

Leven onder de graszode

**Discussiestuk over het beoordelen
en beïnvloeden van bodemleven
in de biologische melkveehouderij**

Nick van Eekeren
Ellen Heeres
Frans Smeding



LOUIS BOLK INSTITUUT

Colofon

©Louis Bolk Instituut, 2003

Foto's: Louis Bolk Instituut, GAW, Foto Natura

Vormgeving: Fingerprint, Driebergen

Deze publicatie is te bestellen onder nummer LV 52.

Louis Bolk Instituut
Hoofdstraat 24
3972 LA Driebergen
Tel.: (0343) 52 38 60
Fax: (0343) 51 56 11
e-mail: info@louisbolk.nl
www.louisbolk.nl

Voorwoord

De invloed van het bodemleven op de dagelijkse boerenpraktijk en vice versa, is een ingewikkelde materie. Door bestaande kennis over bodemleven te bundelen en op een concrete manier te presenteren, willen wij graag een aanzet geven tot een constructieve discussie tussen praktijk en onderzoek. Wij zien dit rapport als een eerste stap en hopen dan ook op veel reacties van lezers om gezamenlijk dit onderwerp verder op te pakken.

Deze publicatie is geschreven in het kader van het project "Bodembioologische Parameters" onderdeel van de programmafinanciering PO34 (LNV). Onze dank gaat uit naar Ina Pinxterhuis van het Praktijkonderzoek Animal Sciences Group (ASG) voor de ondersteuning van deze studie. cursussen "Kijken naar grond" met Coen Ter Berg, in onder andere de Proeftuin Duinboeren en de Proeftuin St. Anthonius van het PANFA-project, waren een belangrijke inspiratiebron om het begrip bodemleven in de praktijk meer handvatten te geven. De samenwerking met Sjoerd Smits van Van Iersel Compost bij proeven met compost op de melkveebedrijven van Gerrit Verhoeven en Jos van Esch, heeft het blikveld van deze studie verbreed. Veel informatie waarop het rapport zich baseert, komt uit het zogenaamde BoBi-project waarmee via het project BIOVEEM een goede samenwerking is gegroeid. Onze dank gaat daarbij uit naar de collega van BIOVEEM, Matteo de Visser (Praktijkonderzoek-ASG) en de projectgroepleden van het BoBi-project: Ton Schouten (RIVM), Michiel Rutgers (RIVM), Ton Breure (RIVM), Jaap Bloem (Alterra), Gerard Jagers op Akkerhuis (Alterra), Wim Dimmers (Alterra), Harm Keidel (BLGG) en Wim Didden (WUR-Bodemkwaliteit). Bijzondere dank is verschuldigd aan Ton Schouten en Jaap Bloem voor hun betrokkenheid en hun commentaar op de concepthoofdstukken over nematoden, bacteriën, schimmels en protozoën. De samenwerking met Jacqueline Baar (PPO-paddestoelen) op het gebied van Mycorrhizaschimmels heeft veel verduidelijkt over dit onderwerp en ook leverde zij waardevol commentaar op de tekst over dit onderwerp. Ook dank aan alle veehouders die participeren in het bodembioologisch onderzoek van BIOVEEM en het BoBi-project. Wij hopen dat dit rapport iets meer inzicht geeft in de berg cijfers en hopen dat jullie in de toekomstige discussie verder willen bijdragen. Last but not least gaat onze dank uit naar onze collega's Ton Baars, Jan Bokhorst en Chris Koopmans, voor hun ondersteuning en bijdrage aan dit rapport.

Nick van Eekeren (n.vaneeekeren@louisbolk.nl)

Ellen Heers (e.heeres@louisbolk.nl)

Frans Smeding (f.smeding@louisbolk.nl)

Driebergen, december 2003

Inhoud

Voorwoord 3

1. Inleiding 9

- 1.1 Aanleiding en doel 9
- 1.2 Uitgangspunt 9
- 1.3 Leeswijzer 10

Deel A Bodemleven als geheel 11

2. Bodemleven 13

- 2.1 Samenstelling 13
- 2.2 Ecologie 14
- 2.3 Bodemvoedselweb 15

3. Functies van het bodemleven in de biologische melkveehouderij 17

- 3.1 Samenhang van functies 17
- 3.2 Functies op een rij 19
 - 3.2.1 Aanvoeren van nutriënten in de bodem 19
 - 3.2.2 Beschikbaar maken van nutriënten 19
 - 3.2.3 Opname van water en nutriënten door planten 20
 - 3.2.4 Vastleggen van nutriënten 20
 - 3.2.5 Bodemstructuurverbetering door aggregaatvorming 21
 - 3.2.6 Bodemstructuurverbetering door profielontsluiting 21
 - 3.2.7 Ziektewering 22

4. Managementinvloeden van de biologische melkveehouderij op bodemleven 25

- 4.1 Samenhang van managementinvloeden op bodemleven 25
 - 4.1.1 Een centrale rol voor gras en klaver 25
 - 4.1.2 Invloed van uitgangssituatie 26
 - 4.1.3 Directe of indirecte managementinvloed 27
 - 4.1.4 Verstregeling van managementinvloeden 28
- 4.2 Managementinvloeden op een rij 28
 - 4.2.1 Klaver 28
 - 4.2.2 Bemesting 29
 - 4.2.2.1 Bemestingsniveau 29
 - 4.2.2.2 Mesttoedieningstechniek 32
 - 4.2.2.3 Toevoegmiddelen 34
 - 4.2.2.4 Mestsoort en mestsamenstelling 34
 - 4.2.2.5 Maai- en beweidingsrseten, stroresten of andere koolstofrijke bijproducten 36
 - 4.2.2.6 Bekalken en pH 37
 - 4.2.3 Graslandgebruik 38
 - 4.2.3.1 Maaien verus weiden 38
 - 4.2.3.2 Vertrappings- of rijshade 39
 - 4.2.3.3 Grondbewerking voor herinzaai en vruchtwisseling 40
 - 4.2.3.4 Enten 42

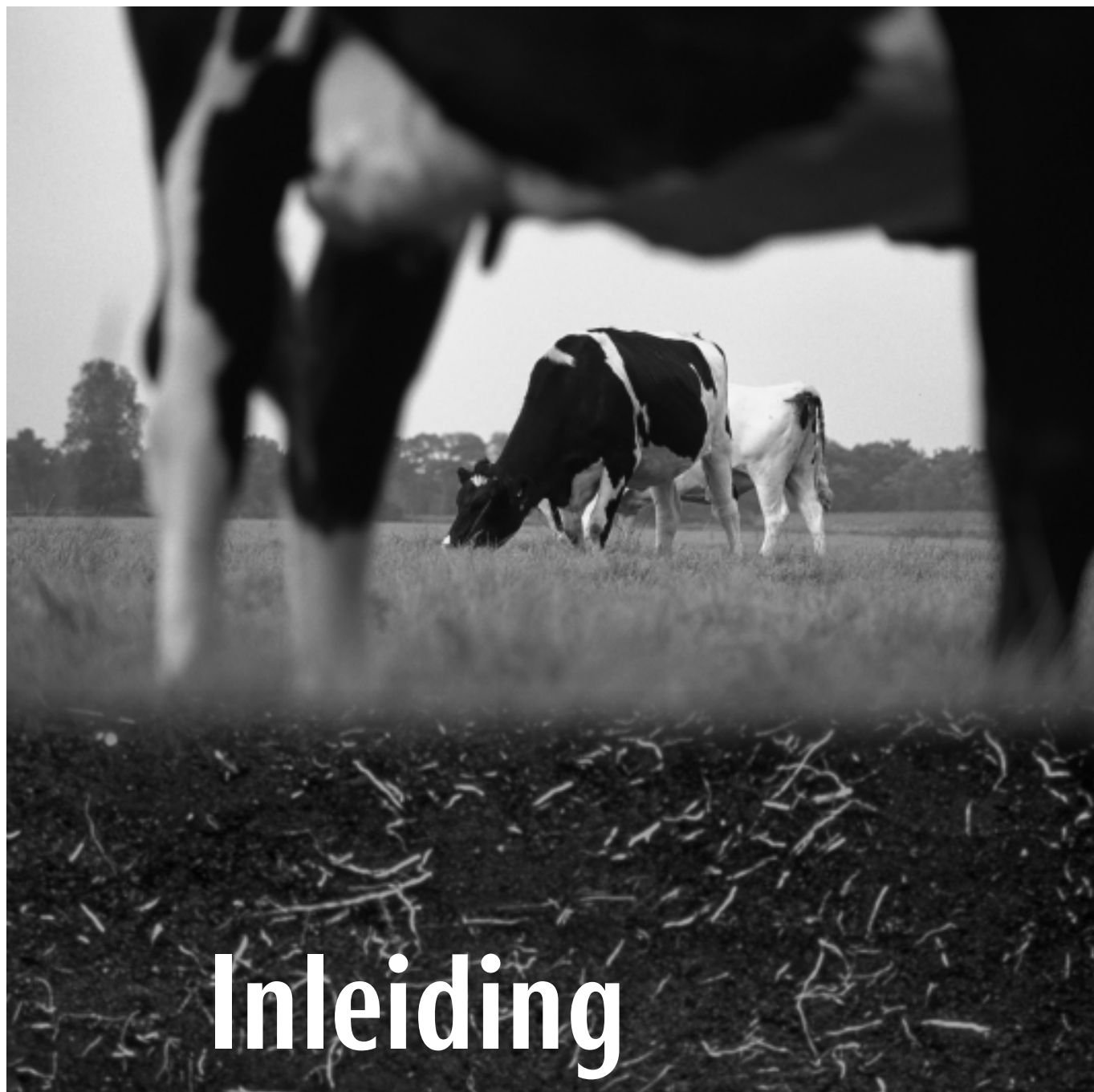
- 5. Meten en beoordelen van het functioneren van het bodemleven** 45
 - 5.1 Meten en beoordelen van de samenhang 45
 - 5.2 Meten en beoordelen van individuele functies 48
 - 5.2.1 Meten en beoordelen van aanvoeren van nutriënten in de bodem 48
 - 5.2.2 Meten en beoordelen van beschikbaar maken van nutriënten 49
 - 5.2.3 Meten en beoordelen van opname van nutriënten en water door planten 50
 - 5.2.4 Meten en beoordelen van vastleggen van nutriënten 50
 - 5.2.5 Meten en beoordelen van bodemstructuurverbetering door aggregaatvorming 50
 - 5.2.6 Meten en beoordelen van bodemstructuurverbetering door profielontsluiting 53
 - 5.2.7 Meten en beoordelen van ziektevering 53
 - 5.3 Meten en beoordelen in de praktijk en voor praktijkonderzoek 53
- 6. Samenvatting en conclusies** 57
 - 6.1 De kapstok voor onderzoek en praktijk 57
 - 6.2 Functies van bodemleven in de biologische veehouderij 57
 - 6.3 Managementinvloed van de biologische melkveehouderij op bodemleven 58
 - 6.4 Meten en beoordelen van het functioneren van het bodemleven 59

Deel B Bodemleven op een rij 61

- 7. Beworteling** 63
 - 7.1 Beworteling en interacties met bodem en bodemleven 63
 - 7.2 Beworteling gras en klaver 64
 - 7.3 Functionaliteit 66
 - 7.4 Groei van een meerjarig gras 67
 - 7.5 Managementinvloed 68
 - 7.6 Meten en indicatorwaarde 71
 - 7.7 Onderzoeksvragen 72
- 8. Bacteriën en schimmels** 75
 - 8.1 Algemene beschrijving 75
 - 8.1.1 Bacteriën 75
 - 8.1.2 Schimmels 75
 - 8.1.3 Verhouding schimmels en bacteriën 76
 - 8.2 Diversiteit 77
 - 8.3 Functionaliteit 79
 - 8.4 Managementinvloed 81
 - 8.4.1 Factoren van invloed op de Rhizobiumbacterie 81
 - 8.4.2 Factoren van invloed op bacteriën en schimmels 81
 - 8.5 Meten en indicatorwaarde 85
 - 8.6 Onderzoeksvragen 87
- 9. Mycorrhizaschimmels** 89
 - 9.1 Algemene beschrijving 89
 - 9.2 Diversiteit 89
 - 9.3 Functionaliteit 90
 - 9.4 Managementinvloed 92
 - 9.5 Meten en indicatorwaarde 94
 - 9.6 Onderzoeksvragen 94

10. Protozoën	97
10.1 Algemene beschrijving	97
10.2 Diversiteit	97
10.3 Functionaliteit	98
10.4 Managementinvloed	99
10.5 Meten en indicatorwaarde	100
11. Nematoden	103
11.1 Algemene beschrijving	103
11.2 Diversiteit	104
11.3 Functionaliteit	107
11.3.1 Positief	107
11.3.2 Negatief	107
11.4 Managementinvloed	109
11.5 Meten en indicatorwaarde	112
11.6 Onderzoeksvragen	113
12. Regenwormen	115
12.1 Algemene beschrijving	115
12.2 Diversiteit	118
12.3 Functionaliteit	118
12.4 Managementinvloed	121
12.5 Meten en indicatorwaarde	125
12.6 Onderzoeksvragen	126
13. Potwormen	129
13.1 Algemene beschrijving	129
13.2 Diversiteit	129
13.3 Functionaliteit	130
13.4 Managementinvloed	130
13.5 Meten en indicatorwaarde	132
13.6 Onderzoeksvragen	132
14. Springstaarten en mijten	135
14.1 Algemene beschrijving	135
14.1.1 Springstaarten	135
14.1.2 Mijten	135
14.2 Diversiteit	136
14.3 Functionaliteit	137
14.4 Managementinvloed	138
14.5 Meten en indicatorwaarde	138
14.6 Onderzoeksvragen	140

Literatuur	141
-------------------	-----



Inleiding

- 1.1 Aanleiding en doel**
- 1.2 Uitgangspunt**
- 1.3 Leeswijzer**



Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

In de biologische landbouw wordt veel waarde gehecht aan bodemleven. Dit komt tot uiting in de IFOAM-richtlijnen (2002) waarin termen staan als "een levende bodem", "soorten diversiteit", "zelfregulerende processen" etc. In de dagelijkse praktijk gaan veel biologische boeren bewust met bodemleven om. Dit uit zich bijvoorbeeld door de keuze voor een stalsysteem met vaste mest, die deels gemotiveerd is door een positief effect op bodemleven en bodemstructuur. Ook is voor een grote groep reguliere melkveehouders eind jaren '90, een duurzaam bodembeheer, een belangrijk motief geweest om naar biologische landbouw om te schakelen.

