

*Beoordeling bodemkwaliteit
zandgrond*

*Een inventarisatie van
bodemindicatoren voor de
veehouderij*

*Nick van Eekeren
Jan Bokhorst*

Zorg voor Zand Rapport nr. 7

LOUIS BOLK
I
N
S
T
I
T
U
T

 ANIMAL SCIENCES GROUP
WAGENINGEN UR

nmi 

© 2009 Louis Bolk Instituut

Beoordeling bodemkwaliteit zandgrond:

Een inventarisatie van bodemindicatoren in de veehouderij

Nick van Eekeren en Jan Bokhorst

Aantal pagina's: 61

Rapportnummer LV 77

Trefwoorden: bodemkwaliteit zandgrond melkveehouderij indicatoren

Louis Bolk Instituut

Hoofdstraat 24

3972 LA Driebergen

www.louisbolk.nl

Zorg voor Zand Rapport nr. 7

Voorwoord

Bodemkwaliteit staat in de landbouw, maar vooral ook in de melkveehouderij, sterk in de belangstelling. Door aanscherpingen in beleid en daardoor dalende (kunst)mest giften wordt het steeds belangrijker om de natuurlijke bodemvruchtbaarheid te benutten en op peil te houden. Dat bodemkwaliteit steeds meer een onderscheidende rol vervult bij de productie van goed ruwvoer staat vast. Maar wat dan precies "bodemkwaliteit" is, hoe je het meten kunt en hoe je het sturen kunt is nog steeds erg lastig. Bodemkwaliteit is een complex begrip waarop vele factoren van invloed zijn. Daarnaast zijn effecten op bodemkwaliteit vaak pas op lange termijn zichtbaar.

Het project "Zorg voor Zand" levert een bijdrage aan het ontwikkelen van kennis en identificatie van maatregelen om bodemkwaliteit en daarmee de grasopbrengst op zandgrond te kunnen sturen en verbeteren. Daarvoor is het begrip "Bodemkwaliteit" uitgediept en heeft het handen (indicatoren) en voeten (maatregelen) gekregen. Hiervoor is het perspectief van een reeks indicatoren onderzocht om "bodemkwaliteit" te kunnen meten en beoordelen. Ook zijn maatregelen onderzocht om "bodemkwaliteit" te kunnen sturen en managen en daarmee te komen tot een hoger bedrijfsrendement. Anno 2009 zeer relevant voor de melkveehouderij op minerale gronden in heel Nederland, maar vooral voor de (armere) zandgronden.

"Zorg voor Zand" is een samenwerkingsproject van Nutriënten Management Instituut (NMI), Animal Sciences Group (ASG-WUR) en het Louis Bolk Instituut (LBI). Het project liep van 2004-2008 en is gefinancierd door het Productschap Zuivel.

Dit rapport beschrijft indicatoren en bijbehorende streefwaarden voor bodemkwaliteit. Het betreft abiotische en biotische indicatoren afzonderlijk maar ook in relatie tot elkaar. Een verdieping op wat we kunnen meten en zien/beoordelen aan bodemkwaliteit in relatie met werkelijke benutting en opbrengst. Een absolute aanvulling op de kennis tot nu toe en een extra hulpmiddel in te toekomst voor veel graslandbedrijven.

Naast deze afrondende rapportage rond indicatoren voor de beoordeling van bodemkwaliteit verschijnt er ook een afrondende rapportage rond organische stof "Schatting van C en N-mineralisatie met indicatoren voor labiele organische stof en stikstof (Zorg voor Zand rapport nr. 6)". Vorig jaar verscheen een praktijkbrochure "Van Schraal naar Rijk Zand". Als projectteam Zorg voor Zand hopen we hiermee collega onderzoekers en adviseurs in het veld te inspireren en te ondersteunen in hun verdere werk.

Voor de uitvoering van dit onderzoek en het gehele project "Zorg voor Zand" is samengewerkt met diverse andere onderzoekers, deskundigen en melkveehouders. Vanaf deze plaats dank ik allen voor zijn of haar bijdrage aan het thema "Bodemkwaliteit".

Ing. Bert Philipsen
Projectleider Zorg voor Zand

Dankwoord

Dit rapport is een resultaat van het project "*Zorg voor Zand*" gefinancierd door het productschap Zuivel (PZ). In dit onderzoek is gewerkt aan de ontwikkeling van indicatoren voor de beoordeling van bodemkwaliteit. Het voorliggende rapport beschrijft de synthese van een aantal onderliggende onderzoeken die gerapporteerd zijn in *Zorg voor Zand* rapporten en artikelen in vakbladen en wetenschappelijke tijdschriften.

Aan het onderzoek is door een aantal mensen op één of andere manier een bijdrage geleverd. Dank gaat uit naar Bert Philipsen (ASG) voor de algehele projectleiding van "*Zorg voor Zand*", en naar Riekje Bruinenberg, Willemijn Cuijpers, Coen ter Berg en andere collega's voor de monsternamen. Voor de biologische parameters is intensief samengewerkt met het BoBi-project. Onze dank gaat uit naar de projectgroepleden; Ton Schouten (RIVM), Michiel Rutgers (RIVM), Jaap Bloem (Alterra), Gerard Jagers op Akkerhuis (Alterra), Harm Keidel (BLGG), Ron de Goede en Lijbert Brussaard (WUR-Bodemkwaliteit).

Nick van Eekeren en Jan Bokhorst,
Louis Bolk Instituut 2009

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	11
2 Werkwijze	13
3 Abiotische indicatoren	15
3.1 Organische stofgehalte en koolstof-totaalgehalte	15
3.2 N-totaalgehalte	18
3.3 Zuurgraad	20
3.4 Bodemdichtheid	21
3.5 Bodenweerstand	23
3.6 Bodemstructuur	26
3.7 Waterinfiltratie	29
4 Biotische indicatoren	31
4.1 Beworteling	31
4.2 Microbiologie; bacteriën, schimmels en mineralisatie	34
4.3 Nematoden	37
4.4 Potwormen	40
4.5 Regenwormen	42
4.6 Springstaarten en mijten	46
4.7 Koolstofrespiratie en stikstofmineralisatie	49
5 Conclusies	53
5.1 Abiotische indicatoren	53
5.2 Biotische indicatoren	53
6 Aanbevelingen	55
6.1 Praktijk	55
6.2 Onderzoek	55
Literatuur	57

Samenvatting

Inleiding

Steeds lagere bemestingsniveaus vergroten het belang van een goede bodemkwaliteit voor het bedrijfsresultaat van de melkveehouderij op zandgrond. Voor een goed management van bodemkwaliteit hebben veehouders behoefte aan:

1. Kennis over de relatie tussen bodemkwaliteit en opbrengst;
2. Indicatoren en streefwaarde om bodemkwaliteit te kunnen beoordelen;
3. Praktijkmaatregelen om bodemkwaliteit te verbeteren.

Het doel van deze studie was indicatoren met bijbehorende streefwaarden te ontwikkelen gericht op bodemkwaliteit.

Werkwijze

Geselecteerde indicatoren zijn gemeten in een aantal langjarige experimenten die ook hebben meegelopen in het onderzoek naar praktijkmaatregelen. Doel was de meetbaarheid, de bandbreedte en de stuurbaarheid van indicatoren vast te leggen. Daarnaast zijn in de zogenaamde 20 percelen proef de relaties gemeten tussen bodemkwaliteitsindicatoren en grasopbrengst.

Conclusies

Abiotische indicatoren

- Het organische stofgehalte, C-totaalgehalte, N-totaalgehalte en afgeleide indicatoren als C-percentagage en C/N-verhouding zijn basisindicatoren voor bodemkwaliteit. Ze zijn sterk gerelateerd met andere abiotische en biotische parameters, ecosysteemdiensten en het stikstofleverend vermogen van de grond oftewel de opbrengst van grasland bij 0 kg N bemesting. De C/N-verhouding van de organische stof is één van de weinig abiotische indicatoren die correleert met de respons van N-opbrengst op N-kunstmest.
- Er is een positieve relatie tussen pH en bodemstructuur en pH en biologische activiteit.. Door de geringe spreiding in de pH van de bemonsterde percelen kon geen relatie met opbrengst worden aangetoond. Naast het gehalte aan organische stof en N-totaal is de pH een van de basisindicatoren van bodemkwaliteit.
- Een routinematige bepaling van bodemdichtheid en bodemweerstand lijkt vanwege de monsterkosten en de geringe beïnvloedbaarheid door management niet zinvol. Beoordeling van de verdichting kan voor de praktijk beter visueel aan een kluit en in een kuil worden gedaan.
- De visuele beoordeling van bodemstructuur is een relatief makkelijke observatie aan een kluit en ook beïnvloedbaar is door management. Daarmee is dit één van de basisindicatoren voor de beoordeling van bodemkwaliteit in het veld.
- De waterinfiltratie is een tijdrovende analyse in het veld. De beoordeling van kuil en kluit (o.a. observaties van verdichting en wormengangen), geven ook een indruk van het infiltrerend vermogen van water.

Biotische indicatoren

- De bewortelingsintensiteit is een potentieel belangrijke indicator maar is op basis van het uitspoelen van wortels een tijdrovende analyse. Een minder tijdrovende methode als wortels tellen lijkt iets anders te meten. Mogelijk biedt de relatie met plantentende nematoden soelaas. De diepte van beworteling is makkelijk visueel vast te leggen en is op zandgrond sterk gerelateerd aan de diepte van de donkere bovenlaag.
- Activiteitsmetingen aan bacteriën en schimmels lijken het meest te zeggen over ecosysteemdiensten en opbrengst en worden het meest beïnvloed door management op landbouwgrond. Aangezien deze metingen nog niet routinematig worden uitgevoerd en daarom kostbaar zijn, is dit nog een belangrijke barrière voor de invoering van deze metingen in de praktijk.
- Aangezien nematoden in een aantal trophische niveaus van het bodemvoedselweb vertegenwoordigd zijn, is het een interessante indicator voor het functioneren van het voedselweb. Indirect zou het aantal of percentage herbivore nematoden ook een maat kunnen zijn voor de wortelbiomassa in de laag 0-10 cm. De mogelijkheden voor een routinematige bepaling maken dit op korte termijn tot een zeer waardevolle laboratoriummethode voor biologische bodemkwaliteit.
- Potwormen lijken redelijk uniek in het voorspellen van de respons van de N-opbrengst van gras op N-kunstmest. Dit in combinatie met het gegeven dat potwormen redelijk makkelijk zijn te extraheren, maakt dit een indicator met veel potentie die nader onderzocht moet worden.
- Met name voor het onderhoud van de bodemstructuur onder blijvend grasland lijken wormen cruciaal. De indicatoren wormenaantallen en wormenbiomassa kosten veel tijd en zijn door de variatie in een perceel en over het seizoen slecht reproduceerbaar. Voor de praktijk geven de verschillende visuele observaties met betrekking tot regenwormen een aantal handvatten (bijvoorbeeld: wel of geen aanwezigheid van wormen, groepen wormen, wormengangen ondiep en op diepte, wormenhoopjes etc.).
- Er zijn aanwijzingen dat aantallen en/of percentages springstaarten en mijten een indicator zijn voor een goed of slecht functionerend voedselweb onder grasland.

Aanbevelingen

Praktijk

- Leg bij de interpretatie van de uitslag van de bodemanalyse nog meer de nadruk op de uitkomsten van het gehalte aan organische stof, C-totaal, N-totaal en afgeleide parameters als C-percentages en C/N-verhouding en op de mogelijkheden tot beïnvloeding door management. Door veel veehouders wordt bij de interpretatie van bodemanalyses de nadruk gelegd op bijvoorbeeld elementen als natrium terwijl het stikstofleverend vermogen niet wordt gebruikt.
- Maak meer gebruik van het C/N-verhouding van de bodem als criterium om al dan niet klaver te telen.
- Gebruik de observaties aan de bodemstructuur van een kluit als basis voor de beoordeling in het veld. Probeer deze met bijvoorbeeld een keukenweegschaal te kwantificeren.
- Maak observaties in de kuil aan worteldiepte en observeer het aantal levende (witte) en dode (bruine) wortels op de verschillende dieptes (10 cm, 20 cm, 30 cm en 40 cm).

- Beoordeel de hoeveelheid strooisel, het aantal wormenhoopjes en wormengangen aan de bodemoppervlakte. Beoordeel bij een kluit of er wel of geen wormen, wormengroepen of wormengangen zijn. Beoordeel in de kuil sporen van wormen en wormengangen in diepere lagen.
- Het stikstofleverend vermogen oftewel de N-opbrengst bij 0 kg N bemesting is relatief goed te voorspellen uit parameters als gehalte aan organische stof en N-totaal. De grootste winst voor een betere N-benutting lijkt te zitten in de voorspelling van de respons van N-opbrengst op N-kunstmest. Hier lijken mogelijkheden te zijn voor indicatoren als potwormen en in mindere mate de C/N-verhouding. De praktijk moet onderzoek naar het voorspellende karakter van deze indicatoren stimuleren.

Onderzoek

- De relatie tussen C/N-verhouding en de respons van N-opbrengst op stikstofbemesting moet nader worden onderzocht.
- Onderzoek nader hoe het C-percentages als simpele maat voor organische stofkwaliteit kan worden gebruikt.
- Meet de bodemdichtheid en bodemweerstand op een proefperceel enkel om een inschatting te kunnen maken van de toestand van het proefperceel. Voor inzicht in het effect van behandelingen zijn extreme verschillen tussen behandelingen noodzakelijk en moeten de metingen vaak herhaald worden.
- De relatie van de beworteling met plantetende nematoden moet verder worden uitgewerkt als mogelijk alternatieve methode voor de bepaling van bewortelingsintensiteit.
- Topprioriteit heeft de uitwerking van de relatie tussen potwormen en de respons van N-opbrengst op N-kunstmest.
- De indicatorfunctie van het percentage mijten voor het al dan niet functioneren van het bodemvoedselweb moet nader onderzocht worden.

1 Inleiding

Aanleiding

Steeds lagere bemestingsniveaus vergroten het belang van een goede bodemkwaliteit voor het bedrijfsresultaat van de melkveehouderij op zandgrond. In het project *Zorg voor Zand* is bodemkwaliteit gedefinieerd als: *Het vermogen van de bodem om blijvend een goede gewasproductie te realiseren bij een lage belasting van het milieu*. Sturen op bodemkwaliteit is essentieel om op korte en lange termijn een voldoende ruwvoeropbrengst en ruwvoer kwaliteit op zandgrond te garanderen. De huidige bodemkwaliteit van zandgronden neemt verder af door dalende gehalten aan organische stof, de wijze van grondgebruik en een toenemende belasting door steeds zwaarder wordend materieel. De lagere bodemkwaliteit is deels te compenseren door extra stikstofbemesting. Door het Europese milieubeleid en de Kaderrichtlijn Water neemt de toegestane stikstofbemesting evenwel af. Hierdoor wordt de lage bodemkwaliteit een beperkende factor voor de ruwvoerproductie. Volgens experts zal zonder wijzigingen in het bodembeheer de ruwvoerproductie tot 2015 met gemiddeld 3 ton drogestof per hectare (30%) dalen. Naast directe gevolgen voor de gewasopbrengst heeft een kwetsbare en instabiele bodem ook gevolgen voor stikstof- en fosfaatverliezen en praktische aspecten als berijdbaarheid.

Voor een goed management van bodemkwaliteit hebben veehouders behoefte aan:

1. Kennis over de relatie tussen bodemkwaliteit en opbrengst;
2. Indicatoren en streefwaarde om bodemkwaliteit te kunnen beoordelen;
3. Praktijkmaatregelen om bodemkwaliteit te verbeteren.

In deze studie zijn de resultaten van het onderzoek naar indicatoren en streefwaarde van bodemkwaliteit beschreven.

Doel

Het doel van deze studie is indicatoren met bijbehorende streefwaarden te ontwikkelen gericht op bodemkwaliteit. Hierbij werd enerzijds gekeken naar de bruikbaarheid van visuele scores voor bodemkwaliteit en anderzijds gekeken naar parameters die mogelijk routinematig door een laboratorium konden worden uitgevoerd. Het beoogde resultaat was dat er betrouwbare en praktisch toepasbare (laboratorium- en veld) methoden beschikbaar zijn om bodemkwaliteit (abiotisch en biotisch) te beoordelen.

2 Werkwijze

Selectie indicatoren

Selectie van perspectiefvolle indicatoren heeft plaatsgevonden uit testkits en visuele scores voor algemene bodemkwaliteit in Nederland, Amerika en Nieuw Zeeland. Daarnaast zijn perspectiefvolle indicatoren geselecteerd voor bodembioologische bodemkwaliteit.

Metingen

Geselecteerde indicatoren zijn gemeten in een aantal langjarige experimenten die ook hebben meegelopen in het onderzoek naar praktijkmaatregelen. Doel was de meetbaarheid, de bandbreedte en de stuurbaarheid van indicatoren vast te leggen. Resultaten van deze metingen zijn gerapporteerd in rapporten over praktijkmaatregelen en wetenschappelijk publicaties. In de volgende langjarige proeven zijn metingen gedaan al dan niet in het kader van Zorg voor Zand of een aanpalend project:

- Vruchtwisselingproef in Gent (van Eekeren et al., 2008);
- Bemestingsproef in Bakel (de Boer et al., 2007; van Eekeren et al., 2009a);
- Continueelt maïsproef op Aver Heino (van Schooten et al., 2006);
- Klaverproef in Marle (van Eekeren et al., 2009b);
- Spoorvormingproef op Aver Heino (de Boer en van Eekeren, 2007).

