoerd. De potentieel mineraliseerbare N wordt routinematig met NIRS door BLGG AgroXpertus onder de naam van BFI op de markt gebracht. Voor onderzoek is het noodzakelijk om beide indicatoren te blijven meten en te ontwikkelen. Voor de praktijk zijn het vooralsnog dure analyses die overigens wel sterk gecorreleerd zijn aan het bodem organisch stofgehalte en/of N-totaal.

4.2.4 Potwormen

Potwormen zijn kleine (0,5-4 cm lange), witgekleurde wormpjes. Ze leven van bacteriën, schimmels en dood organisch materiaal. Ze eten geen levende planten en veroorzaken dan ook geen gewasschade. Ze komen vooral voor in de bovengrond (0-10cm), in humusrijke situaties of bijvoorbeeld onder een mestflat. Anders dan bij regenwormen wordt het opgenomen voedsel in de mondholte voorverteerd met enzymen. In de uitwerpselen zijn de bodemdeeltjes en het verteerde voedsel aan elkaar gebonden waardoor stabiele bodemaggregaten ontstaan. Op deze wijze wordt humus aan klei gebonden en hebben de uitwerpselen van potwormen een veel grotere stabiliteit dan bodemdeeltjes die mechanisch verkleind zijn. Vanwege de grote aantallen en vanwege de gunstige invloed op humusopbouw zijn potwormen van grote betekenis voor een vruchtbare bodem (Bokhorst en Ter Berg, 2001). Functies van potwormen zijn: i) afbreken van organisch materiaal en ii) verbeteren van de bodemstructuur door aggregaatvorming.

Meetbaarheid Potwormen worden verzameld in 3-6 steekmonsters per plot of locatie (diameter 5,8 cm, hoogte 15 cm). Voor de verwerking worden monsters opgedeeld in schijfjes van 2,5 cm en afzonderlijk geëxtraheerd volgens de gemodificeerde natte extractiemethode (Didden, 1991). Monsters kunnen geëxtraheerd en gedetermineerd worden bij het BLGG AgroXpertus of door het bodembioologische laboratorium van de WUR. Het aantal en de biomassa van potwormen kan inmiddels redelijk routinematig worden bepaald. Determinatie neemt meer tijd in beslag. Vooralsnog gaat het vooral om het aantal en de biomassa van potwormen.

Streefwaarde en bandbreedte In de referentie voor biologische bodemkwaliteit zijn mogelijke streefwaarden en de bandbreedtes voor potwormen weergegeven (Tabel 6).

Omdat voor löss/leemgronden alleen waarden voor de veehouderij beschikbaar zijn, zijn de waarden voor akkerbouw op klei en zand ook gegeven. Verdere bemonsteringen van löss/leemgronden in Vlaanderen en Nederland moeten de bandbreedte nauwkeuriger maken.

Tabel 6: Referentiewaarden en bandbreedtes voor aantallen en diversiteit van potwormen per m² op een aantal grondsoorten voor veehouderij en akkerbouw

Parameter	Landgebruik	Referentie	Gemiddelde	Laagste 5%	Hoogste 5%
Dichtheid	Veehouderij op löss/leem	46850	62360	45560	83340
(aantal/m ²)	Akkerbouw op klei	17500	19200	1510	53800
	Akkerbouw op zand	32505	20126	2270	82156
Diversiteit	Veehouderij op löss/leem	7,3	6,9	5,4	9
(aantal taxa/m ²)	Akkerbouw op klei	6,3	6	4	8
	Akkerbouw op zand	8,7	7,9	5,4	10,7

Beïnvloeding door management Van Eekeren et al. (2003) beschreef de invloed van bekalcken op soortensamenstelling en aantallen van potwormen. Daarnaast wordt het aantal potwormen beïnvloed door het bemestingsniveau en de diversiteit door de mestsoort. Minimale grondbewerking leidt tot een hoger aantal potwormen in de bovenste 10-15 cm van de bodem in vergelijking met gangbare grondbewerking. Compactie van de bodem vermindert de aantallen potwormen.

Bruikbaarheid Omdat potwormen een centrale rol spelen in de C en N mineralisatie van organische stof in de bodem is het meten van aantal en biomassa van potwormen een goede indicator voor C en N mineralisatie. Omdat zowel groepen met een r- als k-strategie kunnen worden onderscheiden is het bepalen van de potwormen volgens een gemodificeerde natte extractiemethode een goede indicator voor de samenstelling van de potwormen populatie. Ook reageren potwormen vrij sterk op de manier van grondbewerking.