Over bodemleven is veel specialistische kennis beschikbaar. Deze kennis is echter slecht voor de praktijk toegankelijk. In de praktijk zijn wel ervaringen hoe de bodemkwaliteit positief of negatief wordt beïnvloed. Verklaringen voor deze ervaringen blijven vaak in algemene termen steken als "het bodemleven" of "de bodem". Er kan daarom gesteld worden dat de link tussen ervaringskennis en formele kennis op het gebied van bodemleven zwak is. Redenen hiervoor zijn dat formele wetenschappelijke kennis weinig toegespitst is op de blikrichting binnen de praktijk. Ook blijft bodemleven als het ware een "black-box" waarvan een veehouder moeilijk een beeld kan vormen. Het kan vergeleken worden met de pens van de koe in de veevoeding, waarvan met behulp van de pensfistel een tip van de sluier is opgelicht. In tegenstelling tot de pens kun je in de grond gewoon graven. Dan rijst echter de vraag: Waar moet je op letten in de grond? Als je de vergelijking met de pens doortrekt, dan zijn er in de veevoeding de afgelopen jaren allerlei indicatoren voor de praktijk ontwikkeld, waarmee processen in de koe zichtbaar zijn gemaakt. Voor bodemleven zijn door onderzoek ook indicatoren ontwikkeld, maar deze zijn nog weinig toegankelijk voor de praktijk. Veehouders stellen vaak 3 vragen over bodemleven:

1. Welke functies heeft het bodemleven voor mijn bedrijfsvoering?
2. Hoe kan ik het bodemleven en haar functies beïnvloeden met mijn bedrijfsvoering?
3. Hoe kan ik de effecten van mijn bedrijfsvoering op het bodemleven meten en beoordelen?

Het doel van dit rapport is drieledig:

- Concretiseren van de functies, managementinvloeden en het meten van bodemleven in biologisch grasland;
- Informatie over bodemleven op een rij zetten specifiek voor de biologische melkveehouderij en biologische grasland: diversiteit, functionaliteit, managementinvloed, meten en indicatorwaarde;
- Uitwerken van een voorstel voor een eenvoudig model of kapstok waarmee de veehouder de invloed van zijn management op bodemleven beter kan plaatsen.

Het uiteindelijke doel is om tot een verdere uitwisseling van ervaringskennis en formele kennis te komen. Deze uitwisseling moet uiteindelijk leiden tot praktijkgericht onderzoek over bodemleven en bewuster en gefundeerder handelen van de veehouder. Het rapport is geschreven voor veehouders, adviseurs en praktijkonderzoekers.

1.2 Uitgangspunt

Uitgangspunt voor dit rapport is de biologische melkveehouderij die geen kunstmeststoffen gebruikt. Voor de stikstofvoorziening wordt gebruik gemaakt van vlinderbloemige als Witte klaver. Daarnaast is de aanvoer met organische mest uit beweiding en bemesting, beperkt tot 170 kg stikstof per ha (EKO) en 112 kg stikstof per ha (BD). Mineralen als calcium, fosfor en kalium mogen eventueel door natuurlijke delfstoffen worden aangevuld mits tekorten zijn aangetoond. De biologische melkveehouderij gebruikt geen chemisch bestrijdingsmiddelen en maakt geen preventief gebruik van antibiotica en ont-

wormingsmiddelen. Koeien worden in het zomerseizoen geweid.

De biologische melkveehouderij streeft doorgaans naar een stabiele productie en niet naar een maximale productie. Intentioneel is daarom de bedrijfsvoering gebaseerd op preventief management en wordt gestreefd naar een hoge mate van zelfregulatie van het bedrijfssysteem. Eén van de middelen om deze stabiele productie te verkrijgen is een duurzaam bodembeheer waarin zelfregulatie, veerkracht en herstellend vermogen van de bodem centraal staan. Een divers en goed functionerend bodemleven maakt hier onderdeel van uit.

Deze randvoorwaarden, namelijk de beperking in meststoffenkeuze en bestrijdingsmiddelen en de intenties van de biologische landbouw, kunnen worden vertaald in een doelstelling voor biologisch grasland: een stabiele productie binnen het seizoen en door de jaren heen. Een duurzaam bodembeheer gebaseerd op een divers bodemleven is hiervoor waarschijnlijk de sleutel.

1.3 Leeswijzer

Dit themaboek bestaat uit twee delen: deel A en B. In beide delen wordt in gegaan op de drie centrale vragen:

1. Wat zijn de functies van bodemleven?
2. Welke managementinvloed heeft de biologische melkveehouderij op bodemleven?
3. Hoe kan bodemleven gemeten en beoordeeld worden?

In deel B worden deze vragen beantwoord voor de individuele bodemorganismen terwijl in deel A wordt gekeken vanuit het bodemleven als geheel. Deel A is al het ware de uitwerking van deel B. Waarin deel B ondersteunende en aanvullende informatie bevat.

gewas

+bew

Deel A: Bodemleven als geheel

bodem

bo



Bodemleven

- 2.1 Samenstelling**
- 2.2 Ecologie**
- 2.3 Bodemvoedselweb**

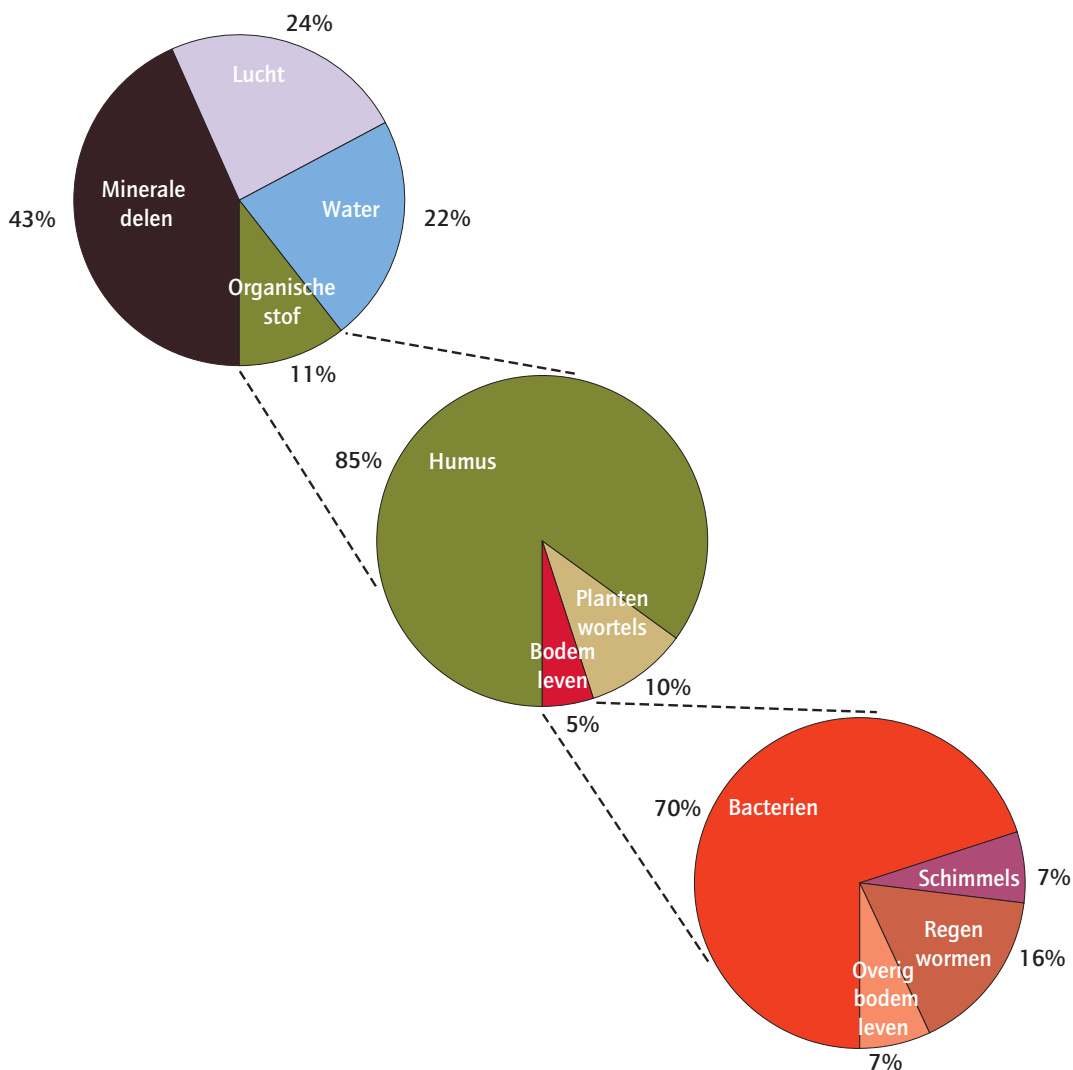


2 Bodemleven

2.1 Samenstelling

In de bodem maakt het bodemleven ongeveer 5% van de organische stof uit (figuur 2.1). De graszode van Durk Oosterhof (Biologische melkveehouder in Drachten) bevat ongeveer 4500 kg levend gewicht aan bodemleven per hectare. Dat is gelijk aan het gewicht van 7 melkkoeien of gve's boven de grond. Samen met de 2 gve's boven de grond is Durk daarmee een vrij intensieve biologische melkveehouder.

Het bodemleven bestaat uit verschillende organismen die kunnen worden ingedeeld naar soort of grootte (tabel 2.1). Het grootste deel van de biomassa bestaat uit bacteriën en regenwormen. Ook schimmels maken een substantieel deel uit van de biomassa, afhankelijk van de bodem en omstandigheden. Alle belangrijke groepen organismen die vermeld staan in tabel 2.1 worden uitvoerig besproken in deel B.



Figuur 2.1: Samenstelling van bodem en bodemleven (naar Hendrix, 2000)

Tabel 2.1: Onderverdeling en levend gewicht van bodemleven onder de graszode van Durk Oosterhof

Onderverdeling		Bodemleven	Levend gewicht kg/ha ¹⁾	Koeien 600 kg
Flora (plantjes)	Micro-Flora	Bacteriën en Actinomyceten	3000	5
		Schimmels	300	0,5
Fauna (diertjes)	Micro-Fauna	Protozoën	100	0,17
		Nematoden	10	0,02
	Meso-fauna (< 200 µm)	Springstaarten en Mijten	20	0,03
	Macro-fauna (> 2 mm)	Potwormen	200	0,33
		Regenwormen	700	1,17
Totale levende biomassa aan bodemleven in laag 0-10/15 cm van grasland			4330	7,22

¹⁾ Berekend uit cijfers uit het BoBi-project en Bioveem, gemiddelde van 1999 en 2002

2.2 Ecologie

Waar en hoe leven al deze bodemorganismen? Henri Boumans (melkvee- en varkenshouder te Bakel) zegt hierover: "Net als mijn varkens heeft het bodemleven huisvesting, voeding, water en zuurstof nodig".