Voor een goede selectie van indicatoren ontbrak de directe relatie tussen bodemkwaliteitparameters en opbrengstparameters. Om deze relaties vast te leggen is in 2006 de zogenaamde 20 percelen proef ontworpen. In deze proef zijn de geselecteerde indicatoren gerelateerd aan opbrengstparameters. Deze proef is onder andere gerapporteerd in van Eekeren et al., 2009c.

Synthese

In dit rapport vindt een synthese plaats van de gemeten indicatoren. Er is gekeken naar:

- Streefwaarde en bandbreedte;
- Relaties met andere bodemparameters;
- Relatie met ecosysteemdiensten (water regulatie, onderhoud van bodemstructuur en nutriënten levering) en/of grasland opbrengst;
- Beïnvloeding door management;
- Meetbaarheid van de indicator.

Indicatoren zijn opgedeeld in:

- Hoofdstuk 3 Abiotisch
- Hoofdstuk 4 Biotisch

3 Abiotische indicatoren

3.1 Organische stofgehalte en koolstof-totaalgehalte

Algemeen

Het organische stofgehalte is een vast onderdeel van de meeste bodemanalyses. De kaliumbemesting en de bekalking worden mede bepaald door de hoogte van het organische stofgehalte. Organische stof in de bodem beïnvloedt de beschikbaarheid van vocht, voedingsstoffen en lucht voor de plantenwortel. Per 1% organische stof in de laag 0-10 cm onder grasland kan worden gerekend op 25 kg stikstoflevering en 6 mm meer beschikbaar bodemvocht. Het C-totaalgehalte zegt iets over de kwaliteit van de organische stof. Des te hoger het percentage koolstof, des te zwarter wordt de organische stof. Koolstofrijke organische stof is vaak van hoge ouderdom en stabiel. Deze draagt wel bij aan het vochthoudend vermogen van de grond, maar is voor het bodemleven geen voedingsbron van betekenis.

Analysemethode

Het organische stofgehalte is door BGG bepaald via de methode van gloeiverlies. Een deel van de organische stof bestaat uit koolstof (50-60%). Het gehalte aan totaal koolstof is via de C-elementaire methode bepaald.

Streefwaarde en bandbreedte

Op zandgrond zijn er grote verschillen in hoogte van het organische stofgehalte. Het gehalte varieert globaal tussen de 2 en 10 %. In het algemeen geldt: des te hoger het organische stofgehalte, des te beter. Bij een zeer hoog organische stofgehalte wordt echter de draagkracht minder en treedt snel vertrapping op. Op zandgronden waar in het verleden veen is afgegraven (bijvoorbeeld de Peel) kan het organische stofgehalte hoger zijn dan 10%. Vaak is een groot deel hiervan zeer stabiele organische stof. Afhankelijk van de grondsoort bestaat de helft van de organische stof uit koolstof. Dit is de C-totaal. Het werkelijke C-totaal percentage van de organische stof kan echter variëren tussen de 50 en 60%. Een laag C-percentages, dus in de buurt van de 50%, is gunstig, 60% is te hoog. Bij een hoog C-totaal gehalte van een zandgrond is de grond vaak zwart en smerend en is het moeilijker om een goede bodemstructuur te krijgen.

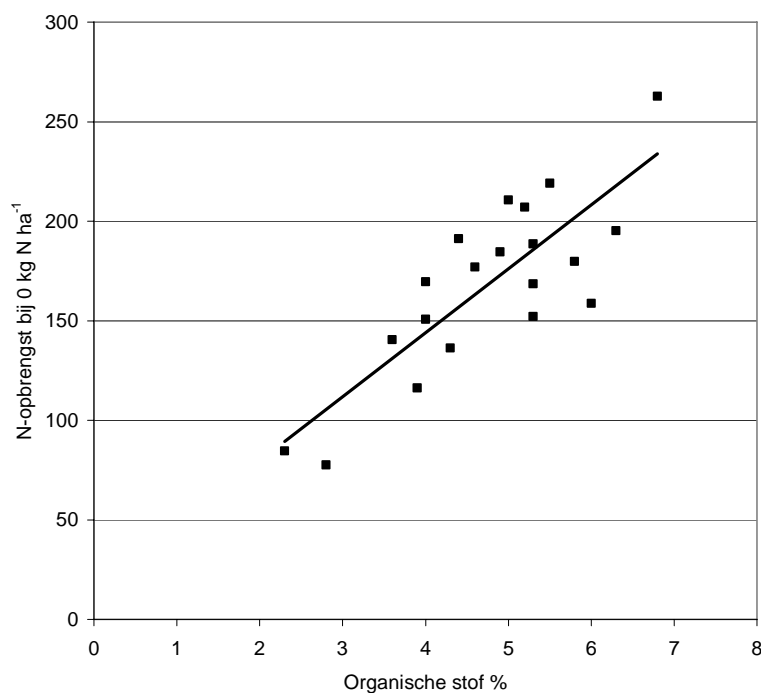
Relatie met andere bodemparameters

Organische stof speelt een centrale rol in de bodemkwaliteit en heeft invloed op chemische, fysische en biologische bodemparameters en is dan ook vaak met deze parameters gerelateerd (zie ook Relaties met ecosysteemdiensten en opbrengst). In de 20 percelen proef waren correlaties met parameters zoals HWC ($r=+0.85$), N-totaal ($r=+0.78$), vochtgehalte ($r=+0.63$), potentiële mineraliseerbare N ($r=+0.62$) en bodemdichtheid ($r=-0.56$), maar ook met bodembioologische parameters zoals nematodendichtheid ($r=+0.60$) en potwormen dichtheid ($r=+0.51$). Aangezien de C-totaal ca. 50% van de organische stof is, was de correlatie in deze proef tussen beide parameters hoog namelijk

$r=+0.92$. Interessant is dat het C% (C-totaal/organische stof) negatief gecorreleerd was met het percentage springstaarten ($r=-0.51$) en positief met het aantal mijten ($r=+0.52$) (Van Eekeren et al., 2009c). Aangezien een hoog percentage mijten indicatief lijkt te zijn voor een bodemvoedselweb met een onevenwichtige decompositie met ophoping van strooisel (Smeding et al., 2005) kan dat mogelijk de positieve relatie verklaren met het C% van de organische stof.

Relaties met ecosysteemdiensten en opbrengst

Organische stof kwantiteit en kwaliteit spelen een belangrijke rol in de ecosysteemdiensten van onderhoud van bodemstructuur en nutriëntenlevering. In de 20 percelen proef was het organische stofgehalte de beste voorspeller van de N-opbrengst bij 0 kg N ha^{-1} ($\text{cvR}^2=0.59$, $P=0.001$, Figuur 3.1.1). Normaliter wordt de vuistregel aangehouden dat elke % organische stof 25 kg N ha^{-1} levert. In deze proef leverde elke % organische stof 32 kg N ha^{-1} op. Het verschil tussen de gemeten N-opbrengst bij 0 kg N ha^{-1} in de 20 percelen proef en de ingeschatte NLV vanuit N-totaal werd significant verklaard door het vochtpercentage in de grond en het C-percentage van de organische stof (van Eekeren et al., 2009c).



Figuur 3.1.1: Relatie tussen organische stof en N-opbrengst bij 0 kg N ha^{-1} in de 20 percelen proef (van Eekeren et al., 2009c).

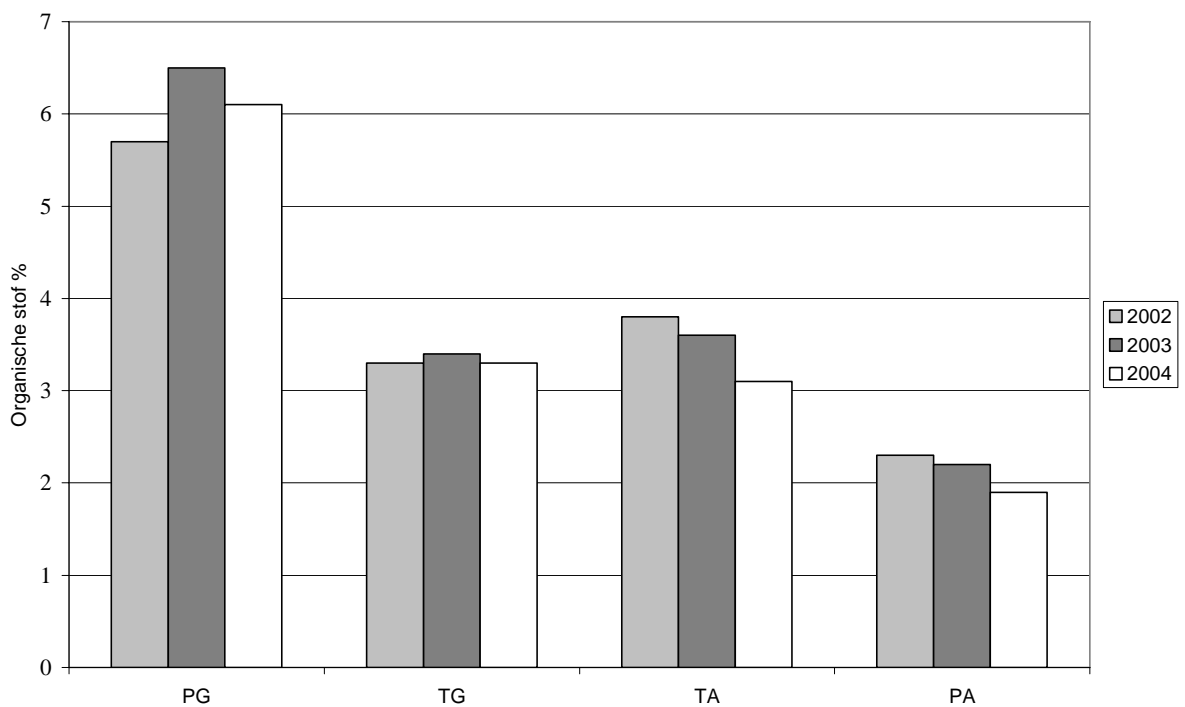
Beïnvloeding door management

Het al dan niet scheuren van grasland is heel belangrijk voor het behoud van organische stof in de laag 0-10 cm. In figuur 3.1.2 is het verloop van het organische stofgehalte te zien in de laag 0-10 cm onder oud grasland, tijdelijk grasland na 3 jaar maïs, 3 jaar maïs na tijdelijk grasland en continueelt maïs. Bij grondbewerking komt lucht in de

grond en wordt de afbraak van organische stof gestimuleerd. Daarnaast wordt een gedeelte van de opgebouwde organische stof over diepere bodemlagen verdeeld waardoor het gehalte in de laag 0-10 cm ook lager wordt.

De bemestingsproef in Bakel heeft laten zien dat na het gebruik van 5 jaar organische mest, de organische stofgehalten in de laag 0-10 cm significant hoger zijn dan bij bemesting met kunstmest of geen bemesting. Tussen de verschillende organische mestsoorten runderdrijfmest, gecomposteerd bermmaaisel met drijfmest en potstalmest, zat geen verschil in organische stofgehalte (van Eekeren et al., 2009a). Gezien de hoeveelheid effectieve organische stof in runderdrijfmest is er 400 m³ drijfmest nodig om 1 % organische stof op te bouwen in de laag 0-10 cm.

De continueelt mais proef op Aver Heino (Berkendijkproef) heeft laten zien dat de teelt van een groenbemester wel stikstof levert aan het maisgewas na de teelt maar niet bijdraagt aan de opbouw van organische stof op langere termijn (van Schooten et al., 2006).



Figuur 3.1.2: Verloop van organische stofgehalte onder oud grasland (PG), tijdelijk grasland na 3 jaar mais (TG), 3 jaar mais na tijdelijk grasland (TA) en continueelt mais (PA)

Meetbaarheid van de indicator

Beide methoden (organische stof en C%) kunnen routinematig in een laboratorium worden uitgevoerd tegen lage kosten. Enkel de meefout in de organische stof bepaling is relatief groot en kan op zandgrond oplopen tot verschillen van 20%.

Bruikbaarheid van de indicator

De analysekosten, de relatie met andere bodemparameters en de relatie met ecosysteemdiensten en opbrengst maken dat het organische stofgehalte een buitengewoon belangrijke indicator is. In module 1 van het Project Zorg voor Zand is daarom ook extra aandacht aan de organische stofgehalte en -kwaliteit geschonken. In grote lijnen zijn organische stof en C-totaal uitwisselbaar. Het C-percentages van de organische stof zou mogelijk nog als indicator voor de kwaliteit van de organische stof kunnen dienen.

3.2 N-totaalgehalte

Algemeen

In het huidige bemestingsadvies wordt op basis van het N-totaalgehalte in de grond het stikstofleverend vermogen van de grond bepaald (www.bemestingsadvies.nl). Het stikstofleverend vermogen is onderdeel van de natuurlijke vruchtbaarheid van een bodem. Door rekening te houden met de hoeveelheid stikstof die de grond zelf levert kan er efficiënter bemest worden. Dit geeft een betere gewaskwaliteit, lagere bemestingskosten en minder verliezen naar het milieu.

Analysemethode

Het gehalte aan totaal stikstof is door BLGG bepaald met de N-elementaire methode.

Streefwaarde en bandbreedte

Op zandgrond zijn er grote verschillen in hoogte van het stikstofleverend vermogen (50-200 kg N per hectare). Net zoals bij het organische stofgehalte geldt: des te hoger het stikstofleverend vermogen, des te beter. Let wel:

- Met de huidige bemonsteringsdiepte (0-10 cm) wordt er vanuit gegaan dat er alleen stikstof uit die laag benut wordt, terwijl dit bij een diepere beworteling meer kan zijn.
- Naast de hoeveelheid gemeten organische stikstof in de bodem hebben bodemstructuur en bodemleven invloed op de hoeveelheid stikstof die uiteindelijk vrijkomt. Hierdoor kan de hoeveelheid daadwerkelijk opgenomen stikstof hoger of lager liggen dan het getal op de analyse-uitslag.
- NLV zegt niets over het moment in het jaar waarop het vrijkomt. Op een hoog gelegen droge zandgrond (snelle opwarming) zal dit eerder in het jaar zijn dan op een laag gelegen vochtige zandgrond (trage opwarming). Vertaling van het stikstofleverend vermogen naar een bemestingsplan moet dus altijd in relatie tot de omstandigheden (o.a. bodemtemperatuur) gebeuren.

Relaties met andere bodemparameters

N-totaal is sterk gerelateerd aan de organische stof ($r=+0.88$ in 292 proefplotjes op grasland en $r=+0.78$ in de 20 percelenproef) en dus ook aan C-totaal. In de verschillende proeven is N-totaal ook sterk gerelateerd aan de potentiële mineraliseerbare C ($r=+0.69$ in 262 proefplotjes in grasland en $r=+0.70$ in 20 percelenproef) en potentieel

mineraliseerbare N ($r=+0.33$ in 144 proefplotjes in grasland en $r=+0.83$ in 20 percelenproef). Beide parameters kunnen in de 20 percelenproef dan ook significant voorspeld worden uit een regressiemodel met alleen N-totaal ($cvR^2=0.36$, $P=0.016$ voor potentieel mineraliseerbare C en $cvR^2=0.61$, $P=0.001$ voor potentieel mineraliseerbare N).

Relaties met ecosysteemdiensten en/of opbrengst

Zoals al geschetst bij de relaties met andere bodemparameters, is N-totaal een belangrijke voorspeller van de potentiële mineraliseerbare C en N en kan als indicator fungeren voor de ecosysteemdienst nutriëntenlevering. Samen met het organische stofgehalte en vochtpercentage, is N-totaal in de 20 percelenproef een belangrijke voorspeller van de N-opbrengst bij 0 kg N ha^{-1} (van Eekeren et al., 2009c). Aangezien in het huidige bemestingsadvies al sinds de vorige eeuw het stikstofleverend vermogen van een grond zonder bemesting wordt berekend vanuit N-totaal, is dit een bevestiging van de huidige kennis. Opvallend was dat in de 20 percelenproef het berekende stikstofleverend vermogen uit N-totaal tot 4.5% organische stof het werkelijke stikstofleverend vermogen overschat en boven 4.5% organische stof het werkelijke stikstofleverend vermogen onderschat. Daarnaast is het opvallend dat organische stofgehalte, vochtpercentage en N-totaal zeer goede voorspellers zijn van de N-opbrengst bij 0 kg N ha^{-1} maar dat ze geen voorspellende rol hebben in de respons van DS- en N-opbrengst op N-kunstmest. Van de abiotische parameters had wat dit betreft de C/N-verhouding de hoogste correlatie ($r=-0.62$) (van Eekeren et al., 2009c).

Beïnvloeding door management

In grote lijnen komen de managementmaatregelen om het totaal-N gehalte te beïnvloeden overeen met het organische stofgehalte. Door intensieve grondbewerking te minimaliseren, blijft organische stof en daarmee het stikstofleverende vermogen behouden (van Eekeren et al., 2008). In de bemestingsproef in Bakel was er na 5 jaar een hoger N-totaalgehalte in de bodem met alleen organische mest in vergelijking tot geen mest en kunstmest (van Eekeren et al., 2009a).

Meetbaarheid van de indicator

De meting van het N-totaalgehalte kan routinematig uitgevoerd worden en is goed reproduceerbaar. De variatie door het jaar is gering en valt in het algemeen binnen de meetfout. Bij het volgen van ontwikkelingen gedurende meerdere jaren spelen bemonsteringsproblemen nog wel vaak een rol.

Bruikbaarheid van de indicator

Naast organische stof en pH is N-totaal een basisindicator voor bodemkwaliteit. Met C/N-verhouding op de huidige bodemanalyse moet meer gedaan worden. Hoewel met C/N-verhouding geen significant model kon worden gevormd voor de voorspelling van de response van N-opbrengst op N-kunstmest (dit in tegenstelling tot potwormen zie paragraaf 4.4.) moet toch nader onderzoek worden gedaan naar de gevonden correlatie (van Eekeren et al., 2009c). Mogelijk zou een hoge C/N-verhouding (>20) op zandgrond een indicatie kunnen zijn om geen kunstmest meer op een dergelijk perceel te strooien en te gaan voor het gebruik van grasklaver.