4.2.5 Regenwormen

Regenwormen hebben invloed op meerdere bodemeigenschappen. De vertering van mest en plantenresten, opbouw van stabiele humus, vorming en instandhouding van de bodemstructuur en toegankelijk maken van de ondergrond zijn belangrijke gevolgen van wormenactiviteit. Er zijn drie verschillende groepen die elk weer andere bodemeigenschappen beïnvloeden: strooiselbewoners, bodembewoners en diepgravers.

Meetbaarheid De meest gehanteerde methode om regenwormen te meten is een plag van 20 × 20 × 20 cm uitsteken en daarin de wormen tellen, wegen en determineren. De diepte van 20 cm is een compromis tussen wat praktisch haalbaar is en waarmee toch een groot deel van de aanwezige wormen kan worden bepaald. Moeilijker te kwantificeren blijft het aantal diepgravers welke vaak

(vooral bij droogte) veel dieper zitten. Vanwege de ongelijke verdeling van regenwormen in de bodem moeten minimaal 4 plaggen per perceel/veldje worden gestoken om een representatief beeld te krijgen. Nadat de wormen uit plaggen zijn uitgezocht kunnen de aantallen, biomassa en diversiteit (aantal soorten) per m² bepaald worden.

Ter aanvulling kunnen in de profielkuil en uitgestoken kluiten wormengangen geteld worden. Dit is onder gunstige veldomstandigheden een stabiele maat voor regenwormen en relatief gemakkelijk te bepalen. Diepgravers zoals *Lumbricus terrestris* en strooiselbewoners zoals *Lumbricus rubellus*, onderhouden hun gangen, maar bodembewoners zoals *Aporectodea caliginosa* maken niet echt gangen omdat ze door de grond heen vreten (J. Faber, persoonlijke communicatie). Hetzelfde geldt voor waarnemingen aan wormenhoopjes aan de oppervlakte. In een project van Alterra-WUR is gekeken of wormenhoopjes een gemakkelijke maat voor wormenaantallen zijn. Daaruit bleek dat de productie van wormenhoopjes soortafhankelijk is. Diepgravers hebben per worm één uitgang en wormenhoopje, terwijl strooiselbewoners zoals *Lumbricus rubellus* meerdere wormengangen en hoopjes per worm kunnen hebben.

Observaties aan wormengangen en wormenhoopjes kunnen wel meegenomen worden bij de beoordeling van de kuil. Sporen van diepgravers (bijvoorbeeld de verticale wormengangen dieper dan 30 cm) zijn een goede indicator voor het herstellend vermogen van de grond en de mogelijkheid tot ontsluiting van de onderlaag voor waterdoorlaatbaarheid en beworteling. Daarnaast zijn overgangen in kleur en patronen in de bodem een indicatie van de mengactiviteit van regenwormen.

Streefwaarde en bandbreedte In de referentie voor biologische bodemkwaliteit zijn streefwaarden en bandbreedtes voor regenwormen weergegeven (Tabel 7). Omdat voor löss/leemgronden alleen waarden voor de veehouderij beschikbaar zijn, zijn de waarden voor akkerbouw op klei en zand ook gegeven. Verdere bemonsteringen van löss/leemgronden in Vlaanderen en Nederland moeten de bandbreedte nauwkeuriger maken.

Relaties met andere bodemparameters Naast relaties met bodemstructuur, bodemdichtheid en indringingsweerstand hangen wormenaantallen sterk samen met bekalking en bewerking. Relaties tussen wormenbiomassa en wormengangen zijn gevonden in een vruchtwisselingsproef in Gent en een klaverproef in Marle. Meer wormengangen leiden tot een verbetering van de waterregulatie door een hogere waterinfiltratie (Bouché en Al-Addan, 1997).

Beïnvloeding door management Regenwormen zijn gevoelig voor verstoring door bijvoorbeeld ploegen en graslandscheuren. Daardoor worden in de akkerbouw duidelijk minder wormen gevonden dan onder grasland. Een vruchtwisselingsproef in Gent liet duidelijk zien dat wormen zich langzaam herstelden na intensieve akkerbouw en dat wormen na intensief ploegen snel verdwenen (van Eekeren, 2011). Een voedselrijk milieu heeft een positieve uitwerking op wormenaantallen dat terug te zien was in de relatie tussen doorworteling en wormenaantallen (van Eekeren, 2011).