Huisvesting

Bodemleven heeft ruimte nodig om in te leven en actief te zijn. Sommige bodembeestjes zoals regenwormen kunnen hun eigen gangen creëren. Andere, zoals nematoden (aaltjes) zijn afhankelijk van de aanwezige poriën om in te leven. Het bodemleven is niet regelmatig verdeeld over de bodem, er zijn een aantal plekken waar de activiteit van het bodemleven zich concentreert. Deze plekken maken minder dan 10% van het bodemvolume uit, terwijl daar wel meer dan 90% van het bodemleven aanwezig is (Beare e.a., 1995). Eén van die plekken is de omgeving rondom de wortels (de zogenaamde 'rhizosfeer'). Andere bekende '*hot spots*' zijn: de microporiën in aggregaten, de omgeving van gangen van regenwormen en dood organisch materiaal zoals gewasresten.

Voeding

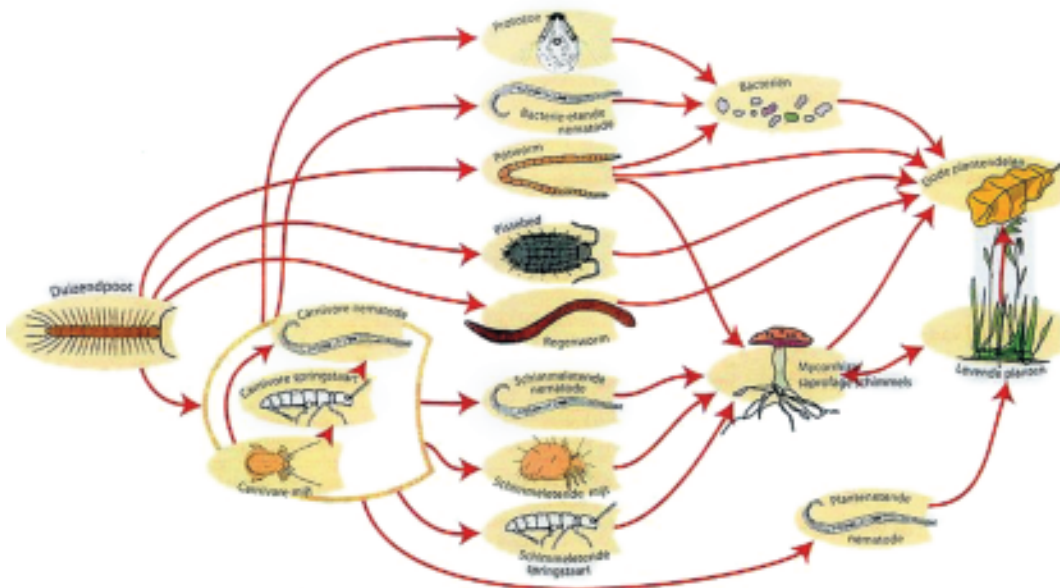
De voeding van het bodemleven is in essentie vergelijkbaar met de voeding van de koe. Het gaat om energie en eiwit. Energie zijn koolstofverbindingen (C) en eiwitten zijn stikstofverbindingen (N). Elk onderdeel van het bodemleven heeft andere behoefte aan C en N. Bacteriën worden juist gestimuleerd door stikstofrijk materiaal terwijl schimmels juist van koolstofrijk materiaal leven. Er zal dan ook uit verschillende bronnen voedsel gehaald worden. Het ene bodemorganisme zal het halen uit afgestorven plant materiaal, terwijl ander bodemorganismen zijn energie en eiwit juist verkrijgt door het eten van bacteriën en schimmels.

Water, zuurstof en temperatuur

Zonder water en zuurstof kunnen de meeste bodemorganismen niet leven. Bij droogte trekken wormen zich dieper terug in de bodem of gaan in een soort van ruststadium. Ook protozoën reageren sterk op het vochtgehalte in de bodem en hebben daarmee een sterke invloed op de mineralisatie. Te veel aan water is ook weer niet goed want een sterk water verzadigde bodem is zuurstofarm. Een aantal bacteriën kunnen echter wel onder deze anaërobe omstandigheden leven, maar bijvoorbeeld schimmels hebben absoluut zuurstof nodig. Vaak loopt onder anaërobe condities de biologische activiteit sterk terug met alle gevolgen voor wortel- en plantengroei. Activiteit van bodemleven wordt ook door de bodemtemperatuur bepaald, hoewel dit ook verschilt per organisme. Bacteriën kunnen vanaf ca. 2 en 3 °C actief zijn (Bloem, mondelinge mededeling), terwijl regenwormen bij koude, diepere grondlagen opzoeken of in rust gaan.

2.3 Bodemvoedselweb

Zoals hierboven is beschreven bestaat het bodemleven uit verschillende organismen. Al deze onderdelen van het bodemleven zijn op verschillende manieren aan elkaar gerelateerd. Het meest duidelijk blijken hun onderlinge relaties vanuit het gezichtspunt van voedselketens oftewel het bodemvoedselweb (Brussaard e.a., 1997). Een voedselketen onder een graszode heeft een de trapsgewijze opbouw (figuur 2.2). Net zoals boven de grond, is er onder de grond ook sprake van eten en gegeten worden. In de ondergrond heb je daarbij ook planteneters (bijvoorbeeld plantenetende nematoden) en soorten die 'grazen' op dood organisch materiaal (bacteriën en schimmels). Deze primaire grazers, die in figuur 2.2 aan de rechterkant staan, zouden ook wel de ondergrondse koeien kunnen worden genoemd. De primaire grazers worden op hun beurt weer gegeten door protozoën, nematoden, springstaarten en mijten. Hoger in het bodemvoedselweb worden deze weer gegeten door predatoren als roofaaltjes, roofmijten en -springstaarten, duizendpoten, spinnen, mollen en vogels (Smeding en De Snoo, 2003; Brussaard, 1998). Hierdoor ontstaat hoger in de voedselketens een link tussen het ondergrondse- en het bovengrondse voedselweb. Regenwormen lijken in deze voedselketen aan de basis te staan maar kunnen ook gekenmerkt worden als schimmel- en bacterie-eters. Ze leven namelijk van dood organisch materiaal dat eventueel is voorverteerd door bacteriën en schimmels. Nematoden (aaltjes) komen op verschillende plaatsen in het voedselweb voor, en kunnen daardoor indicaties geven over de opbouw van dat voedselweb.



Figuur 2.2: Schematische weergave van een bodemvoedselweb (overgenomen van R. de Goede WUR-bodemkwaliteit)



Functies van het bodemleven in de biologische veehouderij

3.1 Samenhang van functies

3.2 Functies op een rij



3 Functies van het bodemleven in de biologische veehouderij

In dit hoofdstuk worden de functies van het bodemleven besproken voor de biologische melkveehouderij. Eerst komt de samenhang van de verschillende functies aan de orde, gevolgd door een beschrijving van de individuele functies.

3.1 Samenhang van functies

Er zijn een drietal hoofdfuncties onderscheiden die elk weer verder kunnen worden onderverdeeld. De belangrijkste hoofdfuncties van het bodemleven zijn: het reguleren van de nutriëntenstroom, de verbetering van de bodemstructuur en ziektevering. Een verdere onderverdeling van beide eerstgenoemde functies kan als volgt:

1. Reguleren nutriëntenstroom: aanvoer van nutriënten, beschikbaar maken van nutriënten, opname van nutriënten en water door de plant en het vastleggen van nutriënten;
2. Verbetering bodemstructuur: structuurverbetering door aggregaatvorming en structuurverbetering door profielontsluiting;
3. Ziektevering.

Samenhang

In tabel 3.1 wordt een overzicht gegeven van de verschillende functies en de onderdelen van het bodemleven die daarbij betrokken zijn. Deze functies kunnen niet los van elkaar worden gezien. Bijvoorbeeld, zonder een goede bodemstructuur zakt de grond in elkaar, waardoor er niet genoeg zuurstof is voor omzettingen die nodig zijn om stikstof beschikbaar te maken voor de plant. Bovendien, als er geen organisch materiaal wordt omgezet dan zijn er onvoldoende bacteriën die de bodemstructuur zouden kunnen herstellen.

Tabel 3.1: Matrix van functies van het bodemleven en de groepen uit het bodemleven die verantwoordelijk zijn voor deze functies

Functies	Beworteling ¹⁾	Bacteriën	Schimmels	Mycorrhiza	Protozoën	Nematoden	Regenwormen	Potwormen	Sprinkstaarten + Mijten
Aanvoeren van nutriënten in de bodem	X	X							
Beschikbaar maken van nutriënten		X	X	X	X	X	X	X	X
Opname van nutriënten en water door planten	X	X							
Vastleggen van nutriënten	X	X	X	X	x	x	X	X	x
Bodemstructuurverbetering door aggregaatvorming	X	X	X	X			X	X	x
Bodemstructuurverbetering door profielontsluiting	X						X		
Ziektevering	X	X	X	X	X	X			X

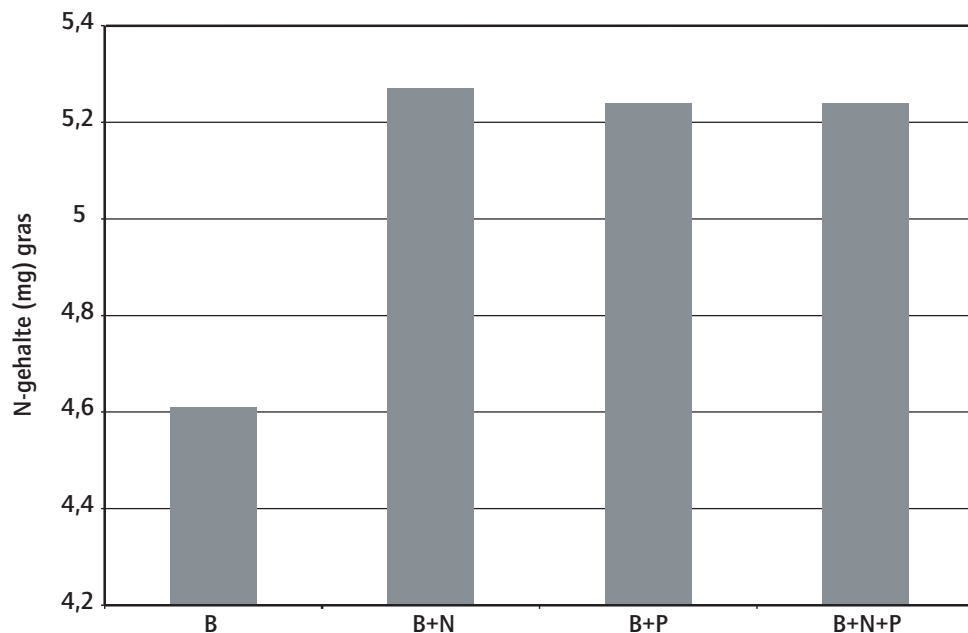
¹⁾ Beworteling is formeel geen onderdeel van het bodemleven maar vormt wel een belangrijke schakel tussen bodem, bodemleven en gewas. Om die reden is het toch meegenomen in deze matrix.

Alvorens in te gaan op de verschillende functies is het belangrijk om een handvat te hebben hoe het belang van de verschillende functies kan worden begrepen. Ten eerste zijn er functies die door slechts 1 groep verzorgd worden in tegenstelling tot functies die worden gedragen door meerdere groepen. In dat laatste geval is het mogelijk zinvol, dat de bedrijfsvoering aanstuurt op een diversiteit aan groepen. Ten tweede is het belangrijk om begrip te hebben van de hiërarchie tussen functies: sommige functies zijn belangrijker of bepalend voor andere functies. Deze twee aspecten worden hieronder eerst toegelicht.

Diversiteit voor stabiliteit

De functies van het bodemleven zijn met elkaar verweven. Het functioneren van het geheel wordt bepaald door de zwakste schakel in de keten en het effect van deze schakel op de overige organismen en functies. De verschillende functies vallen uiteen in twee typen:

1. Functies die worden uitgevoerd door één groep uit het bodemleven: Bijvoorbeeld, de aanvoer van stikstof door de Rhizobiumbacterie. Iedere biologische melkveehouder op zandgrond weet dat hij 4-6 ton droge stof gras/klaver per ha misloopt als de stikstofbinding niet goed loopt. Een ander, minder bekend voorbeeld voor veehouders is de functie van profielontsluiting door een bepaalde groep regenwormen. Voor een diepe beworteling onder blijvend grasland is deze wormengroep onontbeerlijk.
2. Functies in het bodemvoedselweb die door verschillende groepen of organismen kunnen worden ingevuld: Eén van deze functies is het beschikbaar maken van nutriënten voor planten. Nematoden en protozoën vervullen hierin een vergelijkbare rol, namelijk het eten van bacteriën waarbij nutriënten vrijkomen. In een proef is beoordeeld of protozoën meer stikstof vrijmaken dan nematoden of dat de combinatie van beide belangrijk is. Uit de resultaten blijkt dat het stikstofgehalte van Engels raaigras laag is, als het groeit op grond met alleen bacteriën (zie figuur 3.1). Worden deze bacteriën echter gegeten door nematoden, protozoën of de combinatie van de twee groepen dan is het stikstofgehalte hoger. Voor deze specifieke functie spelen dus zowel protozoën als nematoden een rol, maar zijn zij ook uitwisselbaar (Griffiths, 1989)



Figuur 3.1: Stikstofgehalte in Engels raaigras op grond met alleen bacteriën (B), bacteriën plus nematoden (B+N), bacteriën plus protozoën (B+P) of bacteriën plus nematoden plus protozoën (B+N+P) (Griffiths, 1989).