3.3 Zuurgraad

Algemeen

De zuurgraad is een vast onderdeel van bijna alle bodemanalyses. Een te lage pH-waarde geeft een verdichte grond, beperkt de biologische activiteit en de levering van nutriënten. De pH is daarom een van de basisindicatoren voor bodemkwaliteit.

Analysemethode

De zuurgraad is door het BLGG bepaald door de concentratie van de H⁺-ionen te meten in een KCl-extract.

Streefwaarde en bandbreedte

Voor zandgrond worden de streefwaarden zoals in tabel 3.3.1 zijn weergegeven aangehouden.

Tabel 3.3.1: Streefwaarde voor pH-KCl

Streeftraject	pH (KCl)
Gras	4,8-5,5
Grasklaver	5,2-5,5
Bouwland	5,2-5,7

Zie ook www.bemestingsadvies.nl

Relaties met andere bodemparameters

In 275 metingen in proefplotjes met gras is de dichtheid negatief gecorreleerd met de pH ($r=-0.45$). Dit bevestigt de samenhang van pH met de bodemstructuur. Daarnaast neemt in individuele proeven de bacteriële activiteit met een stijging van de pH toe (de Vries et al., 2006).

Relatie met ecosystemendiensten en/of opbrengst

In de 20 percelen proef was de variatie in pH tussen de percelen te klein om een uitspraak te doen over de relatie met ecosystemendiensten en/of opbrengst.

Beïnvloeding door management

De zuurgraad is direct te beïnvloeden door bekalken. In de bemestingsproef van Bakel kwam ook duidelijk naar voren dat organische mest het zuur worden van de grond vertraagd en bij ruime gift de pH-waarde zelfs verhoogd (van Eekeren et al., 2009a). Net zoals de meeste kunstmeststikstof verzuurd de stikstofbinding van klaver de grond (de Vries et al., 2006) (van Eekeren et al. 2009d).

Meetbaarheid van de indicator

De methode kan tegen lage kosten in een laboratorium worden uitgevoerd. De methode is goed reproduceerbaar. Er is een beperkte variatie door het jaar door wisselingen in zoutgehalte. Door te analyseren in een zoutoplossing (KCL 0,1 N) wordt dit voor een deel opgevangen.

Bruikbaarheid van de indicator

Methode is routinematig te bepalen. Doordat percelen in de 20 percelenproef een redelijke pH hadden is relatie met opbrengst niet gelegd maar is wel algemeen bekend. Relatie met bodemstructuur en bodembiologische activiteit is gelegd. Samen met organische stof en N-totaal is pH-waarde één van de basisindicatoren van bodemkwaliteit .

3.4 Bodemdichtheid

Algemeen

De dichtheid wordt uitgedrukt in gram droge grond per cm³. Wanneer de grond voor 100% uit zand zou bestaan, zou er ongeveer 2.7 gram per cm³ aanwezig zijn. De gevonden waarde is altijd lager omdat er ook lucht in de grond zit. De dichtheid is daarmee ook een maat voor het luchtgehalte. Naast minerale delen zit er ook organische stof in de grond met een dichtheid van ca. 1 g per cm³. Veel organische stof betekent dus automatisch een lagere dichtheid. Een lage dichtheid betekent voldoende ruimte voor de wortels om de grond in te dringen, maar ook voldoende beschikbaarheid van zuurstof. Zuurstof is erg belangrijk voor de wortelgroei, opname van voedingsstoffen, en voor een groot deel van het bodemleven. Een deel van het bodemleven kan onder zuurstofarme omstandigheden leven, maar vormt daarbij stoffen die voor de plant giftig kunnen zijn.

Analysemethode

Met een metalen ring of een PVC-buis met een vaste inhoud wordt een ongestoord monster uit de grond genomen en gedroogd. Gebruikelijk is om de laag 5-10 cm diepte te bemonsteren, om de strooisellaag te vermijden.

Streefwaarde en bandbreedte

De dichtheid moet steeds in relatie tot het organische stofgehalte beoordeeld worden. Het bemestingsadvies rekent met $dichtheid = 1/0.02525 * \text{gehalte organische stof} + 0.6541$ (www.Bemestingsadvies.nl). In de verschillende proefplotjes in grasland beoordeeld voor dit onderzoek is de correlatie tussen organische stof en dichtheid, -0.48 (P<0.001, berekent op 200 proefplotjes, per plotje zijn 3 metingen gedaan).

Tabel 3.4.1: Streefwaarde bodemdichtheid (g per m³) op basis van organische stofgehalte

% organische stof 0-10 cm	Streefwaarde bodemdichtheid bemestingsadvies	Streefwaarde bodemdichtheid 5-10 cm
2	<1.42	<1.45
4	<1.32	<1.36
6	<1.24	<1.27
8	<1.17	<1.18

Relaties met andere bodemparameters

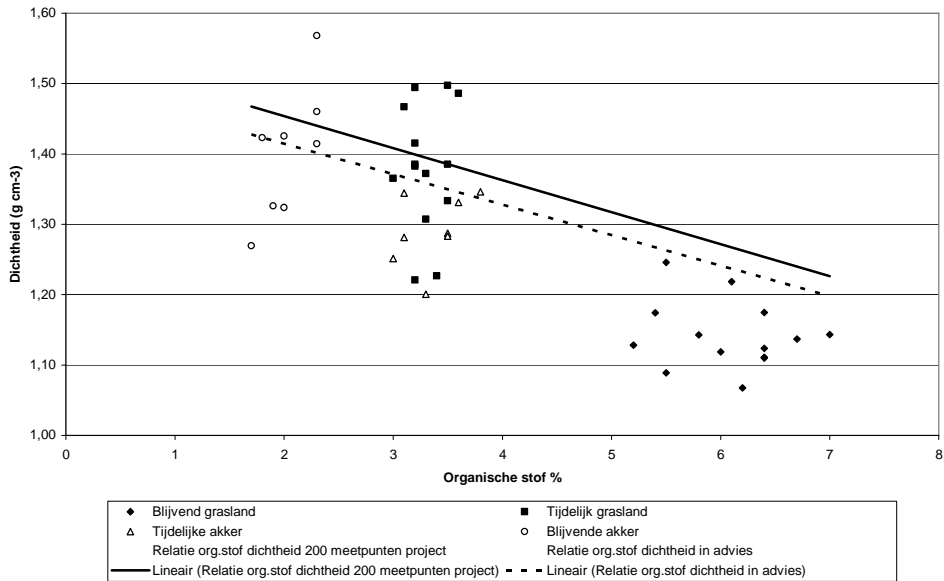
Zoals al aangegeven is er een correlatie tussen organische stofgehalte en bodemdichtheid. In de 20 percelen proef (van Eekeren, 2009c) werd de bodemdichtheid in belangrijke mate verklaard door de "Hot Water Carbon" (HWC) een fractie van de organische stof en sterk gecorreleerd met organische stof (correlatie met HWC $r=-0.64$ en organische stof $r=-0.56$). Daarnaast was het gecorreleerd met de bodemweerstand in de laag 20-30 cm en 30-40 cm ($r=+0.53$ en $r=+0.5$ respectievelijk). In de bemestingsproef in Bakel was de bodemdichtheid in de laag 5-10 cm gecorreleerd met de bodemweerstand in de laag 0-10 cm ($r=+0.72$) (van Eekeren et al., 2009a).

Relatie met ecosystemendiensten en opbrengst

Bodemdichtheid kan als indicator dienen voor de ecosystemendienst onderhoud van bodemstructuur. In de 20 percelen proef was er een negatieve correlatie tussen bodemdichtheid en N-opbrengst bij 0 kg N ha⁻¹ ($r=-0.46$) maar bodemdichtheid speelde geen rol in de voorspelling van grasopbrengst.

Beïnvloeding door management

Bij een proef naar spoorvorming bij zodebemesten had het bereiden oppervlakte eenzelfde bodemdichtheid dan het onbereiden oppervlakte (de Boer en van Eekeren, 2007). De mogelijkheid om invloed op een indicator uit te oefenen via bouwplan, bemesting en gewaskeuze is in verschillende experimenten beoordeeld. De soort bemesting en gras of klaver had geen significante invloed op de dichtheid (van Eekeren et al., 2009a; van Eekeren et al., 2009b). In de continue teelt mais proef op Aver Heino (Berkendijkproef) had de behandeling zonder groenbemester een lagere dichtheid dan met groenbemester (van Schooten et al., 2006). In de vruchtwisselingproef in Gent werden duidelijk verschillen in bodemdichtheid gevonden. Het blijvende grasland had een lagere bodemdichtheid dan op basis van het organische stofgehalte werd verwacht. Het tijdelijke grasland had echter een hogere dichtheid dan op basis van organische stof werd verwacht. De tijdelijke akker kwam er daarentegen iets gunstiger uit dan de blijvende akker (van Eekeren et al, 2008).



Figuur 3.4.1: Invloed van leeftijd grasland en vruchtwisseling op bodemdichtheid

Meetbaarheid van de indicator

Omdat voldoende monsters in het veld genomen moeten worden is de methode tijdrovend. In het laboratorium moeten enkele gewichtsbepalingen gedaan worden voor en na drogen. De apparatuurkosten zijn laag. De reproduceerbaarheid is goed wanneer voldoende monsters worden genomen. In grasland is een geringe variatie door het jaar heen te verwachten. Op akkerland dat bewerkt wordt zal veel variatie door het jaar heen optreden zonder dat dit iets met bodemkwaliteit te maken heeft.

Bruikbaarheid van de indicator

Voor proeven lijkt het goed om de bodemdichtheid mee te nemen om een inschatting te kunnen maken van de toestand van het proefperceel. Bodemdichtheid moet dan altijd in relatie tot organische stof beoordeeld worden. Voor een routinematige bepaling van de bodemdichtheid voor de praktijk lijkt deze bepaling minder potentieel te hebben. Monsterkosten, voornamelijk arbeid, zijn een belangrijk minpunt. Beïnvloedbaarheid door management, gecorrigeerd voor organische stof, lijkt gering en iets van een lange adem. Beoordeling van verdichting in de laag 0-10 cm, maar juist ook diepere lagen, kan voor de praktijk beter visueel aan een kluit en een kuil plaatsvinden.

3.5 Bodemweerstand

Algemeen

De bodemweerstand geeft de druk aan die nodig is om een conus de grond in te brengen. Het is een relatief eenvoudige methode, die tijdens het lopen door een perceel regelmatig uitgevoerd kan worden. De bodemweerstand geeft aan in hoeverre de grond verdicht is en vooral ook op welke diepte de verdichting zit. Wortels kunnen moeilijk

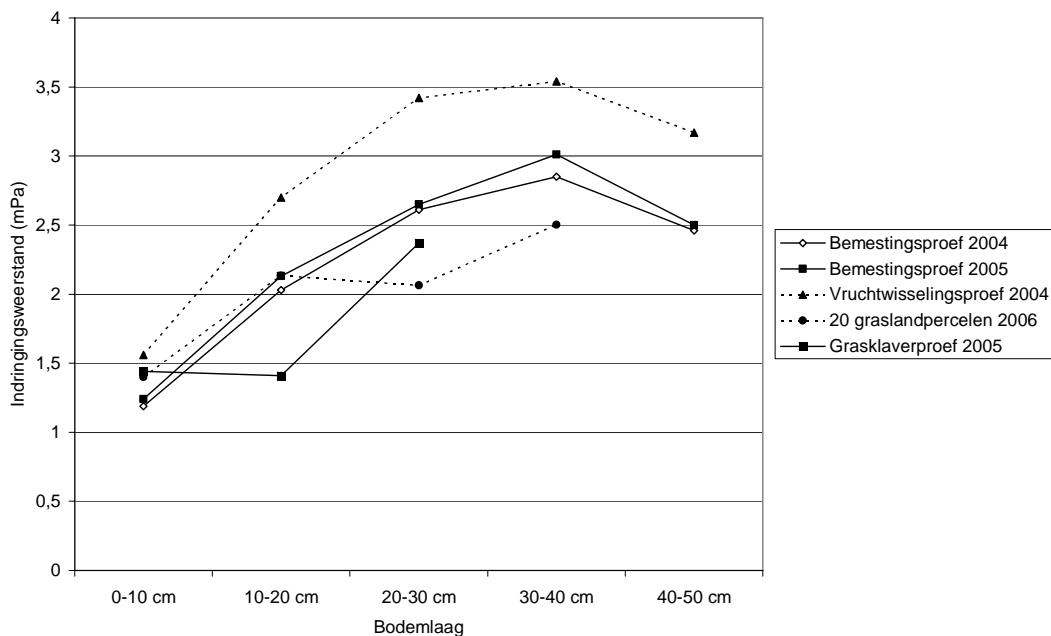
door een verdichte laag komen en zuurstof komt nauwelijks de grond in. De verwachting is dat dit ook een maat is voor de bewortelmogelijkheden, de porositeit, waterinfiltratie en het luchtgehalte van de grond.

Analysemethode

Er zijn verschillende soorten weerstandsmeters (penetrometers) in de handel. In het project is gebruik gemaakt van de penetrologger van Eijkelkamp die elke 1 cm een meting vastlegt. Op de meeste proefvelden is gebruik gemaakt van een sonde met een conus van 1 cm² en een hoek van 60°. Per proefplotje zijn 6 tot 20 sonderingen gedaan. Metingen zijn gemiddeld over de laag 0-10 cm, 10-20 cm etc.

Streefwaarde en bandbreedte

De gemeten bodemweerstand is afhankelijk van het vochtgehalte van de bodem. Het is dan ook het beste in het voorjaar te meten wanneer de grond op veldcapaciteit is. In figuur 3.5.1 is het verloop van de bodemweerstand weergegeven in een aantal experimenten op met name grasland. De weergegeven punten zijn gemiddelden van 16-24 proefplotjes (per proefplotje zijn 6-20 metingen gedaan). Het gemiddelde van de bemestingsproef in Bakel in 2004 (24 proefplotjes) en in 2005 (20 proefplotjes), geeft aan dat deze parameter goed herhaalbaar is mits voldoende metingen worden gedaan. Het verloop van de verschillende locaties geeft ongeveer de bandbreedte aan die gemeten kan worden. Als vuistregel wordt aangehouden dat een grond niet meer bewortelbaar is wanneer de bodemweerstand hoger is dan 2.5-3 mPa. De vruchtwisselingproef in Gent bevond zich bij 10-20 cm al in de gevarenzone. Die bemestingsproef in Bakel bij 20-30 cm.



Figuur 3.5.1: Verloop van de bodemweerstand in verschillende proefvelden

Relaties met andere bodemeigenschappen

De bodemweerstand in de verschillende bodemlagen zijn sterk onderling gecorreleerd. Echter, de lagen 10-20 cm, 20-30 cm en 30-40 cm zijn onderling hoger gecorreleerd dan dat deze lagen gecorreleerd zijn met de laag 0-10 cm. Dit wordt ook gevonden in de 20 percelen proef (van Eekeren, 2009c). Zowel in de vergelijking van de 20 graslandpercelen (van Eekeren et al., 2009c) als de klaverproef (van Eekeren et al., 2009b) was de weerstand in verschillende lagen negatief gecorreleerd met aantallen en biomassa van wormen en het aantal strooiselbewoners. In de 20 percelenproef werd ook een positieve relatie gevonden tussen een hogere bodemweerstand in de laag 10-20 cm en het aantal strooiselbewoners. Mogelijk leidt een verdichting op 10-20 cm tot meer strooisel voor deze strooiselbewoners. In deze proef werd de bodemweerstand in de laag 10-20 cm verklaard door de schimmel activiteit (+) en het aantal potwormen (-) ($cvR^2=0.69$, $P=0.010$).

Relatie met ecosysteemdiensten en opbrengst

De bodemweerstand in de laag 10-20 cm verklaarde in de 20 percelen proef de waterinfiltratie ($cvR^2=0.36$, $P=0.016$) (van Eekeren et al., 2009c). In de 20 percelen proef was er een negatieve correlatie tussen de bodemweerstand en de N-opbrengst bij 0 kg N ha^{-1} (laag 20-30 cm $r=-0.47$, laag 30-40 cm $r=-0.58$) en de respons van N-opbrengst op N-kunstmest (laag 0-10 cm $r=-0.56$). Net zoals bij bodemdichtheid speelde bodemweerstand echter geen rol in de voorspelling van opbrengstparameters.

Beïnvloeding door management

Bij een proef naar spoorvorming bij zodebemesten had het bereiden oppervlakte een significant lagere bodemweerstand dan het onbereiden oppervlakte (de Boer en van Eekeren, 2007). In experimenten waar het effect van management op bodemkwaliteit is bepaald laat bodemweerstand vaak wel een trend zien maar is het door de variatie tussen metingen zeer moeilijk statistische verschillen aan te tonen. In de vruchtwisselingproef in Gent hadden de grasbehandelingen vanaf 10 cm diepte een lagere bodemweerstand dan bouwland maar verschillen waren niet significant (van Eekeren et al., 2008). In de bemestingsproef in Bakel had bermmaaisel gecomposteerd met drijfmest de laagste bodemweerstand in de laag 0-30 cm, maar waren verschillen alleen significant in de laag 0-10 cm (van Eekeren et al., 2009a). Puur klaver had in de klaverproef in Marle de laagste bodemweerstand ten opzichte met kunstmest bemest gras maar verschillen waren alleen significant in de laag 20-30 cm (van Eekeren et al., 2009b). In een proef met continueelt snijmais had de behandeling met braak een significante lagere bodemweerstand in de laag 0-30 cm ten opzichte van rogge als groenbemester (van Schooten et al., 2006).