In verschillende Nederlandse proeven met niet-kerende en minimale grondbewerking kwam het positieve effect daarvan op aantallen regenwormen het duidelijkst naar voren. Rust (niet meer ploegen) en voedsel (gewasresten) waren daar waarschijnlijk de belangrijkste redenen voor.

Tabel 7: Referentiewaarden en bandbreedtes voor aantallen en diversiteit van regenwormen op een aantal grondsoorten voor veehouderij en akkerbouw

Parameter	Landgebruik	Referentie	Gemiddelde	Laagste 5%	Hoogste 5%
Dichtheid (aantal/m ²)	Veehouderij op löss/leem	336	283	148	502
	Akkerbouw op klei	200	212	12	440
	Akkerbouw op zand	77	30	0	118
Diversiteit (aantal taxa/m ²)	Veehouderij op löss/leem	7	5,5	3,4	7,3
	Akkerbouw op klei	4,2	4,4	1,3	7,9
	Akkerbouw op zand	2,8	1,8	0	4,7

Bruikbaarheid Het bepalen van wormenaantallen en -biomassa kost veel tijd en er is vaak veel variatie in een perceel en over seizoenen. Voor een vergelijking van percelen op één moment of een vergelijking van behandelingen bij experimenten is het aantal wormen wel als indicator te gebruiken. Voor de praktijk geven visuele observaties zoals aanwezigheid van (groepen) wormen, wormengangen en wormenhoopjes wel een snelle indicatie van de wormenactiviteit.

Referenties

Bloem J, Vos A 2004. Fluorescent staining of microbes for Total direct counts. In: Kowalchuk GA, de Bruijn FJ, Head IM, Akkermans ADL, van Elsas JD (Eds), *Molecular Microbial Ecology Manual*, 2nd edition, pp. 861-874. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Bloem J, Schouten AJ, Sorensen SJ, Rutgers M, van der Werf A, Breure AM 2006. Monitoring and evaluating soil quality. In: Bloem, J., Hopkins, D.W., Benedetti, A. (Eds), *Microbiological Methods for Assessing Soil Quality*, pp. 23-49. CABI, Wallingford, UK.

Bokhorst JG, ter Berg C 2001. *Cursusmateriaal Kijken naar grond*. Gaia en Coen ter Berg Advies, Driebergen.

Bongers T 1990. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia* 83, pp. 14-19.

Bouché MB, Al-Addan F 1997. Earthworms, water infiltration and soil stability: some new assessments. *Soil Biol. Biochem.* 29, 441-452.

Canali S, Benedetti A 2006. Soil nitrogen mineralization. In: Bloem J, Hopkins DW, Benedetti A (Eds), *Microbiological Methods for Assessing Soil Quality*, CABI, Wallingford, UK, pp. 127-135.

Didden WAM 1991. Population ecology and functioning of Enchytraeidae in some arable farming systems. *Proefschrift Wageningen Universiteit*. Pp 116.

Eekeren N van, Heeres E, Smeding FW 2003. *Leven onder de graszode: discussiestuk over het beoordelen en beïnvloeden van bodemleven in de biologische melkveehouderij*. Louis Bolk Instituut.

Eekeren N van 2011. *Grasland management, soil biota and ecosystem services in sandy soils*. Thesis, Wageningen University, Wageningen.

Oostenbrink M 1960. Estimating nematode populations by some selected methods. In: Sasser J, Jenkins WR (Eds), *Nematology*. Chapel Hill, University of North Carolina Press, pp. 85-102.

Rutgers M, Mulder CF, Schouten AJ 2007. *Typering van bodemecosystemen in Nederland met tien referenties voor biologische bodemkwaliteit*. RIVM Rapport 607604008/2007.

Zanen M, Belder P, Cuijpers W, Bos M 2011. *Duurzaam bodembeheer & Functionele Agrobiodiversiteit in de bodem*. Activiteit 4 van het Interregproject BodemBreed. Louis Bolk Instituut, Driebergen.

Zanen M, Belder P, Bos M, ter Berg C 2011. Veldmetingen bij niet-kerende grondbewerking en ploegen: het effect op bodemleven en bodemfuncties. Activiteit 4 van het Interregproject BodemBreed. Louis Bolk Instituut, Driebergen.