Uit het voorbeeld van nematoden en protozoën blijkt dat enkele bodemorganismen elkaars functie kunnen overnemen. Dit geeft een zekere stabiliteit aan het systeem want als protozoën wegvallen dan kunnen nematoden hun functies overnemen. Hoe meer echter een functie afhankelijk is van één enkele groep of zelfs van één soort, des te kwetsbaarder is het systeem. In eerste instantie kan aan de buitenkant van zo'n systeem niets te zien zijn, omdat alle functies nog worden uitgevoerd. Op het moment echter dat zo'n noodzakelijke bodemlevengroep verdwijnt kan het systeem in elkaar vallen. Voor de veerkracht en herstellend vermogen van het systeem is het daarom belangrijk dat de verschillende functies zoveel mogelijk door een diversiteit van bodemorganismen worden ingevuld. Volgens deze theorie creëert diversiteit van bodemorganismen de stabiliteit van het systeem.

Hiërarchie van functies

Doordat er zo'n sterke onderlinge samenhang is tussen functies lijkt het tegenstrijdig om te spreken over een rangorde van functies. Toch zijn er voor biologisch grasland functies aanwijsbaar die een basisvoorwaarde creëren voor de overige functies. Voor grasland zijn er op de eerste plaats de bodemstructuurverbeterende functies van het bodemleven. Deze functies zijn, vergeleken met bouwland, van cruciale betekenis voor grasland omdat het voor meerdere jaren aangelegd wordt, en voor het herstel van structuurproblemen op het bodemleven aangewezen is. In volgorde van belangrijkheid zou de tweede plaats kunnen zijn voor de functies die de stikstofbinding ondersteunen. Hiervoor moet klaver optimaal kunnen groeien. Vanwege de krappere bemesting in de biologische landbouw, zijn de andere functies echter een voorwaarde voor de stikstofbinding. Het gaat hierbij om het beter beschikbaar maken van nutriënten, het tijdelijk vastleggen van nutriënten en het verbeteren van de nutriënten opname voor klavers en gras. Eventueel kan de functie van ziektevering hierin ook een rol spelen.

3.2 Functies op een rij

In deze paragraaf worden de afzonderlijke functies van het bodemleven besproken. Bij een aantal functies wordt het specifieke belang voor de biologische melkveehouderij aangegeven.

3.2.1 Aanvoer van nutriënten in de bodem

Stikstofbinding

Normaliter vindt de aanvoer van nutriënten in de bodem direct plaats door depositie, bemesting en indirect via de afbraak van wortel- en gewasresten. In principe voegt het bodemleven geen nutriënten toe aan het bodem, maar maakt zij bestaande, dikwijls complexe, organische nutriëntenverbindingen beter beschikbaar voor de plant (zie 3.2.2). Stikstofbinding door de Rhizobiumbacterie, in symbiose met een vlinderbloemige plant, is hierop een uitzondering. De Rhizobiumbacterie is daarmee het belangrijkste bodemorganisme dat werkelijk mineralen (lees: stikstof) toevoegt aan het systeem. Klaver wordt dus niet voor niets 'de groene motor' van de biologische landbouw genoemd. Vrijlevende stikstofbindende bacteriën als Azobacter en de Boterzuurbacterie voegen ook wel wat stikstof aan het systeem toe, maar dit staat niet in verhouding tot de hoeveelheid die de Rhizobiumbacteriën vastleggen (zie ook hoofdstuk 8: Bacteriën en schimmels).

3.2.2 Beschikbaar maken van nutriënten

Mineralisatie

Als nutriënten in de bodem aanwezig zijn, heeft het bodemleven een algemene rol bij het voor beschikbaar maken van nutriënten uit organische stof, mineralenvoorraad, mest en wortel- en gewasresten. Deze functie wordt sterk gestuurd door het bodemvoedselweb en kan daarbinnen worden onderverdeeld in de volgende deelprocessen:

1. Verkleinen van organisch materiaal door wormen, potwormen, springstaarten en mijten;
2. Consumptie van dit verkleinde organische materiaal door micro-organismen (bacteriën en schimmels), die het gedeeltelijk gebruiken voor hun eigen groei;
3. Opeten van de micro-organismen (bacteriën en schimmels) door protozoën, nematoden, wormen, springstaarten en mijten.

Bij al deze omzettingen komen "afvalstoffen" vrij die weer als voeding voor andere bodemorganismen dienen of als in water oplosbare nutriënten, beschikbaar komen voor de plant. "Afvalstoffen" staat tussen haakjes, want het is eigenlijk de geproduceerde mest van het bodemleven. Vergelijk dit eens met een melkkoe die ook maximaal 35% van de opgenomen stikstof gebruikt voor de productie van melkeiwit; de rest van deze stikstof wordt via de mest en urine uitgescheiden. Net als mest van koeien bestaan de "afvalstoffen" van bodemleven niet alleen uit stikstof, maar ook uit fosfor, kalium en andere mineralen.

Voor de benutting van de door de Rhizobiumbacterie gebonden stikstof zijn deze omzettingsprocessen ook belangrijk. Echter, om de stikstofbinding optimaal te laten verlopen ligt binnen de biologische melkveehouderij meer de nadruk op de beschikbaarheid van de elementen die essentieel zijn voor de groei van klaver, zoals fosfor en kalium.

Omzetting naar opneembare voedingsstoffen

Naast mineralisatie maken bodemorganismen ook op andere manieren nutriënten beter beschikbaar voor de planten. Een voorbeeld is de omzetting van ammonium naar nitraat door nitrificerende bacteriën. Hierdoor komt de stikstof beter beschikbaar is voor het gewas (Schouten e.a., 2000). Belangrijk voor bedrijven op fosfaatfixerende gronden is de productie van het enzym fosfatase door Mycorrhizaschimmels waardoor fosfaat beter opneembaar wordt voor de plant (Ingham, 2001).

3.2.3 Opname van nutriënten en water door planten

Opname nutriënten

Een goed wortelstelsel betekent een groot worteloppervlakte waarmee de opname van nutriënten plaatsvindt. Door een uitgebreid haarwortelnetwerk wordt de afstand van de wortel naar immobiele elementen als fosfor verkleind. Hierdoor kunnen bij een lagere chemische bodemvruchtbaarheid toch nog voldoende nutriënten worden opgenomen. De mineralenbenutting wordt hierdoor dus verhoogd, en tevens worden de verliezen door uitspoeling beperkt. Een goede doorworteling is sterk afhankelijk van de bodemstructuur en is daarmee gerelateerd aan de functies van bodemleven omtrent bodemstructuurverbetering.

Naast de beworteling, leveren Mycorrhizaschimmels een bijdrage aan de opname van nutriënten door planten. In ruil voor energie (bijvoorbeeld koolstof als suikers) kunnen Mycorrhizaschimmels door middel van twee mechanismen de opname van nutriënten door het gewas verbeteren:

1. Net zoals bij andere schimmels vormen de schimmeldraden van Mycorrhiza een soort verlengd wortelstelsel, waardoor de plant immobiele elementen als fosfor beter kan ontsluiten.
2. Schimmeldraden van Mycorrhiza zijn relatief dun waardoor deze toegang hebben tot voedingstoffen waar wortels van planten niet bij kunnen (Ingham, 2001).

Opname water

Dankzij een betere beworteling en kolonisatie van Mycorrhizaschimmels, kan een eerste droogtestress voorkomen worden doordat de nutriëntenopname van de plant goed verzorgd is (Smith en Read, 1997). In verschillende proeven met maïs blijkt dat planten die met Mycorrhizaschimmels geënt zijn, beter resistent zijn tegen watertekort, een hogere productie hebben en een groter bladoppervlak (Gollner, 2003). Daarnaast is door een dichtere en diepergaande beworteling het beschikbare vochtreservoir groter en wordt tijdens droge periodes uit diepere grondlagen water gehaald (Hoving en Philipsen, 1999). Ook hier is deze functie van bodemleven sterk gerelateerd aan bodemstructuurvorming en met name profielontsluiting door regenwormen (zie ook hoofdstuk 12: Regenwormen).

3.2.4 Vastleggen van nutriënten

Indirect- en direct vastleggen van nutriënten door het bodemleven

Nutriënten die makkelijk opneembaar zijn voor planten zijn vaak ook makkelijk uitspoelbaar, bijvoorbeeld: nitraat en kalium. Het bodemleven heeft een belangrijke functie in het vastleggen van nutriënten. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt in direct versus indirect vasthouden van nutriënten. Het indirect vasthouden van nutriënten vindt plaats bij de bodemstructuurverbetering door aggregaatvorming (zie paragraaf 3.2.5). Daarnaast worden er bij de humusopbouw door het bodemleven nutriënten vastgelegd. Het directe vasthouden gebeurt bij het vastleggen van nutriënten in de levende biomassa van het bodemleven zelf. Als er ondergronds 4500 kg vers gewicht aan bodemleven aanwezig is, dan is daarin een grote hoeveelheid nutriënten vastgelegd. Door het eten en gegeten worden van het bodemleven komen nutriënten voortdurend vrij en worden deze ook weer direct vastgelegd. Belangrijk voor de veehouderij is juist de dynamiek en timing van het vastleggen van nutriënten in het bodemleven en het beschikbaar komen van deze nutriënten uit het bodemleven.

Vastleggen van nutriënten in het najaar

Door Witte klaver wordt nog laat in het seizoen stikstof gebonden. Veel van deze stikstof wordt in organische vorm (wortelknolletjes, wortel- en plantresten) over de winter heen getild. Deze stikstof draagt in het volgende voorjaar bij aan de productie van de eerste snede. In een warm najaar kan er echter nog

veel stikstof mineraliseren dat in de winter uitspoelt. Een specifieke functie van bodemleven zou moeten zijn om overtollige stikstof aan het einde van het groeiseizoen in de eigen biomassa vast te leggen. Daartoe moet de groei van bijvoorbeeld bacteriën en schimmels gestimuleerd worden door energie- en koolstofrijk materiaal aan te bieden (zie hoofdstuk 8: Bacteriën en schimmels).

3.2.5 Bodemstructuurverbetering door aggregaatforming

Bodemleven en aggregaatforming

Bacteriën kitten door slijmvorming bodemdeeltjes aan elkaar en zo ontstaan microaggregaten. Schimmels en Mycorrhizaschimmels houden met hun schimmeldraden kleine bodemdeeltjes bij elkaar en vormen hiermee macroaggregaten. Daarnaast zijn regenwormen en potwormen belangrijk voor de vorming van stabiele aggregaten. Zij eten zich door de grond heen, waardoor organische stof en bodemdeeltjes vermengd worden tot stabiele aggregaten. De organische stof kit de bodemdeeltjes bijeen en wordt tegen afbraak beschermd door de inbouw in de verschillende aggregaten. Hierdoor blijven op hun beurt, ook de aggregaten stabiel. Door dit alles neemt het luchtvolume in de bodem toe. Zo is in de Flevopolder na de introductie van wormen op grasland een toename van 40% in luchtvolume gemeten (Hoogerkamp e.a., 1983) (zie Hoofdstuk 12: Regenwormen). In een vergelijkend Zwitsers onderzoek, van biologische- en gangbare akkerbouwsystemen, was de aggregaatstabiliteit in de bodem van biologische systemen 10-60% hoger in vergelijking met de gangbare systemen (Mäder e.a., 2002).