Meetbaarheid van de indicator

Het meten van de weerstand gebeurt in het veld en kan met eenvoudige apparatuur geschieden. Er zijn dan wel twee personen nodig. Eén voor het in de grond duwen van de conus en één om de gegevens te noteren. Door gebruik te maken van duurdere apparatuur kunnen de metingen door één persoon worden uitgevoerd. De kosten zijn verder afhankelijk van het aantal metingen dat per object wordt uitgevoerd. Verder is het mogelijk de kosten te drukken door alleen de relevante lagen te meten, bij deze proeven bijvoorbeeld de laag tot 30 cm diepte. De reproduceerbaarheid is sterk afhankelijk van het aantal metingen per object. Het in de bemestingsproef in Bakel en

de vruchtwisselingsproef in Gent toegepaste aantal herhalingen geeft een teleurstellend aantal significante verschillen tussen behandelingen.

Bruikbaarheid van de indicator

De bruikbaarheid van de indicator is vergelijkbaar met die van de bodemdichtheid. Voor proeven lijkt het goed om de bodemweerstand mee te nemen om een inschatting te kunnen maken van de toestand van een proefperceel. Voor routinematige bepaling van bodemweerstand in de praktijk lijkt deze bepaling minder potentieel te hebben. Beoordeling van de bodemweerstand kan in de praktijk beter gedaan worden door een schop of een pin langzaam in de grond te steken.

3.6 Bodemstructuur

Algemeen

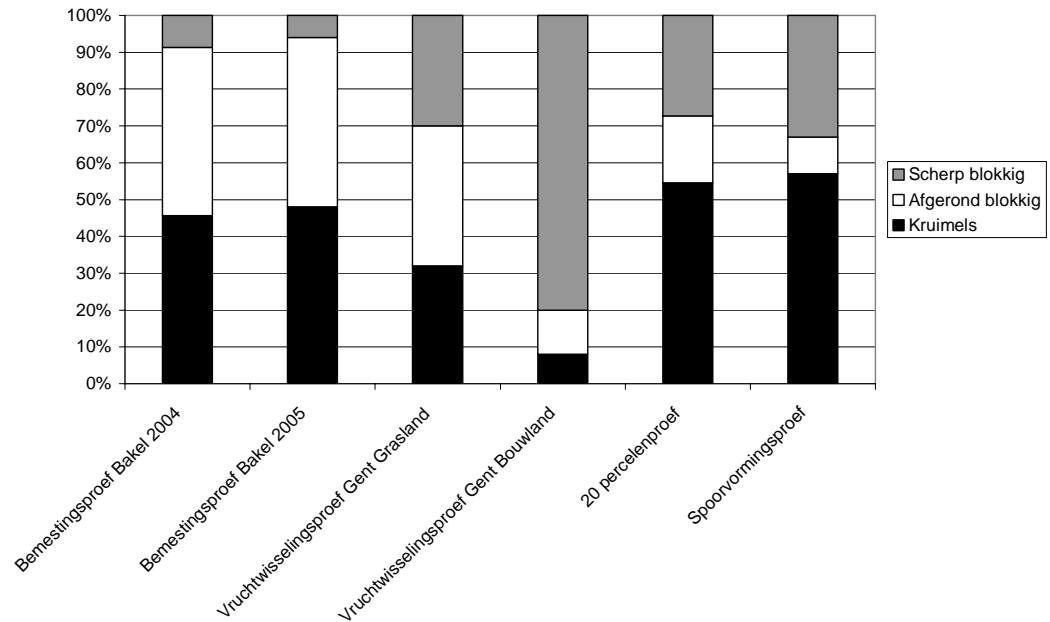
Bij een bodemstructuur met veel kruimels en afgerond-blokkige elementen kan er voldoende lucht in de grond komen. Hierdoor is het bodemleven veel actiever. Daarnaast kunnen wortels makkelijker de grond in. Een goede structuur heeft daarmee invloed op de opbrengst en de benutting van nutriënten.

Analysemethoden

De bodemstructuur in het veld wordt visueel beoordeeld aan een uitgestoken kluit van 20x20x20 cm. Bij de bodemstructuur wordt onderscheid gemaakt tussen kruimelstructuur, afgerond blokkige structuur en scherpblokkige structuur in de laag 0-10 cm en 10-20 cm (FAO, 2006). Binnen dit project zijn de waarnemingen steeds door dezelfde persoon uitgevoerd. 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. Een variant van de methode is uitgewerkt door (Shepherd, 2000) in de zogenaamde heuptest.

Streefwaarde en bandbreedte

Een hoog percentage scherpblokkige elementen in de laag 0-10 cm duidt op een minder goede structuur. Kruimel en afgerond blokkige elementen worden als goed beoordeeld. In de laag 0-10 cm is het wenselijk dat er minimaal 50% kruimelstructuur is, 30% afgerond-blokkige elementen en maximaal 20% scherpblokkige elementen.



Figuur 3.6.1: Onderverdeling van structuurelementen in de laag 0-10 cm op de verschillende proefvelden

De laag van 10 tot 20 cm is vaak verdicht, en valt bij openbreken vooral in scherpblokkige elementen uit elkaar. Het is wenselijk dat ook in deze laag kruimels en afgerond-blokkige elementen voorkomen; tenminste 25 %.

Relaties met andere bodemparameters

In de 20 percelen proef was het percentage kruimels en scherpblokkige elementen in de laag 0-10 cm sterk negatief gecorreleerd ($r=-0.94$). Beide parameters waren gecorreleerd met de bodemweerstand in de laag 0-10 cm ($r=-0.60$ en $r=+0.60$) en de wormdichtheid ($r=+0.51$ en $r=-0.46$). Afgerond blokkige elementen waren in dezelfde proef juist gecorreleerd met organische stof parameters en werden uiteindelijk voorspeld met een model van $-$ organische stof en $-C/N$ -verhouding ($cvR^2=0.44$, $P=0.034$). Uit de analyse van al de bemonsterde proefplotjes lijkt er een tendens te zijn dat de schimmelbiomassa toeneemt bij een hoger percentage scherpblokkige elementen ($r=+0.60$ uit 175 proefplotjes met grasland).

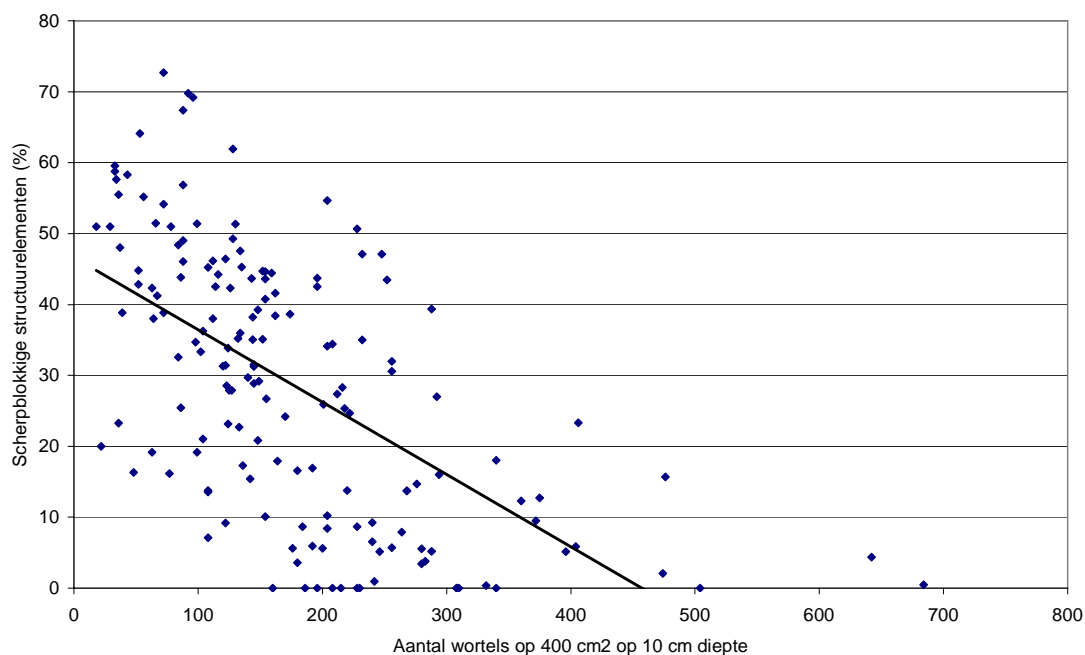
Relatie met ecosysteemdiensten en/of opbrengst

Bodemstructuur kan als indicator dienen van de ecosysteemdienst onderhoud van bodemstructuur. In de 20 percelen proef was er een positieve correlatie tussen de afgerond blokkige elementen en de respons van N-opbrengst op N-kunstmest ($r=+0.45$), maar afgerond blokkige elementen speelden geen rol in de voorspelling van opbrengstparameters.

Beïnvloeding door management

In de spoorvormingsproef waren er geen significante verschillen in bodemstructuur onder het bereiden en onbereiden oppervlakte (de Boer en van Eekeren, 2007). Cijfers van de vruchtwisselingsproef in Gent laten heel duidelijk zien dat

bouwland gemeten in het najaar een veel lager percentage kruimels heeft dan grasland (8% versus 32%). De scherpblokkige elementen waren veel hoger in bouwland te opzichte van grasland (80% versus 30%) (van Eekeren et al., 2008) (figuur 3.6.1). Verschillende mestsoorten in de bemestingsproef in Bakel hadden geen invloed op de structuur (van Eekeren et al., 2009a). In de klaverproef in Marle was te zien dat klaver met haar minimale wortelstelsel, het laagste percentage kruimels had en significant het hoogste percentage scherpblokkige elementen. In deze proef was het percentage kruimels negatief gecorreleerd met de wortelbiomassa van klaver ($r=-0.53$) (van Eekeren et al, 2009b). Dat wortels sterk samenhangen met de bodemstructuur is te zien aan het aantal wortels op 10 cm diepte en het aantal scherpblokkige structurelementen in de laag 0-10 cm beoordeeld op 185 proefplotjes ($r=-0.54$) (Figuur 3.6.2).



Figuur 3.6.2: Relatie tussen worteltellingen 10 cm diepte en scherpblokkige elementen in de laag 0-10 cm

Meetbaarheid van de indicator

De beoordeling is relatief makkelijk uit te voeren. Het percentage kan bepaald worden op basis van zicht of met een keukenweegschaal. De reproduceerbaarheid lijkt goed gezien dezelfde gemiddelde waarde in de bemestingsproef van Bakel gemeten in oktober 2004 en oktober 2005 (Figuur 3.6.1). Er lijkt wat variatie door het jaar heen gezien de iets afwijkende waarde van de 20 percelen proef en de spoorvormingsproef (gemeten in april) in vergelijking tot de andere proefvelden (gemeten in oktober).

Bruikbaarheid van de indicator

De observaties aan de bodemstructuur zijn een relatief makkelijk beoordeling in het veld van de status van de bodem. Streefwaarden zijn helder. In het voorjaar liggen deze iets anders dan in het najaar. Beïnvloeding door management is redelijk. De beworteling lijkt hier belangrijk.

3.7 Waterinfiltratie

Algemeen

De waterinfiltratie laat zien hoe snel water wordt opgenomen door de bovengrond. Bij een goed doorlatend vermogen kan overtollig water snel afgevoerd worden en treedt er geen plasvorming op wat anaërobe verschijnselen kan voorkomen en ook de bodembewerking niet belemmert. Ook is de kans op verslemping minder bij een goede wateropname. Waarschijnlijk is de luchttoetreding ook groter bij een snelle waterinfiltratie. Vooral mechanische bewerkingen kunnen de waterinfiltratie belemmeren.

Analysemethode

De gebruikte analysemethode komt uit de testkit bodemkwaliteit (Koopmans en Brands, 2003). Een ring met een diameter en lengte van 15 cm wordt 10 cm de grond ingeslagen. In de ring wordt folie gelegd en hierop wordt 500 cc water aangebracht. Na verwijderen van de folie kan het water de grond intrekken en worden de minuten nodig voor de infiltratie van 500 cc water genoteerd. De test geeft aan in hoeverre er doorgaande poriën naar diepere lagen zijn. Hoe langer het duurt voordat het water de grond ingetrokken is, hoe kleiner dit aantal.

Streefwaarde en bandbreedte

Een vuistregel is dat bij goede ontwatering de plassen binnen een dag van het land verdwenen zijn. Voor de beschreven methode worden de volgende streefwaarden genoemd (Tabel 3.7.1).

Tabel 3.7.1: Streefwaarde waterinfiltratie (Koopmans en Brands 2003)

Infiltratietijd (minuten)	beoordeling
< 2	hoog
2-6	matig
> 6	laag

Relaties met andere bodemeigenschappen

In de 20 percelenproef en 80 andere proefplotjes op grasland waar de waterinfiltratie is gemeten werd geen relatie gevonden met het vochtpercentage. Hoewel verwacht vanuit de literatuur, is er in de 20 percelenproef geen relatie gevonden tussen wormengangen en waterinfiltratie. Alleen in de vruchtwisselingproef werd een indicatie gevonden dat wormengangen de waterinfiltratie versnellen. In de 20 percelenproef en 72 andere proefplotjes op grasland werd wel een correlatie gevonden met de bodemweerstand in de laag 10-20 cm ($r=+0.68$ en $r=+0.45$), bodemdichtheid ($r=+0.5$), afgerond blokkige elementen ($r=-0.58$) en scherpblokkige elementen ($R=+0.45$). In de 20 percelenproef werd de variatie in de waterinfiltratie voor het grootste gedeelte verklaard door de bodemweerstand in de laag 10-20 cm ($cvR^2=0.36$, $P=0.016$) (van Eekeren et al., 2009c).

Relatie met ecosysteemdiensten en/of opbrengst

Waterinfiltratie kan als indicator dienen van de ecosysteemdienst waterregulatie. In de 20 percelen proef speelde waterinfiltratie geen rol in de voorspelling van opbrengstparameters.

Beïnvloeding door management

In de bemestingsproef in Bakel hadden de mestsoorten en bemestingsniveaus geen invloed op de waterinfiltratie. Opvallend was dat in de vruchtwisselingproef in Gent het tijdelijke grasland een veel hogere infiltratietijd had dan het blijvende grasland. Mogelijk speelt hier het verschil in wormengangen, wormenbiomassa en wormensoorten een rol (blijvend grasland gedomineerd door pendelaars en tijdelijk grasland niet). In de continueteelt maïs proef op Aver Heino (Berkendijkproef) had de behandeling zonder groenbemester een veel kortere infiltratietijd dan de behandeling met groenbemester (van Schooten et al., 2006).

Meetbaarheid van de indicator

Het meten van de waterinfiltratie in het veld kan met eenvoudige apparatuur geschieden maar is tijdrovend. De reproduceerbaarheid is evenwel sterk afhankelijk van het aantal metingen per object.

Bruikbaarheid van de indicator

Samenvattend kan geconcludeerd worden dat de meting van de waterinfiltratie een tijdrovende analyse is wanneer er genoeg herhalingen toegepast worden. Er lijkt een sterke relatie met bodemweerstand en in mindere mate met bodemdichtheid, structuurbepalingen en wormengangen van met name pendelaars. Het lijkt belangrijker om met name aan bodemweerstand en eventueel wormengangen van pendelaars observaties te doen.

4 *Biotische indicatoren*

4.1 *Beworteling*

Algemeen

Wortels hebben voor de plant verschillende functies zoals verankering, opslag van reservestoffen en opname van water en voedingsstoffen. De wortel heeft allerlei directe- en indirecte effecten op het bodemleven en de bodemstructuur en vice versa. Door het afgeven van wortellexudaten en door het afsterven van wortels worden er grote hoeveelheden koolstof de grond in gebracht. Dit maakt dat wortels een belangrijke invloed uitoefenen op de bodemvorming; nog versterkt door het effect op de structuurvorming. "Wortels maken de bodem" (citaat Coen ter Berg). Een graszode met een goed wortelstelsel is daarmee één van de belangrijkste instrumenten die een veehouder heeft om een goede gewasgroei te krijgen. Daarnaast is voor een goede gewasgroei de beschikbaarheid van vocht en voedingsstoffen essentieel. 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.

Analysemethode

In het volgende worden drie methodes vergeleken:

1. Visuele beoordeling van de worteldiepte in een kuil;
2. Tellen van wortels op een kluit op 10 en 20 cm diepte. Zowel dode, zieke als actief groeiende werden geteld en niet afzonderlijk onderscheiden. Er is ook geen onderscheid gemaakt tussen wortels van verschillende planten;
3. Bepaling van de wortelmassa door uitspoelen met water, drogen en eventueel verassen.