Bijlage 1: 50 bodemparameters gekoppeld aan de 10 bodemfuncties

De onderstaande tabel geeft de 50 parameters waarvan de BoBi-werkgroep de indicatorwaarde voor de 10 bodemfuncties heeft onderzocht (veldwerk, literatuuronderzoek) en beoordeeld (*expert judgment*). Hierbij is nog geen rekening gehouden met eventueel (te) hoge analysekosten. Bron: Rutgers et al. 2005. Typeringen van bodemecosystemen - Duurzaam bodemgebruik met referenties voor biologische bodemkwaliteit. RIVM rapport 607604007/2005.

	Geen indicator		Sterke indicator							
Parameter	1. nutriënten retentie en levering	2. bodemstructuur, stabiele aggregaten en profielontsluiting	3. ziekten en plaagwering	4. weerstand tegen stress, herstelvermogen	5. adaptatie en veerkracht, veranderbaarheid	6. fragmentatie en mineralisatie van organische stof	7. zelfreinigend vermogen, schoon grondwater	8. waterretentie, opnemen, vasthouden, doorlaten	9. Klimaatfuncties (luchtfILTER, broeikasgassen, temperatuur, vocht)	10. biodiversiteit (buitencategorie, geen gebruiksfunctie sensu stricto)
1 omvang bacteriegemeenschap (biomassa)										
2 groeisnelheid bacteriën										
3 potentiële C-mineralisatie										
4 potentiële N-mineralisatie (incl. anaerob)										
5 genetische diversiteit bacteriën										
6 fysiologische diversiteit bacteriën										
7 verhouding bacteriën organische stof]										
8 basal-respiratie/substraat-geïnduceerde-respiratie										
9 omvang schimmelgemeenschap (biomassa)										
10 fractieactieve schimmelbiomassa										
11 fysiologische diversiteit schimmels										
12 verhouding bacteriebiomassa/schimmelbiomassa										
13 mycorrhizaschimmels]										
14 omvang protozoengemeenschap]										
15 diversiteit protozoengemeenschap]										
16 omvang nematodengemeenschap (aantallen)										
17 diversiteit nematoden										
18 plantparasitaire nematoden]										
19 omvang potwormengemeenschap										
20 diversiteit potwormen										
21 omvang regenwormengemeenschap										
22 diversiteit regenwormen										
23 omvang micro-arthropodengemeenschap										
24 diversiteit micro-arthropoden										
25 stabiliteit (voedselwebpyramide)										
26 stabiliteit (allometrische relaties)										
27 potentieel productievermogen (allometrische relaties)										
28 biodiversiteit bodem organismen integraal										
29 zuurgraad (pHx)										
30 totaal N										
31 totaal P										
32 wateroplosbaar P (Pw) en/of extraheerbaar P (PAI)										
33 zwaremetalen										
34 bestrijdingsmiddelen										
35 uitspoeling gehalten nutriënten in grondwater										
36 uitspoeling gehalten verontreinigingen in grondwater										
37 bulkdichtheid										
38 indringweerstand										
39 gehalte organische stof										
40 C/N ratio organische stof										
41 %leefruimte (water+lucht)										
42 grondwaterstand										
43 waterdoorlatendheid										
44 doorworteling										
45 diversiteit										
46 primaire productie										
47 Veebezetting										
48 Mest aan- en afvoer (hoeveelheid en soort)										
49 Frequentie graslandvernieuwing										
50 rotatie en vruchtwisseling										

Bijlage 2: Enquête voor prioritering bodemfuncties

INTERREG BodemBreed: Uw waardering van functies van de bodem

- **Verdeel 30 punten over de 10 onderstaande bodemfuncties**
- **Geef per functie een waarde van minimaal 1 (= niet zo belangrijk voor mij/mijn achterban) en maximaal 5 (= zeer belangrijk voor mij/mijn achterban)**

Naam:		Waardering
Beroep/organisatie:.....		
Bodemfunctie:		
Bodemvruchtbaarheid	a. nutriënten retentie en levering	
	b. bodemstructuur, stabiele aggregaten en profielontsluiting	
	c. ziekten en plaagwering	
Weerstand, adaptatie en veerkracht	a. weerstand tegen stress, veerkracht en herstelvermogen	
	b. adaptatie, flexibiliteit en veranderbaarheid van het bodemgebruik	
Buffer en reactorfunctie	a. fragmentatie en mineralisatie van organische stof	
	b. zelfreinigend vermogen, schoon grondwater	
	c. waterhuishouding	
	d. klimaatfuncties (luchtfILTER, broeikasgassen, temperatuur, vocht)	
X. Biodiversiteit		