Belang aggregaatforming

Door aggregaten krijgt de bodem als het ware een geraamte, waardoor zij niet inzakt. Als alle vaste deeltjes van de grond worden samengepakt, dan zou het bodemvolume voor slechts 40% uit fijne poriën bestaan. Na een regenbui zouden al deze fijne poriën met water opgevuld worden en de grond zou vervolgens dicht slaan. Om voldoende lucht in de grond te hebben is het noodzakelijk, dat een aantal poriën zo wijd is dat er geen water in kan blijven hangen en er van beneden geen water in kan opstijgen. Een bodem die aan zichzelf wordt overgelaten zal onder druk van zijn eigen gewicht en door berijden en beweiden steeds verder inzakken. Het poriënvolume nadert dan tot 40% en de zuurstofvoorziening van de plantenwortels, maar ook die van aërobe micro-organismen, zal onvoldoende zijn. Stabiele macro- en microaggregaten als gevolg van activiteit van het bodemleven, gaan dit proces tegen en leiden tot het ontstaan van een groter en stabielere poriënvolume.

Aggregaat- en poriënvorming bij herinzaai van grasland

In tegenstelling tot grasland wordt op bouwland ieder jaar de bovengrond losgemaakt. Bij een herinzaai van grasland ontstaat meestal een goede verhouding van grove en fijne poriën. Door het uitblijven van verdere grondbewerking na de herinzaai degenereren de wijde poriën en daalt dientengevolge het poriënvolume. Indien dit volume daalt onder 55%, dan wordt de grasgroei slechter en treedt de zogenaamde "sukkelperiode" van het nieuwe grasland in. Deze periode kan meerdere jaren duren. Het herstel van het poriënvolume na de "sukkelperiode" wordt voor een groot deel door het bodemleven verzorgd. Daarnaast spelen in de bovengrond, fysische processen als droogte en vorst ook een belangrijke rol.

3.2.6 Bodemstructuurverbetering door profielontsluiting

Regenwormen voor profielontsluiting

In geval van verdichting van de ondergrond is de beworteling van grasland vaak in de bovenste 5-10 cm van de bodem geconcentreerd. De beworteling kan door deze verdichting niet tot diepere grondlagen doordringen, waardoor de water- en nutriëntenvoorziening van het gras niet optimaal is. Een belangrijke functie van het bodemleven is het creëren of herstellen van de ontsluiting van het dieperliggende bodemprofiel. De functie wordt met name vervuld door regenwormen, vooral de groep "pendelaars". Deze wormen maken verticale gangen en geven wortels de mogelijkheid om door verdichte lagen heen te groeien. Hierdoor ontstaan zowel een betere drainage, resistentie tegen droogte als een betere benutting van nutriënten.



Foto: Wormengang met graswortels

3.2.7 Ziektewering

Mechanisme voor ziektevering

Naast nuttige organismen omvat het bodemleven ook ziekteverwekkende en plaagvormende organismen. Deze organismen maken echter ook deel uit van het bodemvoedselweb die een aantal mechanismen heeft om ziekten en plagen te reguleren:

- Competitie om voedsel, water en ruimte;
- Opeten van de ziekteverwekkers en plagen door andere organismen;
- Productie van groeiremmende stoffen door andere organismen, zoals bijvoorbeeld antibiotica door schimmels (Postma, 2000).

Over het algemeen zijn in biologisch grasland weinig problemen met bodemgerelateerde ziektes en plagen. Dit in tegenstelling tot de groenteteelt en akkerbouw, waar de mate van ziektevering van de bodem veel aandacht krijgt.

Specifiek voor de biologische melkveehouderij

Bodemgerelateerde ziekten en plagen die voor biologisch grasland problemen op kunnen leveren zijn:

- 1 Het Klavercystenaaltje: In de vestigingsfase, na inzaai, kunnen klaverciempantjes schade ondervinden van het Klavercystenaaltje waardoor het klaveraandeel in een gras/klaver onder druk staat. Ook in een gevestigde gras/klaver kan het Klavercystenaaltje schade veroorzaken (zie hoofdstuk 9: Nematoden).
- 2 Plantenetende nematoden: Op biologische melkveebedrijven worden doorgaans veel plantenetende nematoden gevonden. Hiervoor zijn verschillende verklaringen waaronder een hogere wortelmassa onder biologisch grasland (zie hoofdstuk 9: Nematoden).
- 3 Kiemschimmels bij inzaai van granen en Snijmaïs: Veehouders proberen dit te voorkomen door vroeger (wintergranen) of later (Snijmaïs) te zaaien. In een oriënterend onderzoek aan ziektevering van gronden tegen kiemschimmels bleek dat er geen verschil is tussen biologische- en gangbare akkerbouwbedrijven, wel waren er duidelijk meer problemen met kiemschimmels op zwaardere gronden (Hulscher en Lammerts van Bueren, 1999).
- 4 Pytiumschimmel bij de herinzaai van gras/klaver: Op zwaardere kleigronden zijn waarnemingen gedaan waarbij een te laat ingezaaide klaver wegviel in het voorjaar. Deze schade is mogelijk veroorzaakt door de Pytiumschimmel (Baars, 2002).



Management- invloeden van de biologische melkveehouderij op bodemleven

4.1 Samenhang van managementinvloeden op bodemleven

4.2 Managementinvloeden op een rij



4 Managementinvloeden van de biologische melkveehouderij op bodemleven

In hoofdstuk 3 zijn de functies van het bodemleven besproken. In dit hoofdstuk wordt aangegeven hoe een aantal dagelijkse managementmaatregelen het bodemleven en hun functies beïnvloeden. Kennis omtrent invloed van management op bodemleven is echter nog zeer summier. Door de complexiteit van het bodemvoedselweb kan bij metingen aan het bodemleven vaak wel achteraf verklaard worden waarom er een toe- of afname van bodemleven en de soortensamenstelling is. Het blijft echter moeilijk een voorspelling te doen hoe een managementpraktijk het bodemvoedselweb beïnvloed en daarmee de functies van het bodemleven. Ten behoeve van de discussie tussen de praktijk en onderzoek wordt een poging gedaan, de managementinvloeden op het bodemleven te concretiseren. Een deel van het hieronder geschrevene heeft echter vooralsnog een hypothetisch karakter en is een versimpeling van de werkelijkheid aangezien vooral wordt gekeken naar een biologisch geteelde gras/klaver op zandgrond. Voor andere bodemtypes kunnen de omstandigheden totaal verschillen. De uitdaging voor de toekomst is om specifieke uitspraken te doen voor uiteenlopende omstandigheden.

In paragraaf 4.1 wordt de samenhang tussen managementinvloeden onderling en andere bedrijfsfactoren besproken. In paragraaf 4.2 worden de invloed van een aantal dagelijkse managementpraktijken op bodemleven besproken.

4.1 Samenhang van managementinvloeden op bodemleven

4.1.1 Een centrale rol voor gras en klaver

Wortels maken grond

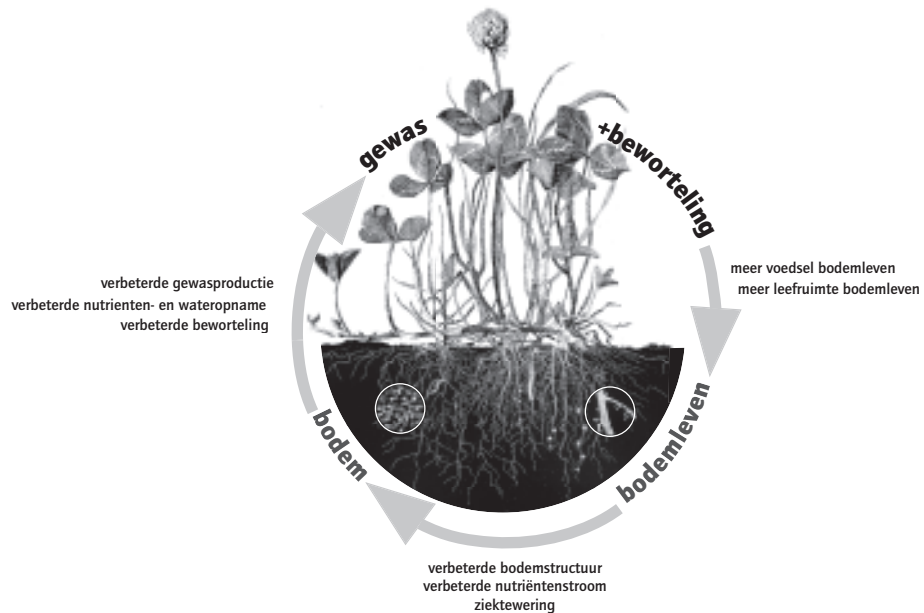
De invloed van management op het bodemleven kan niet los worden gezien van de graszode. Grasgroei en bodemleven zijn wederzijds afhankelijk van elkaar. Door het uitscheiden van wortelsappen en de voortdurende groei en afbraak van wortels, is de graszode een bron van voedsel voor het bodemleven. Wortels vormen daarom eigenlijk de schakel tussen grasgroei en bodemleven (zie hoofdstuk 7: Beworteling). Door de grote hoeveelheden voedsel die het gras op deze manier in de bodem brengt en de daarmee gepaard gaande structuurvorming, draagt de beworteling sterk bij aan bodemvorming. Of te wel: "Wortels maken de bodem" (citaat Coen ter Berg).

Cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem

Door het bevorderen van een graszode met een goed wortelstelsel kan de veehouder zijn bodemstructuur verbeteren. Gewas/beworteling, bodemleven en bodem vormen met elkaar een cyclus (zie figuur 4.1). Stimulatie van de beworteling heeft een positief effect op het bodemleven en op de bodemvorming. Hierdoor verbetert de beworteling waardoor de plant beter groeit, etc. Voor een meerjarig grasland is deze cyclus extra belangrijk omdat je onder grasland voor de "grondbewerking" afhankelijk bent van het bodemleven. Voor een veehouder is het dan ook zaak de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem, te koesteren waar deze goed loopt en de cyclus te stimuleren als één van de schakels terugvalt. Managementinvloeden op bodemleven onder een gras- of gras/klaverzode moeten vanuit de context van deze cyclus worden bekeken.

Klaver

Op biologische melkveebedrijven speelt klaver in de graszode een belangrijke rol in de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem. Klaver brengt grote hoeveelheden stikstof in het systeem wat een belangrijke invloed heeft op het bodemvoedselweb onder een gras/klaverzode. Managementinvloeden op het bodemleven onder een graszode kunnen daarom niet los worden gezien van de invloed van management op beworteling enerzijds en op het klaveraandeel en haar vermogen om stikstof te binden anderzijds. In paragraaf 4.2.1 wordt klaver als managementinvloed op bodemleven nader besproken.



Figuur 4.1: Cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem

4.1.2 Invloed van uitgangssituatie

Net zoals managementinvloeden op het bodemleven niet los kunnen worden gezien worden van het gewas en de beworteling, zo kan niet voorbij worden gegaan aan de invloed van de grondsoort en de voorgeschiedenis van het management.

Grondsoort

Het bodemleven onder grasland heeft op elke grondsoort zijn eigen karakteristieken. Op oude zeelei vindt men meer regenwormen en is de bacteriële activiteit hoger dan op zandgrond (zie hoofdstuk 12: Regenwormen en hoofdstuk 8: Bacteriën en schimmels). In gronden met een hoge of schommelende waterstand vindt men vaak minder wormen die verticale gangen maken, terwijl diep ontwaterde gronden als löss juist heel veel van deze wormen bevatten (Ter Berg, mondelinge mededeling). Het willen stimuleren van profielontsluiting op veen door deze gravende regenwormen heeft geen zin, omdat deze wormen op deze grondsoort niet voorkomen.

Organische stof en pH

De organische stof bepaalt voor een groot deel de "body" van de grond door zijn positieve uitwerking op de bodemstructuur en zijn betekenis als voedselbron voor het bodemleven. Bodems die een hoog organische stofgehalte hebben, vertonen een hoge totale bacteriële biomassa. De zuurgraad (pH), die ten dele bepaald wordt door grondsoort en bodemontwikkeling, heeft een sterke uitwerking op de samenstelling van het bodemvoedselweb.

Ontwatering

Te veel aan water in de grond beperkt het opwarmen van de bodem en beperkt de luchtaanvoer. Dit kan leiden tot anaërobe omstandigheden, waardoor de beworteling en een deel van het bodemleven inactief worden of afsterven. Het kan ook gebeuren dat de grond op natte plekken steeds vaster komt te zitten en er daarom nog meer water blijft staan. Er is dan sprake van een negatieve spiraal in de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem.

Voorgeschiedenis van het management

Sommige bodemorganismen kunnen zich snel aanpassen aan een veranderende omgeving (bijvoorbeeld bacteriën). Andere bodemorganismen hebben hier langer voor nodig of verdwijnen simpelweg. Afhankelijk van de omstandigheden zal het bodemvoedselweb zich aanpassen. Het bestaande management bepaalt sterk de opbouw van het bodemvoedselweb. Een verandering van het management

brengt een aanpassing van dit bodemvoedselweb te weeg, wat voor iedere bedrijfssituatie weer anders kan zijn. Deze aanpassingen vergen tijd en soms zijn aanpassingen niet mogelijk.