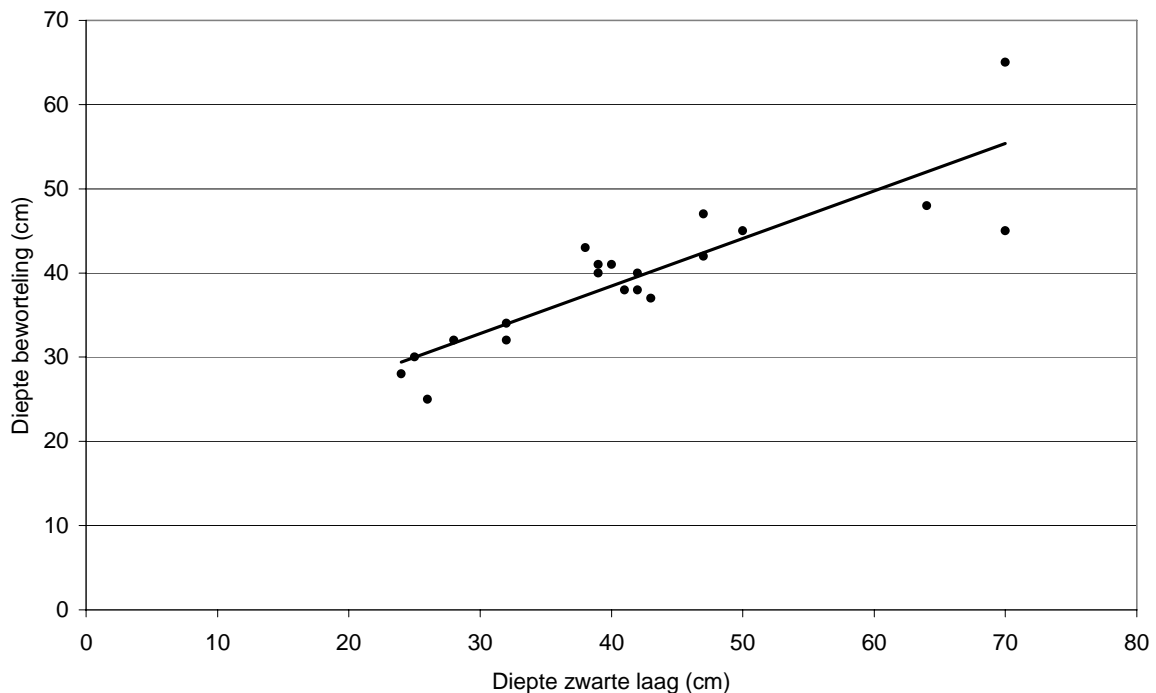
Streefwaarde en bandbreedte

De diepte van de beworteling kan het best in de kuil beoordeeld worden. Hoewel jong gras de neiging heeft om diep te wortelen en ouder gras zich meer terugtrekt in de bovenste 5 cm, is ook bij oud gras een goede beworteling tot ca. 50 cm diepte mogelijk.

Het aantal wortels kan het best met behulp van een kluit geteld worden. Het aantal wortels op 10 en 20 cm diepte kan in de praktijk zeer sterk variëren, van vrijwel geen wortels tot ca 700 wortels op 10 cm diepte en ca 400 wortels op 20 cm diepte (horizontaal 20x20 cm). De streefwaarden voor het aantal wortels op een kluit van 20x20 cm zijn: >200 op 10 cm diepte en >100 op 20 cm diepte. Bij vergelijking tussen percelen op eenzelfde tijdstip geeft een groot aantal dode wortels aan dat de beworteling aan het verslechteren is (neergaande lijn), terwijl veel jonge wortels aangeven dat de beworteling aan het verbeteren is (opgaande lijn). Levende wortels zijn wit en 'sappig', dode wortels zijn bruin en 'uitgedroogd'.

Relaties met andere bodemparameters

De diepte van de beworteling wordt op zandgrond sterk bepaald door de dikte van de humushoudende donkere bovenlaag. In de zogenaamde 20 percelen proef is zowel de worteldiepte als de diepte van de zwarte laag in een kuil visueel beoordeeld ($r=+0.87$) (zie figuur 4.1.1.).



Figuur 4.1.1: Bewortelingsdiepte in relatie tot diepte donkere bovenlaag op 20 graslandpercelen

De wortelmassa in de laag 0-10 cm wordt negatief beïnvloed door de N-beschikbaarheid in dezelfde bodemlaag (zie beïnvloeding door management).

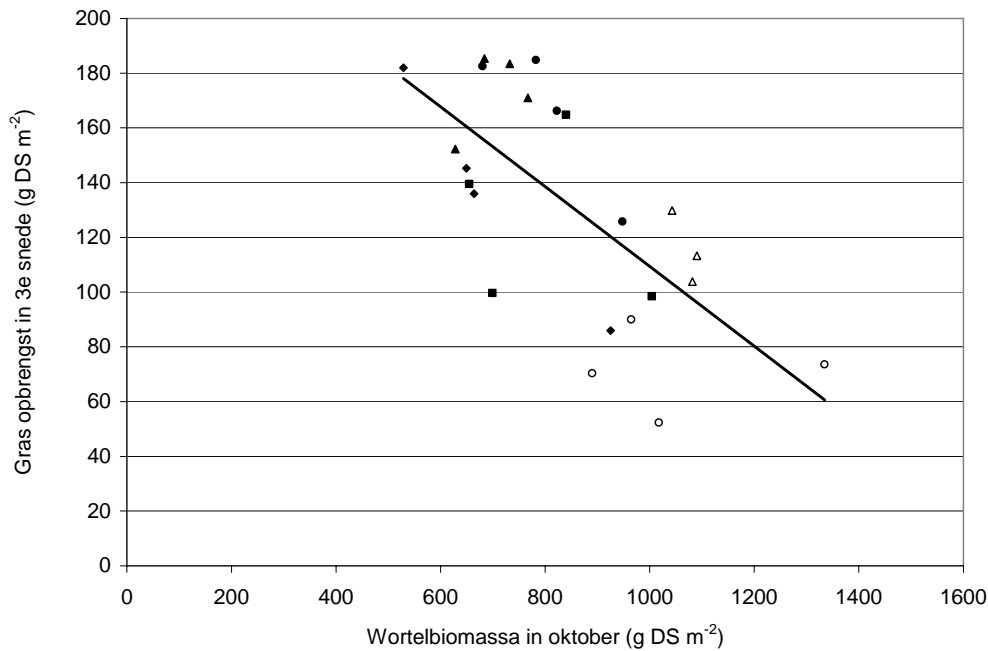
Relatie met ecosysteemdiensten en/of opbrengst

In geen van de bemonsterde proeven kon een directe relatie worden gelegd tussen beworteling en ecosysteemdiensten. Zoals besproken in paragraaf 3.6 was er een negatieve relatie tussen het aantal wortels en het percentage scherpblokkige elementen. In de klaverproef in Marle was er een negatieve correlatie ($r=-0.53$) tussen het aantal klaverwortels en het percentage kruimels in de laag 0-10 cm (van Eekeren et al., 2009b). In de 20 percelen proef was er een negatieve correlatie ($r=-0,46$) tussen de wortelbiomassa en de N-opbrengst bij 0 kg N ha^{-1} (van Eekeren et al., 2009b). Aangezien de N-beschikbaarheid een negatieve invloed heeft op de beworteling lijkt dit een logische correlatie (zie beïnvloeding door management).

Beïnvloeding door management

Uit de vruchtwisselingproef in Gent komt naar voren dat grasland van 3 jaar oud bemest met $100\text{-}300 \text{ kg N ha}^{-1}$ hogere wortelaantallen heeft op 10 en 20 cm diepte dan 38 jaar oud grasland met hetzelfde bemestingsniveau (van

Eekeren et al., 2008). Uit de bemestingsproef in Bakel blijkt dat een lagere N-beschikbaarheid al binnen enkele weken resulteert in een hogere wortelbiomassa ($r=-0.66$) (zie figuur 4.1.2) (van Eekeren et al., 2009a). Daarnaast heeft puur witte klaver een lagere wortelbiomassa dan puur gras of een mengsel van gras en witte klaver (van Eekeren et al., 2009b). In een recent gestart onderzoeksprogramma in het kader van de Kader Richtlijn Water wordt gekeken naar meer managementmaatregelen die de intensiteit en diepte van graslandbeworteling kunnen beïnvloeden.



Figuur 4.1.2: Relatie tussen wortelbiomassa in de laag 0-10 cm gemeten in oktober en de grasproductie in de 3^e snede (van Eekeren et al., 2009a).

Meetbaarheid van de indicator

De bewortelingsdichtheid wordt traditioneel gemeten door wortelmonsters uit 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) zijn tellingen gedaan aan het aantal wortels op een kluit op 10 cm diepte en 20 cm diepte. Dit om te komen tot een minder arbeidsintensieve manier om bewortelingsdichtheid te kwantificeren. De relatie tussen de traditionele bepaling van bewortelingsdichtheid en worteltellingen was in de verschillende onderzoeken echter slecht. Het zijn twee verschillende parameters die iets anders meten. In samenwerking met BLGG wordt er gewerkt aan een indirecte bepaling van de bewortelingsintensiteit door de relatie van wortelbiomassa met plantetende nematoden.

Bruikbaarheid van de indicator

De beworteling is een potentieel belangrijke indicator. Kosten, voornamelijk arbeid, zijn een belangrijk minpunt. Het effect van management op beworteling en het effect van beworteling op bodemkwaliteit moet nog meer aandacht krijgen. Een alternatieve, minder tijdrovende methode voor bewortelingsintensiteit, is met worteltellingen nog niet gevonden. Mogelijk biedt de relatie met plantetende nematode soelaas.

4.2 Bacteriën en schimmels

Algemeen

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 micro-organismen stoffen uit die bodemdeeltjes aan elkaar kiten, waardoor aggregaten worden gevormd en de structuur wordt bevorderd.

Analysemethoden

In het project is de microbiologie door Alterra bepaald. Voor de metingen worden de monsters 4 weken bij 12 °C (gemiddelde bodemtemperatuur) en 50% WHC (vochtgehalte van 50% van de waterhoudende capaciteit) 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 $\mu\text{g C/g}$ grond.

De totale hoeveelheid schimmeldraden (hyfen) in de grond wordt bepaald door de lengte te meten onder de microscoop. De lengte wordt omgerekend naar koolstof en de schimmelbiomassa en wordt uitgedrukt in $\mu\text{g C/g}$ 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 bacteriële activiteit wordt gemeten door middel van de snelheid waarmee gelabeld thymidine (bouwsteen van DNA) en leucine (aminozuur) worden ingebouwd in respectievelijk DNA en eiwitten (Bloem en Bolhuis, 2006). Deze wordt uitgedrukt in picomol per gram per uur en is een maat voor de bacteriële groeisnelheid. De groeisnelheid is zeer gevoelig voor verontreiniging en zuurgraad, en neemt toe met de hoeveelheid dierlijke mest die op het land wordt gebracht (Bloem en Breure, 2003; Bloem et al., 2006). Het verband tussen groeisnelheid en thymidine-inbouw is constanter dan tussen groeisnelheid en leucine-opbouw. Daar staat tegenover dat met name anaërobe bacteriën thymidine niet kunnen inbouwen, terwijl leucine door vrijwel alle bacteriën wordt ingebouwd.

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 er wordt een verdunningsreeks in de platen gemaakt. In de plaat vindt kleurvorming plaats als gevolg van substraat omzetting, in elke put is er een unieke omzetting. De kleurverandering wordt twee keer per dag gemeten gedurende 7 dagen. Hiermee wordt de helling van de AWCD-curve berekend (een maat voor de functionele diversiteit) en de hoeveelheid grond die nodig is om 50% van alle omzettingsreacties te katalyseren (een maat voor de functionele capaciteit/activiteit).

Streefwaarde en bandbreedte

In de referentie voor biologische bodemkwaliteit zijn mogelijke streefwaarde en de bandbreedte voor microbiële parameters weergegeven.

Tabel 4.2.1: Streefwaarde en bandbreedte van microbiologische parameters (Rutgers et al., 2007)

Indicator	Landgebruik	Referentie	Gemiddeld	5% laagste	5% hoogste
Bacteriële biomassa ($\mu\text{g C g droge grond}^{-1}$)	Melkveehouderij op zand	132	146	40	293
	Halfnatuurlijk grasland op zand	142	297		
	Akkerbouw op zand	81	88	25	145
Bacteriële activiteit ($\text{pmol g droge grond}^{-1} \text{ h}^{-1}$)	Melkveehouderij op zand	77	65	3	215
	Halfnatuurlijk grasland op zand	20	12		
	Akkerbouw op zand	105	59	25	105
Functionele diversiteit (Helling)	Melkveehouderij op zand	0.48	0.52	0.34	0.74
	Halfnatuurlijk grasland op zand	0.34	0.36		
	Akkerbouw op zand	0.52	0.56	0.46	0.66
Functionele activiteit ($\mu\text{g droge grond}$)	Melkveehouderij op zand	300	590	40	1670
	Halfnatuurlijk grasland op zand	350	290		
	Akkerbouw op zand	486	1614	187	3597
Schimmelbiomassa ($\mu\text{g C g droge grond}^{-1}$)	Melkveehouderij op zand				
	Halfnatuurlijk grasland op zand	23	25		
	Akkerbouw op zand				

Relaties met andere bodemparameters

In de klaverproef in Marle was de bacteriële biomassa gecorreleerd met de wortelbiomassa ($r=+0,47$) (van Eekeren et al. 2009b), wat logisch is vanuit de gedachte dat rond de wortels een "hot spot" is voor bodemleven. Dit wordt nader onderzocht in een proef naar het effect van verschillende grassoorten op wortelbiomassa en bacteriële

biomassa. In de bemestingsproef in Bakel werd een negatieve correlatie gevonden tussen wortelmassa en bacteriële activiteit. Hierbij kan de link gelegd worden tussen een hogere N-beschikbaarheid wat resulteert in een lagere wortelmassa maar juist een hogere bacteriële activiteit (van Eekeren et al., 2009a). In de bemestingsproef op Aver Heino werd een positieve relatie gevonden tussen pH en bacteriële activiteit (de Vries et al., 2006). Voor een productiegrasland lijkt een hogere bacteriële activiteit belangrijker dan een hogere bacteriële biomassa.

Relatie met ecosysteem diensten en/of opbrengst

In de 20 percelen proef was met name de functionele activiteit van de microben negatief gecorreleerd met DS- en N-opbrengst bij 0 kg N ha⁻¹ ($r=-0,57$, $r=-0,49$) en de respons van N-opbrengst op N-kunstmest ($r=-0,48$). De schimmelbiomassa en bacteriële activiteit waren ook gecorreleerd met opbrengstparameters maar de bacteriële biomassa was niet gecorreleerd met één van deze parameters. Bij de schatting van parameters van ecosysteemdiensten en opbrengst verklaarde de functionele activiteit, de bacteriële activiteit en de schimmelactiviteit extra variatie in combinatie met parameters als organische stof, N-totaal en vocht percentage (van Eekeren et al., 2009c).

Beïnvloeding door management

In de vruchtwisselingproef in Gent was de bacteriële biomassa significant hoger in oud grasland dan in tijdelijk grasland, tijdelijk bouwland en permanent bouwland. De bacteriële activiteit was hoger in bouwland en grasland, wat ook tot uiting komt in tabel 4.2.1. In dezelfde proef was de functionele diversiteit en activiteit beter (lagere waarde) in grasland dan in bouwland. Met name het oude grasland liet een hoge functionele diversiteit van de bacteriën zien (van Eekeren et al., 2008). De verschillende mestsoorten in de bemestingsproef in Bakel lieten alleen een effect zien op de bacteriële activiteit, waarbij normale runderdrijfmest de hoogste bacteriële activiteit had en kunstmest de laagste bacteriële activiteit (van Eekeren et al., 2009a). Zowel bij de bemestingsproef in Bakel als de klaverproef in Marle was er geen effect van mestsoorten en klaverintroductie op de functionele diversiteit en activiteit. Wel had klaver de laagste bacteriële biomassa en onbemest gras de hoogste schimmelbiomassa (van Eekeren et al., 2009b). De schimmelbiomassa en in iets mindere mate de bacteriële biomassa lijken met name toe te nemen bij minder verstoring en een lagere N-beschikbaarheid. Dit is juist tegengesteld aan de activiteit van bacteriën. De functionele diversiteit en in mindere mate de functionele activiteit lijken zeer gevoelig voor verstoring, des te ouder het grasland hoe hoger de functionele diversiteit (lage helling awcd-curve).

Meetbaarheid van de indicator

De onderzochte indicatoren zijn nu nog niet routinematig uit te voeren. De hoge spreiding van de indicatoren wijst op de noodzaak om meerdere herhalingen toe te passen.

Bruikbaarheid van de indicator

Voor onderzoeksdoeleinden is het belangrijk om met deze indicatoren verder te gaan. Voor de praktijk lijken de activiteit metingen; functionele activiteit, bacteriële activiteit en schimmel activiteit het meest te zeggen over ecosysteemdiensten en opbrengst en worden het meest beïnvloed door het management van blijvend grasland.

Aangezien deze metingen nog niet routinematig worden uitgevoerd is dit nog een belangrijke barrière voor de invoering in de praktijk.

4.3 Nematoden

Algemeen

Nematoden zijn kleine wormpjes (0,2 - 2 mm lang) die in hoge aantallen en diversiteit voorkomen. De Nederlandse naam "aaltjes" geeft het best aan hoe de dieren er uitzien, namelijk als een miniatuurpaling. Zowel nematoden als maagdarmwormen (ook behorende tot de nematoden) hebben een negatieve naam vanwege de schade die ze berokkenen in de landbouw en de veeteelt. Voor bodemnematoden is dit gedeeltelijk onterecht omdat ze voor het merendeel niet schadelijk zijn maar juist nuttig. Nematoden voeden zich met levende (onderdelen van) bacteriën, schimmels, dieren en planten. Door begrazing van de microflora beïnvloeden microbivore (en predatore) nematoden de mineralisatie van nutriënten.

Nematoden worden ingedeeld naar functionele groepen op basis van:

1. Voedingstype;
2. Overlevingsstrategie.

Ad 1. Bij de voedselgroepen worden bacterivore, fungivore, carnivore, omnivore, algenetende en herbivore nematoden onderscheiden.