4.1.3 Directe- of indirecte managementinvloed

In tabel 4.1 zijn de managementinvloeden op grasland geordend die in paragraaf 4.2 worden besproken. Belangrijk bij ieder managementinvloed is om te bedenken op welk punt deze in de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem aangrijpt (zie figuur 4.1). Bekalken heeft bijvoorbeeld een direct effect op de bodem en het bodemleven maar een indirect effect op het gewas en zijn beworteling. Daarentegen heeft het maaibeheer een directe invloed op het gewas en zijn beworteling en vervolgens een effect op de bodem en het bodemleven.

Tabel 4.1: Koppeling van de managementinvloeden met de drie componenten in de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem (1 = direct, 2 = indirect).

Managementinvloeden (hoofdgroepen)	Managementinvloeden (uitgesplitst)	Gewas/ Beworteling	Bodemleven	Bodem (fysische/ chemisch)
Klaver	Klaveraandeel	1	1	2
Bemesting	Bemestingsniveau	2	1	1
	Mesttoedieningstechniek	2	1	1
	Toevoegmiddelen	2	1	1
	Mestsoort en mestsamenstelling	2	1	1
	Gewasresten	2	1	1
	Bekalken	2	1	1
	Graslandgebruik	Maaien of maai/weide	1	2
Vertrappings- en rijshade		2	2	1
Grondbewerking		2	1	1
Enten		2	1	2

Tabel 4.2: Verstregeling van managementinvloeden; de horizontale factoren beïnvloeden de verticale factoren, wat aangegeven is met een X.

Invloed	Op:										
	Klaver	Bemestingsniveau	Mesttoedieningstechniek	Toevoegmiddelen	Mestsoort en samenstelling	Gewasresten	Bekalken/pH	Graslandgebruik	Vertrapping- en rijshade	Grondbewerking	Enten
Van:											
Klaver	0					X					
Bemestingsniveau	X	0				X	X		X		
Mesttoedieningstechniek			0						X		
Toevoegmiddelen				0	X						
Mestsoort en mestsamenstelling	X		X		0	X			X		
Gewasresten						0					
Bekalken	X						0				X
Graslandgebruik	X					X		0	X		
Vertrapping- en rijshade	X					X		X	0		
Grondbewerking	X									0	
Enten	X										0

4.1.4 Verstregeling van managementinvloeden

De meeste managementinvloeden zijn onderling verstregeld. Bijvoorbeeld het effect van graslandgebruik op bodemleven kan niet los worden gezien van het effect van graslandgebruik op klaver en het effect van klaver op bodemleven. Ter illustratie zijn in tabel 4.2 de relaties tussen de verschillende managementinvloeden op bodemleven weergegeven.

4.2 Managementinvloeden op een rij

In deze paragraaf wordt voor een aantal belangrijke managementfactoren op een rij gezet hoe ze de beworteling en bodemleven kunnen beïnvloeden. Daarnaast wordt gekeken wat voor een mogelijk effect dit heeft op het functioneren van het bodemvoedselweb en de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem.

4.2.1 Klaver

Invloed op beworteling en bodemleven

In vergelijking tot gras is de wortelmasa en worteldichtheid van Witte klaver duidelijk lager (zie tabel 4.3). Daartegenover vormt klaver door de symbiose met de Rhizobiumbacterie veel stikstofrijke wortelresten en plantenresten. De lage worteldichtheid van klaver gecombineerd met de stikstofrijkere wortel- en gewasresten zijn waarschijnlijk de verklaring voor de aanwezigheid van minder plantenetende nematoden en meer regenwormen in gras/klaver in vergelijking met gras. De dikkere wortels van klaver maakt de plantengroei gevoeliger voor structuurbederf, maar zijn waarschijnlijk een belangrijke reden voor een hogere kolonisatie van de Mycorrhizaschimmels per wortellengte. Aangezien de wortelmasa van klaver lager is in vergelijking tot gras is de kolonisatie van Mycorrhizaschimmels per hectare lager.

Tabel 4.3: Verschil in beworteling en bodemleven van (gras/)Witte klaver en gras

Bodemleven	Parameter	Witte klaver	Gras	Bron
Beworteling	Wortelmasa (t/ha)	0,3	7,7	Young, 1957
	Worteldichtheid (cm/cm ³)	1,7-4,3	14,3-18,8	Tisdall en Oates (1979)
	Wortel diameter (mm)	0,26	0,19	Evans (1977)
Mycorrhizaschimmels	Kolonisatie (%)	51	13	Tisdall en Oates (1979)
Vrijlevende nematoden	Totaal aantal/100 g grond	8707	7548	Van Baal en Bezooijen (2000)
	Plantenetende nematoden	970 (11%)	1345 (18%)	
Regenwormen	Aantal/m ²	610	417	Heeres en Baars, ongepubliceerde data

Invloed op functies van bodemleven en de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem

Voor de functie "aanvoeren van nutriënten door stikstofbinding" is klaver onontbeerlijk; klaver zorgt immers voor stikstofrijke wortel- en gewasresten. Door de lagere wortelmasa van klaver lijken de bodemstructuurvormende functies van het bodemvoedselweb echter onder druk te staan. In theorie zou klaver, door de lage bewortelingsdichtheid, minder goed zijn voor de bodemstructuurvorming dan gras. In onderzoek in Wales konden echter geen verschillen in bijvoorbeeld aggregaatstabiliteit tussen gras en Witte klaver worden aangetoond (Mytton e.a., 1993). Andere onderdelen van het bodemvoedselweb vangen deze functie mogelijk op. De lagere bewortelingsdichtheid van klaver belemmert wel de opname van nutriënten. De hogere kolonisatie van Mycorrhizaschimmels op klaverwortels kan deze lagere opname van nutriënten maar gedeeltelijk opvangen. Bij de teelt van klaver moeten daarom deze functie van het bodemleven (namelijk: nutriëntenopname) en de beworteling extra aandacht krijgen. Meer nadruk op management van beworteling en de selectie van gras- en klaverrassen op beworteling kunnen hiertoe mogelijk soelaas bieden. Ennik (1981) heeft laten zien dat de wortelmasa van individuele rassen van Engels raaigras sterk kan verschillen.

Wat is nu het effect van het vervangen van een pure grasmat met een lage bemesting door een gras/klaver met een laag bemestingsniveau. Op grond van bovenstaande overwegingen is een specifieke

ke reeks van invloeden op individuele onderdelen en functies te verwachten (zie tabel 4.4). De invloed van klaver op de verschillende onderdelen van het bodemleven is vetgedrukt. Daarnaast is de algehele beoordeling van de functies bij het gebruik van klaver vetgedrukt.

Tabel 4.4: Invloed van klaver in vergelijking tot gras op de individuele onderdelen en functies van het bodemleven

Invloed klaver op	--	++	?	+-	?	++	++	?	?	
Functies	Beoordeling functie	Beworteling	Bacteriën	Schimmels	Mycorrhiza	Protozoën	Nematoden	Regenwormen	Potwormen	Sprinkstaarten + Mijten
Aanvoeren van nutriënten in de bodem	++	++								
Beschikbaar maken van nutriënten voor planten	++	++	?	+-	?	++	++	?	?	
Opname van nutriënten en water door planten	-+	--		+-						
Vastleggen van nutriënten	++	--	++	?	+-	?	++	++	?	?
Bodemstructuurverbetering door aggregaatvorming	++	+-	++	?	+-			++	?	?
Bodemstructuurverbetering door profielontsluiting	++	+-						++		
Ziektewering	+	--	++	?	+-	?	--			?

+ positief, - negatief

4.2.2. Bemesting

4.2.2.1. Bemestingsniveau

Bij een hoger bemestingsniveau neemt de bovengrondse productie toe en daarmee de productie van bovengrondse gewasresten. Onderscheid moet ook worden gemaakt in effecten van de verschillende mineralen uit de mest. Bij een lagere fosfaattoestand heeft bemesting met fosfor een positieve invloed op beworteling. Echter, een hoge N-bemesting op gras leidt tot een afname van de wortelmassa (Ennik, 1981). Hiermee beïnvloeden bemestingsniveau en bemestingssoort dus direct de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem. Het is de vraag wat de algehele uitwerking is van het bemestingsniveau op biologische melkveebedrijven met hun aanvoernorm van 170 kg N-totaal per ha. Op biologische bedrijven is met name de bemesting van fosfaat en kali belangrijk om aan de minimale bemestingstoestand van gras/klaver te voldoen om daarmee de stikstofbinding van de Rhizobiumbacterie te bevorderen.

Invloed op beworteling en bodemleven

Zonder een vaste aanvoernorm is het bemestingsniveau sterk gerelateerd aan de veebezetting op de bedrijven. In een landelijk project, het zogenaamde BoBi-project, worden bodembioologische bepalingen gedaan op biologische- en gangbare melkveebedrijven. In tabel 4.5 zijn de cijfers weergegeven van melkveebedrijven op zand. Als maatstaf voor het bemestingsniveau is in deze tabel de veebezetting genomen.

De bacteriologische biomassa en -activiteit verschilt niet significant tussen de verschillende bedrijfssystemen. Hoewel er bij een hoger bemestingsniveau wel een hogere bacteriële activiteit wordt verwacht. Bij een onderverdeling in noordelijke- en zuidelijke melkveebedrijven komt dit wel naar voren (zie hoofdstuk 8: Bacteriën en schimmels). Bij een hoger bemestingsniveau neemt over het algemeen de hoeveelheid schimmels en de kolonisatie van de Mycorrhizaschimmels af. Schimmels zijn in het BoBi-project niet gemeten, maar op 12 VEL/VANLA-bedrijven blijkt de kolonisatie van Mycorrhiza een negatief rechtlijnig verband te geven met het bemestingsniveau. Het enige biologische bedrijf tussen deze 12 bedrijven had de hoogste kolonisatie van Mycorrhizaschimmels (65% tegen 39%) (De Goede en Brussaard, 2001b).

Op biologische bedrijven wordt het hoogste aantal nematoden gemeten. In de voedsel- of functionele groepen treedt een verschuiving op van extensieve- naar intensieve bedrijven. Bacterie-etende nematoden nemen toe bij intensievere bedrijven en plantenetende nematoden nemen juist toe in extensief grasland. Mogelijk neemt bij een hoger bemestingsniveau de wortelmasse af waardoor het aantal plantenetende nematoden afneemt. Het hogere bemestingsniveau creëert juist wel meer voedsel voor de bacterie-etende nematoden.

Het aantal regenwormen is hoger op biologische bedrijven. Uit diverse onderzoeken blijkt dat vrijwel elke toediening van organisch materiaal leidt tot toename van het aantal wormen (Kloen, 1988). Aangezien de organische bemesting op gangbare bedrijven hoger is zou volgens dit gegeven het aantal wormen op gangbare bedrijven hoger moeten zijn. Echter het gebruik van kunstmest op gangbare bedrijven kan een belangrijke verklaring zijn voor lagere aantallen regenwormen. Kloen (1988) ziet in zijn literatuuranalyse geen verhoogde wormenstand, bij meer dan 100 kg N/ha uit kunstmest. In een proef op 2 VEL/VANLA-bedrijven werd bij een hoger NPK bemestingsniveau (250 kg N/ha versus 90 kg N/ha) een lagere wormendichtheid gevonden (De Goede en Brussaard, 2001 a). Hier speelt mogelijk de verzurende werking van sommige meststoffen mee. Op de biologische bedrijven daarentegen wordt meer gebruik gemaakt van klaver wat een positief effect kan hebben op het aantal regenwormen. Net zoals voor regenwormen was het aantal potwormen in het BoBi-project hoger op de biologische bedrijven (Schouten e.a., 2002) (zie tabel 4.5). In een proef op 2 VEL/VANLA-bedrijven werd bij een hoger bemestingsniveau een hoger aantal potwormen gevonden, terwijl het aantal regenwormen lager was (De Goede en Brussaard, 2001 a).

Het aantal springstaarten en mijten, gemeten in het BoBi-project, waren lager op biologische- en extensieve bedrijven. Uit onderzoek op graslanden met verschillende bemestingsniveaus blijkt daarentegen dat bij een hogere bemesting het aantal mijten en springstaarten afneemt (Siepel en Van de Bund, 1988). Blijkbaar zijn er andere factoren die in het BoBi-onderzoek verweven zijn met veebezetting en bemestingsniveau of andere onderdelen van het bodemvoedselweb. Onderzoek naar springstaarten en mijten geeft aan dat in vergelijking tot gangbare bedrijven de soortensamenstelling van deze beestjes op biologische bedrijven gekenmerkt wordt door soorten die leven in een variabel milieu met regelmatige wisselingen (Schouten e.a., 2000; Schouten e.a., 2002)(zie hoofdstuk 14: Springstaarten en mijten).

Tabel 4.5: Verschil in bodemleven tussen biologische-, extensief gangbare- en intensief gangbare melkveebedrijven op zandgrond in 1999 (Schouten e.a., 2002).

Bodemleven	Parameter	Melkveehouderij Zandgrond		
		Biologisch (n=10) 1,6 gve/ha	Extensief (n=19) 2,3 gve/ha	Intensief (n=20) 3,0 gve/ha
Bacteriën	Biomassa ($\mu\text{g C/g}$ droge grond)	174	169	141
	Activiteit Thymi.Inb. (pmol/g/uur)	24	16	18
Vrijlevende nematoden	Totaal aantal/100 g grond	6061	5464	4487
	Plantenetende %	52	34	29
	Bacterie-etende %	37	55	60
Regenwormen	Aantal/m ²	246	148	130
Potwormen	Aantal/m ²	40751	17877	21333
Springstaarten en mijten	Aantal/m ²	29674	39722	47188

Invloed op functies van bodemleven en de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem

Hoe vertaalt de invloed van bemestingsniveau (als bedrijfsintensiteit) op bodemleven zich naar het functioneren van het bodemleven en de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem. Voor de duidelijkheid wordt hier uitgegaan van het effect van een hoog bemestingsniveau op het functioneren van het bodemleven onder puur gras.

Het effect van een hoog bemestingsniveau op de verschillende onderdelen van het bodemleven is als volgt (zie tabel 4.6):

- Beworteling neemt af door een hoger N-niveau af;
- Activiteit van bacteriën neemt toe;
- Schimmelbiomassa en -activiteit neemt af;
- Kolonisatie van Mycorrhizaschimmels neemt af;
- Aantal protozoën neemt toe;
- Bacterie-etende nematoden nemen toe, plantenetende nematoden nemen af;
- Regenwormen nemen in eerste instantie met organische bemesting toe maar bij een hoog kunstmestniveau nemen ze af;
- Voor potwormen, springstaarten en mijten zijn de reacties op een hoog bemestingsniveau wisselend.

Het effect van een hoog bemestingsniveau op de functies van het bodemleven is als volgt (zie tabel 4.6):

- De functie van beschikbaar maken van nutriënten staat onder druk, maar is ook minder relevant omdat de bemesting van boven wordt gegeven;
- De functie van opname van nutriënten staat onder druk en is ook minder noodzakelijk omdat het bemestingsniveau hoger is;
- Doordat beworteling, schimmels en Mycorrhizaschimmels voor de functies van beschikbaar maken en opname van nutriënten minder nodig zijn, worden ze als onderdelen van het bodemvoedselweb verzwakt. Hierdoor staat de functie van wateropname en de efficiëntie van nutriëntenopname onder druk;
- Schimmels kunnen daardoor ook geen taken meer invullen in het vastleggen van nutriënten waardoor meer nutriënten verloren kunnen gaan en de benutting van nutriënten onder druk staat;
- Door het "wegvallen" van beworteling, schimmels, Mycorrhizaschimmels en gedeeltelijk regenwormen worden de functies van bodemstructuurvorming heel eenzijdig ingevuld door bacteriën.

Tabel 4.6: Invloed van hoog bemestingsniveau op de individuele onderdelen en functies van het bodemleven

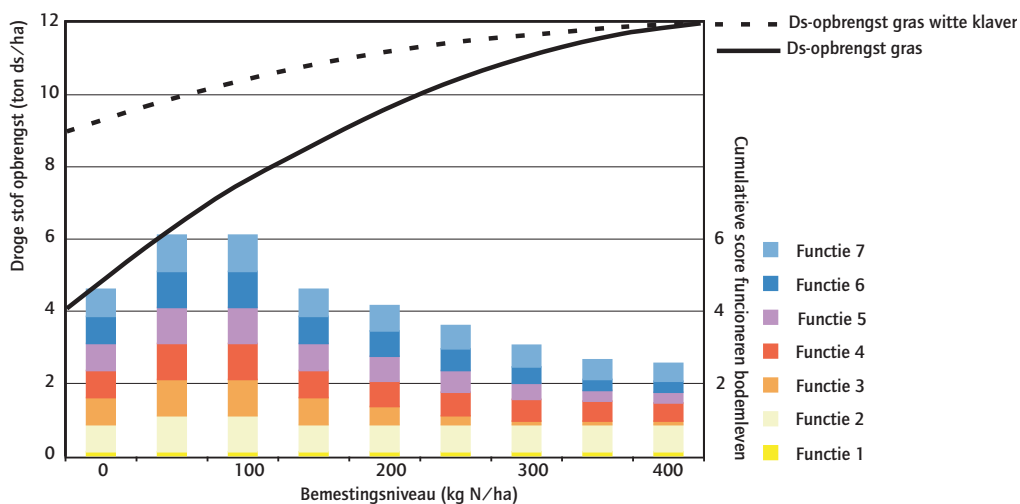
Invloed hoog bemestingsniveau op		--	++	--	--	++	++	+-	?	?	
	Beoordeling functie	Beworteling	Bacteriën	Schimmels	Mycorhiza	Protozoën	Nematoden	Regenwormen	Potwormen	Sprinkstaarten + Mijten	
1. Aanvoeren van nutriënten in de bodem		geen klaver n.v.t.									
2. Beschikbaar maken van nutriënten voor planten	+-	--	++	--	--	++	++	+-	?	?	
3. Opname van nutriënten en water door planten	--	--	++	--	--	++	++	+-	?	?	
4. Vastleggen van nutriënten	+-	--	++	--	--	++	++	+-	?	?	
5. Bodemstructuurverbetering door aggregaatvorming	+-	--	++	--	--	++	++	+-	?	?	
6. Bodemstructuurverbetering door profielontsluiting	+-	--	++	--	--	++	++	+-	?	?	
7. Ziektewering	+-	--	++	--	--	++	++	+-	?	?	

+ positief, - negatief

Door een hoog bemestingsniveau worden onderdelen van het bodemleven, in aantal en soorten, gereduceerd omdat hun functies als "verzorgen van de beschikbaarheid en opname van nutriënten" direct door de bemesting wordt verzorgd. Gevolg is echter dat door de reductie van deze bodemorganismen andere functies van het bodemvoedselweb onder druk komen te staan, waardoor de bodemopbouwende functies verminderen met gevolg afname van stabiliteit van productie en een grotere afhankelijkheid van externe aanvoer van nutriënten. Het kan gedeeltelijk worden vergeleken met een hoogproductieve

koe: een hoge melkproductie gaat ten koste van andere functies in het lichaam waardoor deze koe gevoeliger wordt voor stress situaties. Tegelijkertijd kan deze hoge productie alleen plaatsvinden door een hoge aanvoer van makkelijk opneembare nutriënten (krachtvoer).

Duidelijk mag zijn, dat dit voortkomt uit een maximalisering van de bemesting. Dit wil echter niet zeggen dat er op biologische bedrijven niet bemest moet worden. Zoals al eerder aangegeven is de Rhizobiumbacterie het enige bodemleven wat substantieel en zeer specifiek nutriënten aan het systeem kan aanvoeren, namelijk stikstof. Wat aan andere nutriënten in de grond ontbreekt, kan er niet uitkomen. Dus het hoogste bemestingsniveau zal op korte termijn nog altijd de maximale productie geven. Wel zal bij een lager bemestingsniveau de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem vanuit een bredere basis van het bodemvoedselweb functioneren waardoor aanwezige nutriënten en water mogelijk beter benut kunnen worden en het systeem bij stress meer veerkracht heeft en een beter herstellend vermogen. Dit is weergegeven in figuur 4.2 voor gras. In deze figuur is bij oplopende bemestingsniveaus de droge stof productie weergegeven en het functioneren van het bodemvoedselweb. De verschillende functies van het bodemleven hebben voor ieder bemestingsniveau een cijfer gekregen waarbij 1 optimaal betekent. Aangezien het hier gaat over puur grasland is functie 1 niet meegeteld en kan de cumulatieve score van de 6 resterende functies oplopen tot maximaal 6. In de figuur is te zien dat tot 100 kg N/ha het bodemleven optimaal functioneert. Bij hogere bemestingsniveaus loopt het functioneren terug. Een divers functionerend bodemleven gaat bij 100 kg N/ha samen met een droge stof productie van 7,3 t ds/ha gras of 10,2 t ds/ha gras/klaver. Deze diversiteit in functies leidt niet tot de maximale productie op korte termijn, maar geeft een stabiele productie op de lange termijn. Een legitieme vraag hierbij is: "Wat levert me die stabiliteit economisch op?" Voor koeien wordt deze discussie al langer gevoerd en is het al langer duidelijk dat een hoogproductieve veestapel niet altijd meer economisch rendabel is als een veestapel met een lagere productie. In deze berekeningen speelt de levensduur van een koe een belangrijke rol. Misschien moet de levensduur van een graszode en de kosten van herinzaai in de toekomst ook verrekend worden in het bemestingsadvies.



Figuur 4.2: Hypothetische relatie tussen N-bemestingsniveau, droge stof productie en functioneren van het bodemvoedselweb onder een graszode. Ter illustratie is ook de droge stofproductie van gras/klaver weergegeven.

4.2.2.2 Mesttoedieningstechniek

Invloed op bodemleven

Er wordt vaak gesproken over schade aan bodemleven door zodenbemesten. Deze schade zou door de volgende mechanismen en combinaties daarvan kunnen optreden:

- Snijdende werking bij zodenbemesten waardoor bijvoorbeeld regenwormen worden doorgesneden;
- Giftige stoffen in drijfmest zoals ammoniak, fenolen of sulfaatverbindingen die bodemorganismen doden;
- Tijdelijke zuurstofarme omstandigheden in de grond door ondergrondse mesttoediening die bodemorganismen doodt;

- Trillingen van de machine die regenwormen naar boven drijven en vervolgens bloot stellen aan licht, predatoren en/of giftige stoffen in drijfmest;
- Berijdingsschade en structuurbederf waardoor bodemleven wordt gedood. Dit speelt zowel bij zodenbemesten als bij bovengronds uitrijden. Echter zodenbemesten gebeurt vaker met zwaardere apparatuur. Daarnaast is een zodenbemester niet altijd op eigen bedrijf aanwezig zodat de inzetbaarheid vaak afhankelijk is van een loonwerker en die niet altijd op voor de bodem optimale momenten kan komen.

Een mogelijk positieve uitwerking van zodenbemesten op een aantal bodemorganismen is het hogere effectieve bemestingsniveau door een lagere ammoniakemissie. Van zodenbemesten zou daarom gedeeltelijk een effect te verwachten zijn vergelijkbaar met een hoger bemestingsniveau.

In het VEL/VANLA-gebied wordt onderzoek gedaan naar het effect van mesttoedieningstechniek en toevoegmiddelen op bodemleven. In één van de proeven zijn 12 melkveebedrijven ingedeeld in 3 behandelingen: gebruik Euromestmix, gebruik Effectieve Micro-organisme en geen toevoegmiddel. De bedrijven met Euromestmix en één bedrijf zonder toevoegmiddel rijden bovengronds mest uit. De andere bedrijven gebruiken de zodenbemester. Op de bedrijven die zodenbemesten waren de volgende effecten gemeten ten opzichte van de bedrijven die bovengronds mest uitrijden:

- Aantallen plantenetende nematoden waren lager;
- Bacterie-etende nematoden met een zeer korte generatietijd (cp-1, vermestingsindicator) waren hoger (zodenbemesten 673 nematoden/100 g, bovengronds 452 nematoden/100 g grond);
- Aantallen regenwormen waren hoger (zodenbemesten 624 per m², bovengronds 478 per m²);
- De toename van regenwormen was gebaseerd op een toename van de groep van bodembewoners. Procentueel gaf zodenbemesting een significante afname in de groep van strooiselbewoners (boven in de zode) en een stijging van de groep van pendelaars (verticale wormen) (De Goede en Brussaard, 2001b).

Naast bovenstaande proef wordt er op 2 VEL/VANLA-bedrijven een proef uitgevoerd waarin mesttoedieningstechnieken en toevoegmiddelen naast elkaar op hetzelfde perceel worden vergeleken. Ook hier waren het aantal bacterie-etende nematoden met een zeer korte generatietijd (cp-1, vermestingsindicator) hoger bij zodenbemesten. Dit geeft aan dat er met zodenbemesten voedselrijke omstandigheden zijn en dus meer bacteriën. Het effect op het aantal regenwormen was wisselend (De Goede en Brussaard, 2001a). Hier lijkt de uitgangssituatie van het management op de bedrijven voor de proef, van invloed te zijn op het effect van mesttoedieningstechniek op regenwormen.