Ad 2. Bij de onderscheiding op basis van overlevingsstrategie ('coloniser-persister groepen' of te wel cp-groepen) wordt er gekeken naar verscheidenheid aan levensgeschiedeniseigenschappen van de nematodenfauna exclusief de planteneters. Omgevingsfactoren zoals voedselbeschikbaarheid en abiotische omstandigheden bepalen welke combinaties van nematoden worden aangetroffen. De cp1-groep is kenmerkend voor (plotselinge) voedselrijkdom. De cp2-groep omvat veel soorten die zich hebben aangepast aan het overleven in moeilijke omstandigheden (droogte, voedselschaarste, zure grond,). De cp-3-5 groep bevat de grotere, meer gespecialiseerde en gevoelige soorten. De volgende vuistregels worden gehanteerd:

1. Aandeel cp groep 1 > 15%: voedselrijke situatie; op van nature arme bodems indiceert een dergelijke waarde een ernstige eutrofiëring (verhoogde secundaire productie).
2. Aandeel cp groep 1 > 50%: extreem voedselrijke situatie; op alle bodemtypen indiceert dit een sterk verhoogde secundaire productie.
3. Aandeel cp groep 2 > 90%: sterk gedegenerende nematodenfauna; indiceert een begin stadium van natuurlijke successie of de aanwezigheid van een extreme antropogene stressfactor (secundaire productie wordt bedreigd of kan zijn aangetast).

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.

De cp-indeling van nematoden ligt ten grondslag aan de Maturity Index (Bongers, 1990). De Maturity Index (MI) 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 ongestoorde bodem heeft een MI tussen de 2,5 en 3,5.

Analysemethoden

In het project is de nematodendichtheid en samenstelling door het BLGG in Oosterbeek onderzocht. Nematoden worden met een spoel-/zeefmethode uit de bodemmonsters (0-10 cm) gehaald (Oostenbrink 1960). Na telling van het aantal in 100 gram verse grond worden de dieren gefixeerd en worden circa 150 exemplaren op naam gebracht met behulp van een lichtmicroscop

Streefwaarde en bandbreedte

In de referentie voor biologische bodemkwaliteit zijn mogelijke streefwaarde en de bandbreedte voor nematoden weergegeven.

Tabel 4.3.1: Streefwaarde en bandbreedte van nematoden (Rutgers et al., 2007)

Indicator	Landgebruik	Referentie	Gemiddeld	5% laagste	5% hoogste
Nematoden dichtheid (n 100 g grond ⁻¹)	Melkveehouderij op zand	5990	4850	2450	7760
	Halfnatuurlijk grasland op zand	4960	5190		
	Akkerbouw op zand	4240	3605	1475	6331
Nematoden taxa	Melkveehouderij op zand	31	34	27	42
	Halfnatuurlijk grasland op zand	36	37		
	Akkerbouw op zand	29	26	19	32

Relaties met andere bodemparameters

In de bemestingsproef in Bakel en de klaverproef in Marle, was het aantal herbivore nematoden positief gecorreleerd met de wortelmasse ($r=+0.39$ en $r=+0.43$ respectievelijk). In de bemestingsproef in Bakel was het aandeel bacterivore nematoden positief gecorreleerd met de bacteriële activiteit ($r=+0.52$).

Relaties met ecosysteemdiensten en opbrengst

In de 20 percelen proef lijkt het aantal nematode taxa een positieve schatter te zijn van de ecosysteem dienst "nutriënten levering", doordat het de potentiële mineraliseerbare C en N kan voorspellen (van Eekeren et al., 2009c). Dit is opvallend omdat het daarmee N-totaal kan vervangen, terwijl in de klaverproef in Marle het aantal taxa toeneemt bij een hogere C/N-verhouding van de wortelmasse wat een milieu met een lage N-beschikbaarheid suggereert (van Eekeren et al. 2009b). Daarnaast verklaart het aantal bacterivore nematoden extra variatie bij het schatten van de DS- en N-opbrengst bij 0 kg N ha⁻¹.

Beïnvloeding door management

In tabel 4.3.1 is er verschil tussen het landgebruiktype melkveehouderij op zand en akkerbouw op zand. Ook de vruchtwisselingproef in Gent laat een duidelijk verschil zien in de nematodendichtheid onder grasland en bouwland (van Eekeren et al., 2008). Mestsoorten en introductie van klaver hadden geen significant effect op de nematodendichtheid, wel veranderde de samenstelling van de voedselgroepen. Met name de herbivore nematoden lijken te reageren op de wortelmassa van gras en de bacterivore nematoden op de bacteriële activiteit. Grasland wordt gedomineerd door herbivore nematoden en bouwland door bacterivore nematoden. De vruchtwisselingproef in Gent en ook de bemestingsproef in Bakel laten zien dat de nematodengemeenschap zich snel aanpast aan een nieuwe situatie. In de vruchtwisselingproef in Gent werd een half jaar na ploegen van het tijdelijke grasland de nematodengemeenschap al weer gedomineerd door bacterivore nematoden. Echter de omnivore en carnivore voedselgroepen waren in dezelfde proef procentueel het meest aanwezig in de permanente systemen (oud grasland en permanent bouwland). Dit had ook zijn effect op de Maturity Index. In de klaverproef in Marle was het aantal taxa positief gecorreleerd met de C/N-verhouding van de wortelmassa ($r=+0.78$).

Meetbaarheid van de indicator

Het aantal vrijlevende nematoden wordt routinematig bij verschillende commerciële laboratoria bepaald. Daarnaast kunnen ze worden gedetermineerd tot geslacht of soort. In de procedure van determinatie kunnen de laboratoria verschillen. Bemonstering van nematoden kan eventueel gecombineerd worden met de monsternamen voor een standaard chemische analyse voor grasland (0-10 cm). Afhankelijk van de determinatie tot geslacht of soort liggen prijzen hoger dan een standaard chemische analyse. In een samenwerking van de WUR en BLGG wordt op het moment gewerkt aan een routinematige analyse van nematodengemeenschappen door gebruik te maken van DNA-barcodes. Dit zou mogelijk de kostprijs van een routinematige bepaling kunnen verlagen.

Bruikbaarheid van de indicator

Aangezien nematoden in een aantal trophische niveaus van het bodemvoedselweb vertegenwoordigd zijn, is het een interessante indicator voor het functioneren van het voedselweb. Indirect zou het aantal of percentage herbivore nematoden ook een maat kunnen zijn voor de wortelbiomassa in de laag 0-10 cm. Een aantal nematodenparameters zijn ook gerelateerd met ecosysteemdiensten en opbrengst. De precieze beoordeling van de nematodegemeenschap onder een productiegrasland op zand is nog niet helemaal duidelijk. Interessant is wel dat nematoden zich snel aanpassen aan veranderende omstandigheden en daarmee de potentie van een gevoelige indicator hebben. De mogelijkheden voor een routinematige bepaling maken dit op korte termijn tot een zeer waardevolle laboratoriummethode voor biologische bodemkwaliteit.

4.4 Potwormen

Algemeen

Potwormen zijn kleine (0,5-4 cm lange), wit gekleurde 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, in humusrijke situaties of bijvoorbeeld onder een mestflat.

De potworm is in zekere zin het kleinere broertje van de regenworm en heeft gedeeltelijk dezelfde rol in de bodem. Anders dan bij de regenworm wordt het opgenomen voedsel in de mondholte voorverteerd met enzymen. In de uitwerpselen zijn de bodemdeeltjes en het verteerde voedsel aan elkaar gebonden. 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 veel betekenis voor een vruchtbare bodem (Bokhorst en Ter Berg, 2001).

Functies van de potworm zijn:

1. Afbraak van organisch materiaal;
2. Bodemstructuurverbetering door aggregaatvorming.

Analysemethode

Potwormen zijn 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 of de WUR.

Streefwaarde en bandbreedte

In de referentie voor biologische bodemkwaliteit zijn mogelijke streefwaarde en de bandbreedte voor potwormen weergegeven.

Tabel 4.4.1: Streefwaarde en bandbreedte van potwormen (Rutgers et al., 2007)

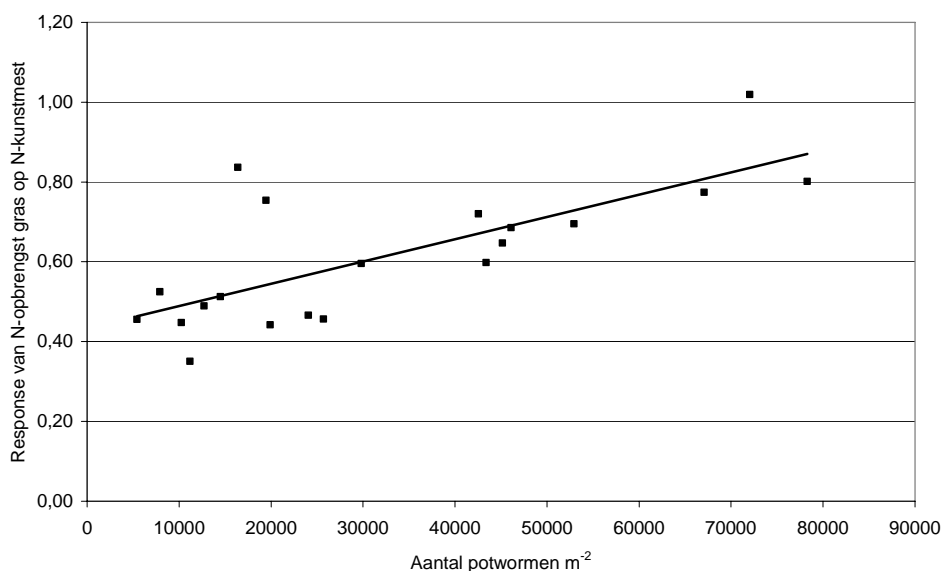
Indicator	Landgebruik	Referentie	Gemiddeld	5% laagste	5% hoogste
Potwormen dichtheid (n m ⁻²)	Melkveehouderij op zand	20700	24800	4550	60500
	Halfnatuurlijk grasland op zand	14200	10500		
	Akkerbouw op zand	32505	20126	2270	82156
Potwormen taxa	Melkveehouderij op zand	8.5	8.2	4.0	12.0
	Halfnatuurlijk grasland op zand	14.0	13.0		
	Akkerbouw op zand	8.7	7.9	5.4	10.7

Relaties met andere bodemparameters

van Eekeren et al. (2003) beschrijft met name een relatie van de aantallen potwormen en de pH. In de vruchtwisselingproef in Gent en de klaverpoef in Marle zijn geen metingen aan potwormen gedaan. In de 20 percelenproef was het aantal potwormen sterk gecorreleerd met N-totaal, vocht%, percentage bodembewonende regenwormen maar ook de functionele activiteit van de microben (van Eekeren et al., 2009c).

Relaties met ecosystemendiensten en opbrengst

Het aantal potwormen lijkt als bodembioologische parameter met name interessant omdat er een relatie is met opbrengstparameters. Van Eekeren et al. (2003) vond een relatie tussen droge stof productie en aantallen potwormen bij nadere analyse van de gegevens van een bemestingsproef in het VEL/VANLA-project (Kok et al., 2002; de Goede en Brussaard, 2001). In de graslandproef op de Ossenkampen vonden van der Wal et al. (2009) een positieve relatie tussen de biomassa van potwormen en de graslandproductie. In de 20 percelenproef kon de biomassa van potwormen gebruikt worden als schatter van de DS- en N-opbrengst bij 0 kg N ha⁻¹ en was het aantal potwormen een schatter voor de respons van N-opbrengst op N-kunstmest ($r=+0.73$) (zie figuur 4.4.1). Interessant hierbij was dat in het eerste geval potwormen met name de voedselrijkdom van het systeem weergegeven (eventueel gecombineerd met vocht) en dat in het tweede geval potwormen een indicatie zijn van een bodemvoedselweb met een evenwichtige decompositie (van Eekeren et al., 2009c).



Figuur 4.4.1: Relatie tussen aantal potwormen en response van N-opbrengst van gras op N-kunstmest

Beïnvloeding door management

Van Eekeren et al. (2003) beschrijft met name invloeden van pH en bekalken op soortensamenstelling en aantallen van potwormen. Daarnaast is er een invloed van bemestingsniveau op aantallen en van mestsoort op diversiteit. In de vruchtwisselingproef in Gent en de klaverproef in Marle zijn geen metingen aan potwormen gedaan.

Meetbaarheid van de indicator

Het aantal en de biomassa van potwormen kan redelijk routinematig worden bepaald. Determinatie neemt meer tijd in beslag. Vooral nog gaat het name om het aantal en de biomassa van potwormen. Monsternamen is wel verschillend van de standaard monsternamen op grasland die nu wordt uitgevoerd.

Bruikbaarheid van de indicator

Potwormen lijken redelijk uniek in het voorspellen van de respons van de N-opbrengst van gras op N-kunstmest. De N-respons in de 20 percelen proef varieerde van 0.35 tot 1.02 kg N-opbrengst per kg N bemest (van Eekeren et al., 2009c). Als een veehouder op basis van het aantal potwormen gemeten in het voorjaar zijn respons op N-kunstmest kan inschatten, kan hij hiermee veel strategischer zijn beperkte ruimte van kunstmest verdelen. Dit in combinatie met het gegeven dat potwormen redelijk makkelijk zijn te extraheren maakt dit een indicator met veel potentie die nader onderzocht moet worden.

4.5 Regenwormen

Algemeen

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 verschillende soorten die ieder weer andere bodemeigenschappen beïnvloeden. De verschillende soorten kunnen onderverdeeld worden in drie groepen: strooiselbewoners, bodembewoners en pendelaars (Tabel 4.5.1).

Tabel 4.5.1: Onderverdeling van regenwormen in 3 groepen

Groep	Kleur	Beweeglijkheid	Diepte	Voedsel	Hoofdfunctie
Strooiselbewoners	Rood	Snel	0- 20cm	Plantenresten/Mest	Vertering org. materiaal
Bodembewoners	Grauw	Zwak	0- 40 cm	Organische stof	Structuurverbeteraar
Pendelaars	Rood/Roze	Matig	0-300cm	Plantenresten	Drainage, beluchting, beworteling

Analysemethode

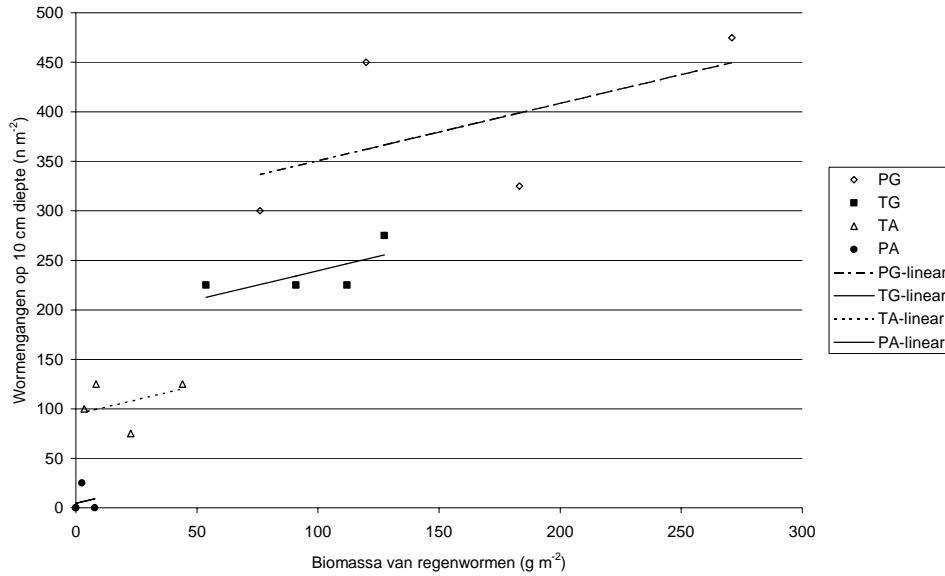
De meest gehanteerde methode om regenwormen te meten is een plag uitsteken en daar de wormen uitzoeken. Binnen het project werd gewerkt met een plag van 20x20x20 cm. De diepte van 20 cm is een compromis tussen wat praktisch haalbaar is en waarmee toch een groot deel van de aanwezige wormen kan worden bepaald. Discutabel

blijft het aantal pendelaars dat met 20 cm plagdiepte wordt gevonden. Om deze groep bij een plagdiepte van 20 cm toch te kunnen meten wordt wel formaline in het steekgat gegoten. De wormen kruipen dan naar het oppervlak en kunnen worden verzameld. Formaline is echter giftig zowel voor de wormen als voor het milieu. Een alternatief voor formaline is mosterdextract. Lawrence en Bowers (2002) en Chan en Munro (2001) hebben deze methode op verschillende gronden in Amerika en Australië uitgetest. Resultaten laten zien dat deze methode een goed alternatief kan zijn voor het steken van de plaggen (tot 30 cm diepte). Vanwege de onevenwichtige verdeling van regenwormen in de bodem moeten minimaal 6 plaggen per perceel worden gestoken om een representatief beeld van een perceel te krijgen.

Nadeel van het steken van plaggen is de verstoring van de graszode. Met name voor proefveldjes op grasland is dit niet wenselijk. Een alternatieve methode is de Oktett-methode waarbij via stroomvelden de wormen de grond uit worden gedreven. Volgens de ontwikkelaar van dit apparaat wordt hiermee 88% van de werkelijke hoeveelheid wormen gemeten (Thielemann, 1986). Dit lijkt echter grondsoort en vocht afhankelijk. Met name op zandgrond wordt met deze methode een veel lager aantal wormen gevangen in vergelijking met de plaggen-methode. In een vergelijkend onderzoek op zandgrond, werden met de Oktett-methode enkel 0-50% van de wormen gevonden die met de plaggen-methode werd gemeten (van Eekeren, ongepubliceerde data).

Nadat de wormen uit plaggen zijn uitgezocht zijn de aantallen per m² berekend, is het versgewicht bepaald en zijn de wormen gedetermineerd op groep- en soortniveau.

In het project zijn ook het aantal wormengangen onder aan een kluit van 20x20 cm geteld op 10 cm en 20 cm diepte. Mogelijk is dit een stabielere maat voor regenwormen die relatief makkelijk te bepalen is. In de vruchtwisselingproef in Gent en de klaverproef in Marle werd een rechtlijnig verband gemeten tussen wormengangen en wormenbiomassa (zie figuur 4.5.1) (van Eekeren et al., 2008; 2009b). Jammer genoeg is dit verband echter niet in de bemestingsproef in Bakel en de 20 percelen proef gemeten (van Eekeren et al., 2009a; 2009c). Hoogstwaarschijnlijk is dit afhankelijk van de dominante wormensoorten op een locatie. Pendelaars zoals de *Aporrectodea longa* en *Lumbricus terrestris*, en strooiselbewoners zoals de *Lumbricus rubellus*, onderhouden hun gangen, maar bodembewoners zoals *Aporrectodea caliginosa* maken niet echt gangen omdat ze door de grond heen vreten (Faber, persoonlijke communicatie). Hetzelfde geldt voor observaties aan wormenhoopjes. In een project van Alterra-WUR is gekeken of wormenhoopjes een makkelijke maat voor wormenaantallen kon zijn. Wormenhoopjes zijn echter ook soort afhankelijk. Pendelaars hebben per worm één uitgang en wormenhoopje, terwijl strooiselbewoners, zoals *Lumbricus rubellus*, meerdere wormengangen en hoopjes per worm kunnen hebben.



Figuur 4.5.1: Verband tussen wormengangen en wormenbiomassa (van Eekeren et al., 2008)

Observaties aan wormengangen en wormenhoopjes kunnen wel meegenomen bij de beoordeling van de kuil. Sporen van pendelaars (bijvoorbeeld verticale wormengangen dieper dan 30 cm) zijn bijvoorbeeld een goede indicator voor het herstellend vermogen van de grond en de mogelijkheid tot ontsluiting van de onderlaag met 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 mogelijke streefwaarde en de bandbreedte voor regenwormen weergegeven.

Tabel 4.5.2: Streefwaarde en bandbreedte van regenwormen (Rutgers et al., 2007)

Indicator	Landgebruik	Referentie	Gemiddeld	5% laagste	5% hoogste
Regenworm dichtheid	Melkveehouderij op zand	285	163	24	388
	Halfnatuurlijk grasland op zand	150	108		
	Akkerbouw op zand	77	30	0	118
Regenwormen taxa	Melkveehouderij op zand	4.8	4.6	3.0	7.0
	Halfnatuurlijk grasland op zand	7.0	6.5		
	Akkerbouw op zand	2.8	1.8	0.0	4.7

Het al dan niet aanwezig zijn van wormen onder grasland is een belangrijk gegeven. Kloen (1988) concludeert uit verschillende literatuurgegevens dat 100 wormen m² het minimum aantal is voor grasland om een positief effect te hebben in de graszode. Voor zandgrond moet echter het streven zijn om meer dan 300 wormen m² te hebben.

Relaties met andere bodemparameters

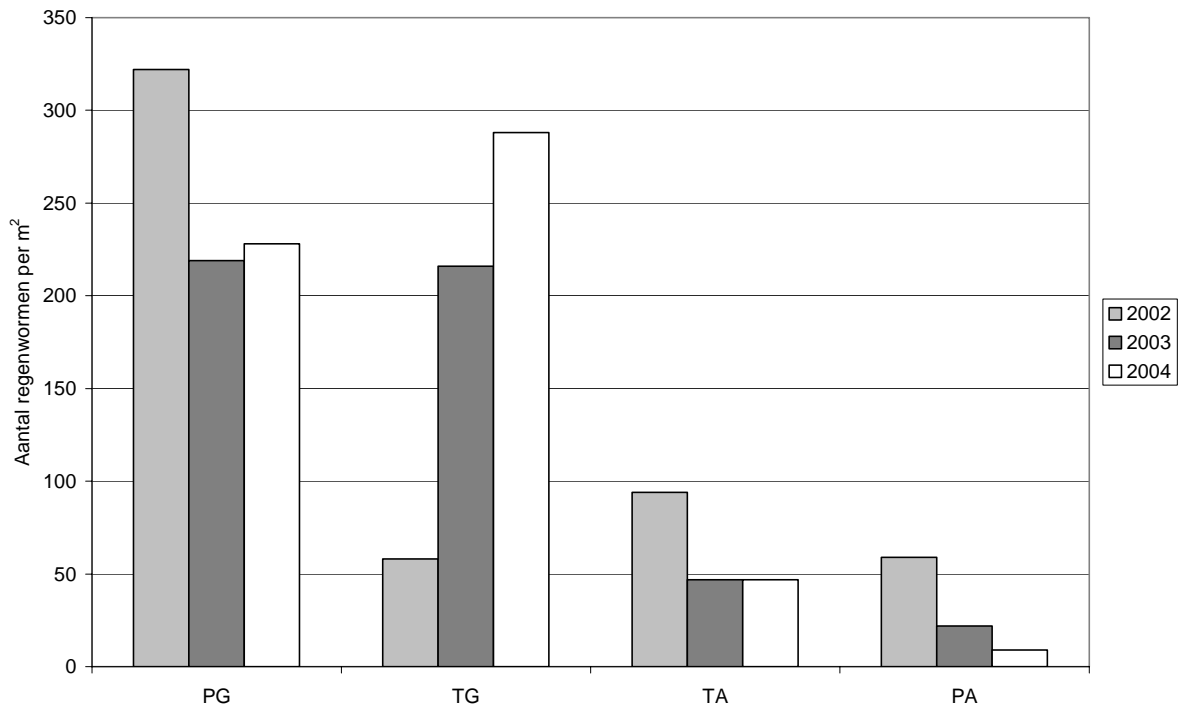
Naast relaties met bodemstructuur, bodemdichtheid en indringingsweerstand (zie: Relaties met ecosysteemdiensten en opbrengst), hangen wormenaantallen sterk samen met pH en bekalking (zie: Beïnvloeding door management).

Relaties met ecosysteemdiensten en opbrengst

Relaties tussen wormenbiomassa en wormengangen zijn gevonden in de vruchtwisselingproef in Gent en de klaverproef in Marle en zouden zich theoretisch vertalen naar een verbetering van ecosysteem dienst "waterregulatie", door een hogere waterinfiltratie (Bouché en Al-Addan, 1997). In de 20 percelen proef kon er echter geen relatie worden gelegd tussen wormengangen en waterinfiltratie (van Eekeren et al., 2009c). Wormen lijken ook belangrijk voor het onderhoud van de bodemstructuur onder een meerjarig grasgewas. In een experiment van Clements et al. (1991), verlaagde de aanwezigheid van regenwormen de bodemdichtheid. In de bemestingsproef in Bakel was er ook een negatieve relatie ($r=-0.64$) tussen de aanwezigheid van strooiselbewonende regenwormen en de bodemdichtheid. In hetzelfde experiment werd een positieve relatie ($r=+0.51$) gemeten tussen wormenbiomassa en het percentage kruiden in de bodem (van Eekeren et al., 2009a). Naast deze positieve relaties van wormenparameters met ecosysteemdiensten als waterregulatie en onderhoud van bodemstructuur zijn er in de 20 percelen proef weinig relaties gemeten met parameters van grasopbrengst. Echter de aanwezigheid van veel strooiselbewoners lijkt een indicatie te zijn van een lage respons van N-opbrengst op N-kunstmest en de aanwezigheid van veel bodembewoners geeft juist het tegengestelde aan.

Beïnvloeding door management

Verstoring door scheuren van grasland is een zeer bepalende factor voor wormenaantallen en diversiteit. Op bouwland worden duidelijk minder wormen gevonden dan onder grasland (tabel 4.5.2). In de vruchtwisselingproef in Gent was ook nog eens duidelijk te zien dat wormen zich langzaam herstellen in tijdelijk grasland (zie figuur 4.5.2) en dat wormen na omzetting van tijdelijk grasland in bouwland snel verdwenen zijn (van Eekeren et al., 2008). Dat een voedselrijk milieu een positieve uitwerking heeft op wormenaantallen blijkt uit de correlatie tussen de C/N-verhouding in de wortelmassa en de wormenaantallen in de klaverproef in Marle (van Eekeren et al., 2009b). Het lijkt erop dat zowel kunstmest, organische mest als stikstofbinding van klaver een positief effect hebben op wormenaantallen zolang er geen negatief effect is op pH. Van der Wal et al. (2009) toont in de graslandproef op de Ossenkampen nogmaals aan dat de biomassa van regenwormen zowel door productie als bekalking positief wordt beïnvloedt. Dit in tegenstelling tot de biomassa van potwormen die enkel door productie wordt bepaald.



Figuur 4.5.2: Verloop van het aantal regenwormen onder oud grasland (PG), tijdelijk grasland na 3 jaar maïs (TG), 3 jaar maïs na tijdelijk grasland (TA) en continueelt maïs (PA)

Meetbaarheid van de indicator

Het bepalen van het aantal wormen kost veel tijd. Door de ruimtelijke variatie moeten meerdere pluggen gestoken worden om een betrouwbaar beeld te krijgen. Daarnaast is de wormenpopulatie door het seizoen ook aan sterke schommelingen onderhevig.

Bruikbaarheid van de indicator

Met name voor het onderhoud van bodemstructuur onder blijvend grasland lijken wormen cruciaal. De indicatoren wormenaantallen en biomassa kosten veel tijd en zijn door de variatie in een perceel en over het seizoen slecht reproduceerbaar. 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 de verschillende visuele observaties (bijvoorbeeld: wel of geen aanwezigheid van wormen, groepen wormen, wormengangen ondiep en op diepte, wormenhoopjes etc) aan regenwormen een aantal handvatten.

4.6 Springstaarten en mijten

Algemeen

Springstaarten (*Collembola*) zijn vleugellose insectachtige. De meeste hebben een springvork. De dieper in de bodem levende soorten hebben geen springvork maar haken, waarmee ze zich kunnen terugtrekken in nauwe

poriën. Springstaarten komen in grote aantallen en soorten voor. Springstaarten voeden zich met plantenresten, mest en schimmels. Voornamelijk gewasresten met een lage C/N-verhouding zijn gunstig. Springstaarten dragen ruim bij aan de voedselvoorziening van gewassen omdat ze zich onder andere voeden met schimmels en zo via hun uitwerpselen nutriënten vrijmaken. Door hun graasgedrag op schimmeldraden moedigen ze ook de schimmels tot groeien aan, waardoor die op hun beurt de potentiële voedingsruimte vergroten.

De functies van springstaarten zijn:

1. Beschikbaar maken van nutriënten door verkleinen en afbraak van organisch materiaal;
2. Reguleren van schimmelgroei;
3. Bodemstructuurverbetering door aggregaatvorming.

Ook mijten zijn in de bodem in grote aantallen aanwezig (nog meer dan springstaarten) en zijn belangrijk voor de afbraak van organische materialen. Ze behoren tot de spinachtigen. De meeste komen in de bovenste 20 cm voor. Dode resten van planten en mest zijn voor veel soorten het belangrijkste voedsel. Mijten zijn, meer dan springstaarten, vooral jagers op bijna alles wat voorkomt en kleiner dan zij zelf zijn. Het menu bestaat dan ook uit bacteriën, protozoën, schimmels, nematoden, springstaarten en kleinere mijten. Om deze reden zijn ze van groot belang voor het ecologische evenwicht in de grond.

Functies:

Beschikbaar maken van nutriënten door verkleinen en afbraak van organisch materiaal;

Regulatie van schimmel- en bacteriepopulaties;

Verspreiden van micro-organismen;

Humusvorming, door uitwerpselen die in losse clusters voorkomen en moeilijk afbreekbaar zijn en zo positief bijdragen aan de bodemstructuur.

Analysemethode

Per plot of locatie zijn in het project 3-5 steekmonsters van de bovenste bodemlaag 0-5 cm genomen met een diameter van 5,8 cm. Mijten en springstaarten worden in een Tullgrenapparaat uit de monsters geëxtraheerd door geleidelijke uitdroging gedurende een week. De in alcohol (70%) opgevangen mijten en springstaarten worden overgebracht op objectglazen met 10% melkzuur en na opheldering tot op soortniveau gedetermineerd (Schouten e.a., 2000). Met behulp van de database van Alterra zijn de aantallen per soort gegroepeerd in voedselgroepen en overlevingsstrategieën. Om waardevol te zijn als indicator voor het functioneren van het bodemvoedselweb moet er minimaal een indeling in voedselgroepen worden gemaakt.

Streefwaarde en bandbreedte

In de referentie voor biologische bodemkwaliteit zijn mogelijke streefwaarde en de bandbreedte voor springstaarten en mijten weergegeven.

Tabel 4.6.1: Streefwaarde en bandbreedte van springstaarten en mijten (Rutgers et al., 2007)

Indicator	Landgebruik	Referentie	Gemiddeld	5% laagste	5% hoogste
Springst/mijt dichtheid	Melkveehouderij op zand	43500	44700	14700	123000
	Halfnatuurlijk grasland op zand	87900	120000		
	Akkerbouw op zand	20660	23511	3851	72605
Springst/mijt taxa	Melkveehouderij op zand	24	27	15	41
	Halfnatuurlijk grasland op zand	24	23		
	Akkerbouw op zand	24	22	11	31

Relaties met andere bodemparameters

In de vruchtwisselingproef in Gent en de klaverpoef in Marle zijn geen metingen aan springstaarten en mijten gedaan. In de 20 percelen proef waren springstaarten en mijten vaak aan dezelfde parameters gecorreleerd maar tegengesteld. Het aantal springstaarten was positief gecorreleerd met bodemparameters die representatief zijn voor een goed functionerend bodemvoedselweb, terwijl het aantal mijten toenam onder opstandigheden waarin zich veel koolstofrijk strooisel ophoopte. Iets vergelijkbaars werden gevonden door Smeding et al. (2005) in een studie naar de typologie van voedselwebben van melkveebedrijven op zand. In een bepaald type vonden ze veel meer mijten en springstaarten. Zij verklaarden dit door mogelijk terugval van andere groepen, die minder competitie of predatie gaven (voorbeeld van een 'lateraal voedselwebeffect'). De voedselwebstructuur maakte de indruk van een beperkt metabolisme in de grond met daarbij een meer oppervlakkig bodemleven. In deze studie werden springstaarten en mijten als één groep behandeld. In de 20 percelen proef vinden we een vergelijkbare effect, maar dan met name bij mijten.

Relaties met ecosysteemdiensten en opbrengst

In de 20 percelen proef waren het totaal aantal springstaarten en mijten positief gecorreleerd met de potentiële mineraliseerbare C en N ($r=+0.50$ en $+0.47$ respectievelijk). Het percentage mijten liet echter een negatieve correlatie zien met de respons van de N-opbrengst van gras op N-kunstmest ($r=-0.47$).

Beïnvloeding door management

Van Eekeren et al. (2003) beschrijft met name invloeden van bemestingsniveau op springstaarten en mijten. In het bemestingsonderzoek in Bakel en Aver Heino vond Jagers op Akkershuis et al. (in publicatie) een invloed van zowel mestsoort als bemestingsniveau op de soortensamenstelling van mijten en springstaarten.

Meetbaarheid van de indicator

Met name determinatie van springstaarten en mijten op soortniveau neemt veel tijd in beslag. Als mogelijk alleen aantallen springstaarten en mijten hoeven te worden geteld kunnen metingen efficiënter worden gedaan.

Bruikbaarheid van de indicator

Mogelijk zijn aantallen en/of percentages springstaarten en mijten een indicator voor een goed of slecht functionerend voedselweb onder grasland. Hiermee komt deze indicator in een nieuw daglicht en zouden huidige analyse technieken mogelijk efficiënter kunnen worden uitgevoerd.

4.7 Koolstofrespiratie en stikstofmineralisatie

Algemeen

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

Stikstof is een belangrijke voedingsstof voor de plant. De N-mineralisatie uit de organische stof is met aërobe en anaërobe labmethode bepaald.

Analysemethoden

Potentiële C-mineralisatie

De potentiële N mineralisatie wordt bepaald door gehomogeniseerde en gezeefde (< 5mm) grond te incuberen in luchtdichte potten bij 20°C (Bloem et al., 1994). Tussen week 1 en week 6 worden de concentraties zuurstof en kooldioxide regelmatig gemeten met gaschromatograaf. De ademhaling wordt berekend uit de verschillen in zuurstof concentratie tussen week 1 en week 6.

Potentieel mineraliseerbare C

De grond wordt eerst gedroogd bij 40 °C en gemalen over een 2 mm zeef. 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% WHC. 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.

Veldrespiratie

Gemeten wordt de hoeveelheid koolzuur die door de bodem uitgescheiden wordt. Hiertoe wordt een ring met een diameter van 15 cm en een hoogte van 15 cm 10 cm diep de grond ingeslagen. Erover wordt een deksel met een rubberen stop gedaan. Het geheel is luchtdicht afgesloten. Na 30 minuten wordt een naald waaraan een Draegerbuisje is bevestigd door de stop gestoken en wordt 5 maal 100 cc lucht door het Draegerbuisje gezogen.

Een Draegerbuisje bevat een stof die blauwpaars wordt onder invloed van koolzuur. De lengte waarover is een maat voor het koolzuurgehalte van de lucht (Koopmans en Brands, 2003).

Potentiële N-mineralisatie

De potentiële N mineralisatie wordt bepaald door gehomogeniseerde en gezeefde (< 5mm) grond te incuberen in luchtdichte potten bij 20°C (Bloem et al., 1994). De N mineralisatie wordt bepaald aan deze grond. 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, en NH₄ en NO₃ worden via een kleurreactie gemeten met een auto-analyser. Bij de mineralisatie doen voornamelijk aërobe micro-organismen het werk. De aërobe potentiële stikstofmineralisatie benadert de veldsituatie het best, hoewel de structuur van het materiaal verandert is.

Potentieel mineraliseerbare N

Een andere toegepaste methode is incubatie van een grondmonster gedurende 1 week onder water bij 40°C (Keeny en Nelson, 1982; Canali en Benedetti, 2006). Deze meer kunstmatige warme en zuurstofarme omstandigheden zijn optimaal voor een snelle mineralisatie van organische stof door anaërobe 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 anaërobe incubatie heeft als voordeel boven de aërobe dat er onder waterverzadigde omstandigheden weinig immobilisatie van stikstof optreedt en de stikstof als ammonium vrijkomt en makkelijk te meten is.

Streefwaarde en bandbreedte

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

Tabel 4.7.1: Streefwaarde en bandbreedte van potentiële C- en N-mineralisatie (Rutgers et al., 2007)

Indicator	Landgebruik	Referentie	Gemiddeld	5% laagste	5% hoogste
Pot. N-mineralisatie (mg N/kg wk)	Melkveehouderij op zand	12	9	3	17
	Halfnatuurlijk grasland op zand	10	14		
	Akkerbouw op zand	6	4	3	7
Pot. C-mineralisatie (mg C/kg wk)	Melkveehouderij op zand	61	66	21	127
	Halfnatuurlijk grasland op zand	104	117		
	Akkerbouw op zand	50	42	11	92

Relaties met andere bodemparameters

De potentiële C-mineralisatie is niet sterk gecorreleerd met andere bodemparameters. Potentieel mineraliseerbare C is 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). De potentiële N-mineralisatie is 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 de 20 percelenproef sterk gecorreleerd met N-totaal ($r=+0.87$), over verschillende jaren en proeven was dit minder ($r=+0.33$ in 144 proefplotjes).

Relaties met ecosystemendiensten en opbrengst

De verschillende parameters kunnen als indicator dienen van de ecosystemedienst nutriënten levering. In de 20 percelen proef was er een tendens dat potentieel mineraliseerbare N in combinatie met andere indicatoren de respons van N-opbrengst op N-kunstmest kon voorspellen.

Beïnvloeding door management

In de vruchtwisselingproef in Gent hadden de graslanden een hogere potentieel mineraliseerbare C en potentiële N-mineralisatie dan de bouwlanden. Het tijdelijke bouwland in vruchtwisseling had hogere waarde dan het bouwland met continue teelt maïs (van Eekeren et al., 2008). De verschillende mestsoorten in de proef in Bakel hadden geen effect op de potentiële C-mineralisatie. De kunstmestbehandeling onderscheidde zich van de behandelingen met organische mest in een lagere potentieel mineraliseerbare N en potentiële N-mineralisatie (van Eekeren et al., 2009a). In de klaverproef in Marle had klaver een hogere potentieel mineraliseerbare C en potentiële N-mineralisatie dan de behandelingen met grasklaver en gras. Grasklaver had hogere waarde dan gras zonder N-bemesting (van Eekeren et al., 2009b).

Meetbaarheid van de indicator

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 uitgevoerd. De potentieel mineraliseerbare N wordt routinematig met NIRS door het BGG onder de naam van BFI op de markt gebracht.

Bruikbaarheid van de indicator

Voor onderzoek is het noodzakelijk om deze proces indicatoren te blijven meten en te ontwikkelen. Voor de praktijk zijn het vooralsnog dure analyses die sterk gecorreleerd zijn aan organische stofgehalte en/of N-totaal.

5 Conclusies

5.1 Abiotische indicatoren

- Het organische stofgehalte, C-totaalgehalte, N-totaalgehalte en afgeleide indicatoren als C-percentages en C/N-verhouding zijn basisindicatoren voor bodemkwaliteit. Ze zijn sterk gerelateerd met andere abiotische en biotische parameters, ecosysteemdiensten en het stikstofleverend vermogen van de grond oftewel de opbrengst van grasland bij 0 kg N bemesting. De C/N-verhouding van de organische stof is één van de weinig abiotische indicatoren die correleert met de respons van N-opbrengst op N-kunstmest.
- Er is een positieve relatie tussen pH en bodemstructuur en pH en biologische activiteit. Door de geringe spreiding in de pH van de bemonsterde percelen kon geen relatie met opbrengst worden aangetoond. Naast het gehalte aan organische stof en N-totaal is de pH een van de basisindicatoren van bodemkwaliteit.
- Een routinematige bepaling van bodemdichtheid en bodemweerstand lijkt vanwege de monsterkosten en de geringe beïnvloedbaarheid door management niet zinvol. Beoordeling van de verdichting kan voor de praktijk beter visueel aan een kluit en in een kuil worden gedaan.
- De visuele beoordeling van bodemstructuur is een relatief makkelijke observatie aan een kluit en ook beïnvloedbaar is door management. Daarmee is dit één van de basisindicatoren voor de beoordeling van bodemkwaliteit in het veld.
- De waterinfiltratie is een tijdrovende analyse in het veld. De beoordeling aan kuil en kluit (o.a. observaties van verdichting en wormengangen), geven ook een indruk van het infiltrerend vermogen van water.

5.2 Biotische indicatoren

- De bewortelingsintensiteit is een potentieel belangrijke indicator maar is op basis van het uitspoelen van wortels een tijdrovende analyse. Een minder tijdrovende methode als wortels tellen lijkt iets anders te meten. Mogelijk biedt de relatie met plantentende nematoden soelaas. De diepte van beworteling is makkelijk visueel vast te leggen en is op zandgrond sterk gerelateerd aan de diepte van de donkere bovenlaag.
- Activiteitsmetingen aan bacteriën en schimmels lijken het meest te zeggen over ecosysteemdiensten en opbrengst en worden het meest beïnvloed door management op landbouwgrond. Aangezien deze metingen nog niet routinematig worden uitgevoerd en daarom kostbaar zijn, is dit nog een belangrijke barrière voor de invoering van deze metingen in de praktijk.
- Aangezien nematoden in een aantal trophische niveaus van het bodemvoedselweb vertegenwoordigd zijn, is het een interessante indicator voor het functioneren van het voedselweb. Indirect zou het aantal of percentage herbivore nematoden ook een maat kunnen zijn voor de wortelbiomassa in de laag 0-10 cm. De mogelijkheden voor een routinematige bepaling maken dit op korte termijn tot een zeer waardevolle laboratoriummethode voor biologische bodemkwaliteit.
- Potwormen lijken redelijk uniek in het voorspellen van de respons van de N-opbrengst van gras op N-kunstmest. Dit in combinatie met het gegeven dat potwormen redelijk makkelijk zijn te extraheren, maakt dit een indicator met veel potentie die nader onderzocht moet worden.

- Met name voor het onderhoud van de bodemstructuur onder blijvend grasland lijken wormen cruciaal. De indicatoren wormenaantallen en wormenbiomassa kosten veel tijd en zijn door de variatie in een perceel en over het seizoen slecht reproduceerbaar. Voor de praktijk geven de verschillende visuele observaties met betrekking tot regenwormen een aantal handvatten (bijvoorbeeld: wel of geen aanwezigheid van wormen, groepen wormen, wormengangen ondiep en op diepte, wormenhoopjes etc.).
- Er zijn aanwijzingen dat aantallen en/of percentages springstaarten en mijten een indicator zijn voor een goed of slecht functionerend voedselweb onder grasland.

6 Aanbevelingen

6.1 Praktijk

- Leg bij de interpretatie van de uitslag van de bodemanalyse nog meer de nadruk op de uitkomsten van het gehalte aan organische stof, C-totaal, N-totaal en afgeleide parameters als C-percentages en C/N-verhouding en op de mogelijkheden tot beïnvloeding door management. Door veel veehouders wordt bij de interpretatie van bodemanalyses de nadruk gelegd op bijvoorbeeld elementen als natrium terwijl het stikstofleverend vermogen niet wordt gebruikt.
- Maak meer gebruik van het C/N-verhouding van de bodem als criterium om al dan niet klaver te telen.
- Gebruik de observaties aan de bodemstructuur van een kluit als basis voor de beoordeling in het veld. Probeer deze met bijvoorbeeld een keukenweegschaal te kwantificeren.
- Maak observaties in de kuil aan worteldiepte en observeer het aantal levende (witte) en dode (bruine) wortels op de verschillende dieptes (10 cm, 20 cm, 30 cm en 40 cm).
- Beoordeel de hoeveelheid strooisel, het aantal wormenhoopjes en wormengangen aan de bodemoppervlakte. Beoordeel bij een kluit of er wel of geen wormen, wormengroepen of wormengangen zijn. Beoordeel in de kuil sporen van wormen en wormengangen in diepere lagen.
- Het stikstofleverend vermogen oftewel de N-opbrengst bij 0 kg N bemesting is relatief goed te voorspellen uit parameters als gehalte aan organische stof en N-totaal. De grootste winst voor een betere N-benutting lijkt te zitten in de voorspelling van de respons van N-opbrengst op N-kunstmest. Hier lijken mogelijkheden te zijn voor indicatoren als potwormen en in mindere mate de C/N-verhouding. De praktijk moet onderzoek naar het voorspellende karakter van deze indicatoren stimuleren.

6.2 Onderzoek

- De relatie tussen C/N-verhouding en de respons van N-opbrengst op stikstofbemesting moet nader worden onderzocht.
- Onderzoek nader hoe het C-percentages als simpele maat voor organische stofkwaliteit kan worden gebruikt.
- Meet de bodemdichtheid en bodemweerstand op een proefperceel enkel om een inschatting te kunnen maken van de toestand van het proefperceel. Voor inzicht in het effect van behandelingen zijn extreme verschillen tussen behandelingen noodzakelijk en moeten de metingen vaak herhaald worden.
- De relatie van de beworteling met plantetende nematoden moet verder worden uitgewerkt als mogelijk alternatieve methode voor de bepaling van bewortelingsintensiteit.
- Topprioriteit heeft de uitwerking van de relatie tussen potwormen en de respons van N-opbrengst op N-kunstmest.
- De indicatorfunctie van het percentage mijten voor het al dan niet functioneren van het bodemvoedselweb moet nader onderzocht worden.

Literatuur

- Bloem, J., Vos, A., 2004. Fluorescent staining of microbes for total direct counts. In: Kowalchuk, G.A., De Bruijn, F.J., Head, I.M., Akkermans, A.D.L., Van Elsas, J.D. (Eds), *Molecular Microbial Ecology Manual*, 2nd edition, pp. 861-874. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Bloem, J., Bolhuis, P.R., 2006. Thymidine and leucine incorporation to assess bacterial growth rate. In: Bloem J., Hopkins, D.W., Benedetti, A. (Eds.), *Microbiological Methods for Assessing Soil Quality*, pp. 142-149. CABI, Wallingford, UK.
- Bloem, J., Breure, A.M., 2003. Microbial indicators. In "Bioindicators/Biomonitoring – Principles, Assessment, Concepts" (B.A. Markert, A.M. Breure and H.G. Zechmeister, editors), pp. 259-282. Elsevier, Amsterdam.
- Bloem, J., Schouten, A.J., Sørensen, S.J., Rutgers, M., van der Werf, A., Breure, A.M., 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.
- Bloem, J., Veninga, M., Shepherd J., 1995. Fully automatic determination of soil bacterium numbers, cell volumes and frequencies of dividing cells by confocal laser scanning microscopy and image analysis. *Appl. Environ. Microb.* 61, 926-936.
- Boer, H. de, Eekeren, N. van, 2007. Bodemverdichting door berijden bij zodebemesten: effecten op opbrengst en voederwaarde van gras-klaver, bodemstructuur en biologische bodemkwaliteit. Rapport 47, 20 pp.
- Boer, H. de, Eekeren, N. van, Hanegraaf, M., 2007. Ontwikkeling van opbrengst en bodemkwaliteit van grasland op een zandgrond bij bemesting met organische mest of kunstmest. Rapport 69, 29 pp.
- Bokhorst, J., Berg, C. ter, 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, 14-19.
- Bouché, M. B., 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, D.W., Benedetti, A. (Eds), *Microbiological Methods for Assessing Soil Quality*, pp. 23-49. CABI, Wallingford, UK, pp. 127-135.
- Chan, K., Munro, K., 2001. Evaluating mustard extracts for earthworm sampling. *Pedobiologia* 45, 272-278.
- Didden, W.A.M., 1991. Population ecology and functioning of Enchytraeidae in some arable farming systems. Proefschrift Wageningen Universiteit. pp 116.
- Eekeren, N. van, Heeres, E., Smeding, F.W., 2003. Leven onder de graszode: Discussiestuk over het beoordelen en beïnvloeden van bodemleven in de biologische melkveehouderij. Louis Bolk Instituut.

Eekeren, N. van, Bommelé, L., Bloem, J., Rutgers, M., Goede, R. de, Reheul, D., Brussaard, L., 2008. Soil biological quality after 36 years of ley-arable cropping, permanent grassland and permanent arable cropping. *Applied Soil Ecology* 40, 432-446

Eekeren, N. van, Boer, H. de, Bloem, J., Schouten, T., Rutgers, M., Goede, R. de, Brussaard, L., 2009a. Soil biological quality of grassland fertilized with adjusted cattle manure slurries in comparison with organic and inorganic fertilizers. *Biology and Fertility of Soils*, in press.

Eekeren, N. van, Liere, D. van, Vries, F. de, Rutgers, M., Goede, R. de, Brussaard, L., 2009b. A mixture of grass and clover combines the positive effects of both plant species on selected soil biota. *Applied Soil Ecology*, in press.

Eekeren, N. van, Boer, H. de, Hanegraaf, M., Bokhorst, J., Nierop, D., Bloem, J., Schouten, T., Goede, R. de, Brussaard, L., 2009c. Relationships of soil abiotic and biotic parameters with soil process parameters of ecosystem services and grassland production parameters. Submitted.

Eekeren, N. van, Burgt, G.J. van der, Schouten, T., 2009d. Kringlopen sluiten naar 100% biologische mest: Is de afvoer van mest van invloed op de bodemkwaliteit van een melkveebedrijf? *Ekoland* 4, 14-15.

FAO, 2006. Guidelines for soil description, Fourth Edition. FAO, Rome, Italy, 97 pp.

Goede, R., Brussaard, L., 2001. Voorlopige resultaten van het bodembologisch onderzoek binnen de veldproef van het Mineralenproject VEL en VANLA: Effecten van toevoegmiddelen en mestaanwendig op de bodemfauna en bodemrespiratie. In: Een nieuw milieuspoor: Tussenrapportage mineralenproject VEL en VANLA 1998-2000. Verhoeven F. (ed.). Wageningen Universiteit en Praktijonderzoek veehouderij. pp 21.

Kloen, H., 1988. Introductie en handhaving van regenwormen in gemengde biologische bedrijven. Scriptie Landbouw Universiteit Wageningen.

Kok, I., Wiersma, T.J., Schils, R., Sikkema, K., 2002. Bemestingsproef Vel & VANla. Intern rapport 490, ASG-WUR, pp. 45.

Keeney, D.R., Nelson, D.W., 1982. Nitrogen - Inorganic forms. In "Methods of soil Analysis", Part 2. (Black C.A., Evans D.D., White J.L. Ensminger L.E., Clark F.E., editors). Madison WI: Am Soc Agron, pp.682-687.

Koopmans, C., Brands, L., 2003. Testkit bodemkwaliteit: ondersteuning van duurzaam bodembeheer. Louis Bolk Instituut, Driebergen.

Lawrence, A.P., Bowers, M.A., 2002. A test of 'hot' mustard extraction method of sampling earthworms. *Soil Biology & Biochemistry* 34, 549-552.

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

Rutgers, M., Mulder, C., Schouten, A.J., Bloem, J., Bogte, J.J., Breure, A.M., Brussaard, L., Goede, R.G.M. de, Faber, J.H., Jagers op Akkerhuis, G.A.J.M., Keidel, H., Korthals, G., Smeding, F.W., Berg, C. ter, Eekeren, N. van,

2008. Soil ecosystem profiling in the Netherlands with ten references for biological soil quality. Report 607604009, RIVM, Bilthoven, The Netherlands.

Schooten, H. van, Eekeren, N. van, Hanegraaf, M., Burgt, G.J. van der, Visser, M. de, 2006. Effect meerjarige toepassing groenbemester en organische mest op bodemkwaliteit bij continueelt mais. Zorg voor Zand rapport nr. 2, 32 pp.

Schouten A.J., J. Bloem, A.M. Breure, W.A.M. Didden, M.van Esbroek, P.C. de Ruiter, M. Rutgers, H. Siepel & H. Velvis (2000). Pilot project Bodembioologische Indicator voor Life Support Functies van de bodem. RIVM rapport 607604001.

Smeding, F.W., Eekeren, N. van, Schouten, A.J., 2005. Bodemvoedselwebben op melkveebedrijven -Methode voor een kwalitatieve analyse van de voedselwebstructuur. Intern rapport 14, Bioveem, Lelystad. 36 pp.

Sprangers, J.T.C.M., Arp, W.J., 1999. Toetsingsparameters dijkgrasland. IBN-rapport. IBN-DLO.

Thieleman, U., 2002. Elektrische Regenwurmfang mit der Oktett-methode. *Pedobiologia* 29, 296-302.

Vries, F. T. de, Hofland, E., Eekeren, N. van, Brussaard, L., Bloem, J., 2006. Fungal/bacterial ratios in grassland with contrasting nitrogen management. *Soil Biology & Biochemistry* 38: 2092-2013.

Wal, A. van der, Geerts, R.H.E.M., Korevaar, H., Schouten, A.J., Jagers op Akkerhuis, G.A.J.M., Rutgers, M., Mulder, C., 2009. Dissimilar response of plant and soil biota communities to long-term nutrient addition in grassland. *Biology and Fertility of Soils* in press.