Invloed op functies van bodemleven en cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem

Effecten van mesttoedieningstechniek op bodemleven zijn nog niet volledig duidelijk laat staan dat er iets gezegd kan worden over het functioneren van het bodemvoedselweb. Bovenstaande resultaten laten zien dat zodenbemesten tot een verhoogd voedselaanbod leidt voor het bodemleven. Op zich niet verwonderlijk omdat de ammoniakemissie verlaagd is. Het is echter de vraag of bovengronds uitrijden met dezelfde hoeveelheid effectieve werkzame stikstof als zodenbemesten, hetzelfde effect geeft. Het lijkt erop dat inbrengen van mest een sterker effect geeft. Het directe contact tussen mest en bodemleven is waarschijnlijk veel sneller. Bij bovengronds mest uitrijden zijn er meerdere schakels uit het bovengrondse voedselweb die hun invloed hebben op het resultaat (bijvoorbeeld kevers). Voor het functioneren van het bodemleven wordt dan ook voor een groot deel verwezen naar de resultaten beschreven onder bemestingsniveau. De invloed van een bepaald bemestingsniveau op het functioneren van het bodemleven zou dan versterkt worden door zodenbemesten.

De grotere schade die regenwormen die boven in de zode leven (strooiselbewoners) ondervinden door zodenbemesten lijkt op zich verklaarbaar uit het directe contact van deze wormen met de drijfmest of de snijdende werking van de zodenbemester. Of hiermee de structuurvormende functies van regenwormen negatief worden beïnvloed is de vraag. Het toenemen van het aantal bodembewonende regenwormen bij zodenbemesten kan juist de structuurverbeterende functies ondersteunen. Ook de toename van regenwormen die verticale gangen maken (pendelaars) is belangrijk, omdat deze een functie hebben bij

profielontsluiting. Bovenstaande veranderingen in soortensamenstelling van regenwormen kan er ook op wijzen dat het bodemleven zich aanpast aan de manier van mesttoediening. Dit pleit ervoor om het bemestingsmanagement over de jaren zo constant mogelijk te houden.

4.2.2.3 Toevoegmiddelen

Invloed op bodemleven

In het VEL/VANLA-project wordt onderzoek gedaan aan toevoegmiddelen zoals Euromestmix, Effectieve Micro-organismen en FIR. In een vergelijkend onderzoek op 12 melkveebedrijven waren de effecten op het bodemleven als volgt (zie tabel 4.7):

- Bacterie-etende nematoden met een zeer korte generatietijd (cp-1, vermestingsindicator) waren significant lager bij het gebruik van Euromestmix;
- Aantal regenwormen was significant lager bij het gebruik van Euromestmix;
- Aantal potwormen was significant hoger bij het gebruik van Euromestmix.

Tabel 4.7: Effect mesttoevoegmiddelen in vergelijkend onderzoek op 12 VEL/VANLA-bedrijven (De Goede en Brussaard, 2001b)

Bodemleven	Zonder toevoegmiddel	Euromestmix	EM
Bacterie-etende nematoden (cp-1)/100 g grond	835	331	564
Regenwormen/m ² 0-20 cm	672	478	572
Potwormen /m ² 0-15 cm	7097	10802	9336

Aangezien bedrijven die Euromestmix gebruiken de mest ook bovengronds uitrijden, kan het effect van toevoegmiddelen niet los worden gezien van mesttoedieningstechniek.

In een ander onderzoek in het VEL/VANLA-project wordt op 2 melkveebedrijven naast Euromestmix en EM, ook nog het toevoegmiddel FIR onderzocht. In deze proef worden er op de 2 bedrijven sterk uit elkaar lopende effecten van de mesttoevoegmiddelen gevonden. Het bestaande management, bij de opstart van de proef in 1999, lijkt nog een invloed te hebben op de gemeten effecten van mesttoevoegmiddelen in 2000.

Invloed op functies van bodemleven en de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem

Het effect van Euromestmix op het bodemleven lijkt zich te vertalen in een lager bemestingsniveau. Dit is ook weer sterk gerelateerd aan het bovengronds uitrijden van de mest op Euromestmix bedrijven in de VEL/VANLA-proef op 12 melkveebedrijven. Invloed van toevoegmiddelen op functies van bodemleven en de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem is dan ook moeilijk aan te geven. Mogelijk gaat de vergelijkende proef op 2 VEL/VANLA-bedrijven hier door het langjarig karakter (sinds 1999) wel een antwoord op geven.

4.2.2.4 Mestsoort en mestsamenstelling

Invloed op bodemleven

In een langjarig proef (1993-1999) op Aver Heino is de gras/klaver met verschillende mestsoorten bemest. In deze proef bleek de bacteriële biomassa vrijwel gelijk te zijn voor de mestsoorten (zie tabel 4.8). Dit sluit niet aan bij de toename van het aantal protozoën bij vaste mest die met name werd veroorzaakt door de groep van bacterie-etters, de flagellaten.

In de proef op Aver Heino was de totale schimmelbiomassa hoger bij drijfmest en de actieve schimmelbiomassa hoger bij vaste mest (zie tabel 4.8). Ander onderzoek bevestigt de hogere actieve schimmelbiomassa voor vaste mest. In een proef van het project Mest als Kans, nam de actieve schimmelbiomassa toe bij een hogere C/N-verhouding van de mest (Bokhorst, 2001 ongepubliceerde data).

Door Gollner (2003) wordt aangegeven dat vaste mest de kolonisatie van de Mycorrhizaschimmels stimuleert. In een vergelijkend onderzoek tussen drijfmest en vaste mest op gras/klaver kon dit (in het 2^e jaar van de proef) niet worden aangetoond (Heeres en Baars, 2002 ongepubliceerde data).

In de mestproef op Aver Heino waren bij vaste mest zowel het totaal aantal nematoden als het aantal

plantentende nematoden het hoogste. In combinatie met het hoger aantal protozoën lijkt de voedselaanbod voor het bodemleven hoger bij vaste mest dan bij drijfmest. Dit sluit aan bij de gegevens dat vaste mest in deze proef leidt tot een hoger organische stofgehalte in de bodem, een hoger klaveraandeel en een hogere droge stof opbrengst. In deze proef werden bij vaste mest ook hogere aantallen regenwormen gevonden (Baars, 2002). In een recenter aangelegde bemestingsproef (2001) op gras/klaver worden deze verschillen in regenwormen na 2 jaar vooralsnog niet gevonden (zie tabel 4.8, Heeres en Baars, ongepubliceerde data). Bemesting met vaste mest op oud grasland gaf in Engelse proeven een stijging van 11% van het aantal regenwormen ten opzichte van de onbemeste varianten. Interessant was dat er met name een toename was van de groep van pendelaars. Deze groep van wormen maken verticale gangen maken en zorgen voor de ontsluiting van het profiel (Edwards en Lofty, 1982).

Tabel 4.8: Effect van drijfmest en vaste mest op het bodemleven onder gras/klaver

Bodemleven	Parameter	Drijfmest	Vaste mest	Bron
Bacteriën	Totale biomassa ($\mu\text{g/g}$ grond)	219	218	Baars en Van Eekeren, ongepub.data 7e jaar van toediening
	Actieve biomassa ($\mu\text{g/g}$ grond)	19	13	
Schimmels	Totale biomassa ($\mu\text{g/g}$ grond)	321	234	van toediening
	Actieve biomassa ($\mu\text{g/g}$ grond)	29	51	
Mycorrhizaschimmels	Kolonisatie (%)	Geen verschil		Heeres en Baars, ongepub.data 2e jaar van toediening
Protozoën	Flagellaten (aantal/g grond)	24.884	33.045	Baars en Van Eekeren, ongepub.data 7e jaar van toediening
	Amoebe (aantal/g grond)	16.685	16.966	
	Ciliaten (aantal/g grond)	81	200	
Vrijlevende nematoden	Aantal/ 100 g grond	10048	10675	Van Baal en Bezooijen, 2000 7e jaar van toediening
	Plantenetende (%)	10	14	
Regenwormen	Aantal	100%	153%	Baars, 2001 6e en 7e jaar van toediening
Regenwormen	Aantal/m ²	610	571	Heeres en Baars, ongepub.data in 2e jaar van toediening

Invloed op functies van bodemleven en de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem

Belangrijk voor grasland is het positieve effect van vaste mest op de groep van regenwormen die verticale gangen maken, de zogenaamde pendelaars. Aangezien deze pendelaars sterk bijdragen aan de functie van profielontsluiting is dit een belangrijk voordeel van vaste mest. Daarnaast lijkt er uit de gegevens van de langjarige bemestingsproef op Aver Heino (1993-1999), een trend dat de bemesting van vaste mest op gras/klaver een iets hoger voedselaanbod geeft voor het bodemleven. Metingen aan een recentere aangelegde bemestingsproef (2001) op gras/klaver zijn nodig om de effecten van verschillende soorten mest op gras/klaver met grotere zekerheid aan te tonen. Hierbij moet ook worden gekeken naar de indirecte effecten van vaste mest via bijvoorbeeld pH of klaveraandeel die ook weer het bodemleven beïnvloeden. Ook speelt de uitgangssituatie qua organische stof en leeftijd van de graszode een belangrijke rol. Voor een jonge graszode met een laag organische stof zal het effect van vaste mest op het bodemleven anders zijn dan op een oud grasland met een hoog organisch stofgehalte. Richting de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem zal vaste mest met name zijn waarde hebben na vruchtwisseling met voedergewassen om de cyclus in een jonge graszode te stimuleren.

4.2.2.5 Maai- en beweidingsverliezen, stroresten of andere koolstofrijke bijproducten

Op grasland zijn er zowel bij maaien en beweiden "verliezen". Afhankelijk van het beheerssysteem zijn deze "verliezen" hoger of lager. Ook bloten na beweiding beïnvloedt de hoeveelheid aangevoerd organisch materiaal. Naast de kwantiteit heeft het systeem van weiden en maaien ook invloed op de kwaliteit. Wordt gras/klaver gemaaid en droog ingekuild dan bestaan deze "verliezen" voor een groot gedeelte uit blaadjes van klaver, wat stikstofrijk materiaal is. Bij beweiden is de verwachting dat de "verliezen" rijker zijn aan koolstof.

Invloed op bodemleven

Maai- en beweidingsverliezen, stroresten of andere koolstofrijke bijproducten zijn een belangrijke voedingsbron voor het bodemleven. De invloed van gewasresten op het bodemleven is dan ook voor een groot deel vergelijkbaar met bemestingsniveau en mestsoort. Net zoals bij mestsoort hangt deze invloed ook sterk af van de samenstelling en consistentie van het materiaal. Langere en grovere producten activeren in eerste instantie dat deel van het bodemleven dat de gewasresten verkleint zoals regenwormen, springstaarten en mijten. Binnen de groep van regenwormen zijn dit met name de wormen die tot de groep van de strooiselbewoners en pendelaars behoren. In een later stadium, na verkleinen van het materiaal, neemt de groei van micro-organismen toe. Bij materiaal met een lage C/N-verhouding zijn dat met name de bacteriën, bij meer lignine rijk materiaal met een hogere C/N-verhouding betreft het met name de schimmels.

Naast voedingsbron voor bodemleven beïnvloeden gewasresten ook de milieuomstandigheden van de bodem; vochtigheidstoestand, temperatuur etc.

Invloed op de functies van bodemleven en de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem

Beweidingsresten leiden zonder de activiteit van bodemleven en met name regenwormen tot een vervuiling van de zode. In de Flevopolder werd door de aanwezigheid van regenwormen het aantal dode plukjes gras met 95% verminderd (Hoogerkamp e.a., 1983). In Nieuw Zeeland steeg de graslandproductie na het uitzetten van regenwormen in eerste instantie met 70%, wat voor een groot deel verklaard werd door de afbraak van opgebouwde gewasresten (Syers en Springett, 1983). Gewasresten zijn dus een belangrijke bron van voedsel voor het bodemleven dat via de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem uiteindelijk weer terug te vinden is in de productie van het grasland. Derhalve heeft het bodemleven onder grasland er nog een extra functie bij, namelijk het voorkomen van vervuiling van de zode.

Afhankelijk van de consistentie van gewasresten worden in eerste instantie met name regenwormen, springstaarten en mijten geactiveerd voor de verkleining van het materiaal. Dit heeft een positieve invloed op de structuurverbeterende functies van het bodemleven. In een later stadium worden onder invloed van gewasresten nutriënten in de microbiële biomassa vastgelegd. Zo kan het bodemleven met 1 ton stro, 7 kg N vastleggen. Vinten e.a. (2002) onderzocht in het laboratorium de gevolgen van het toedienen van koolstofrijk materiaal (cellulose, glucose en stro) aan de bodem. Conclusie was dat er een sterke immobilisatie van nutriënten plaatsvindt na het toedienen van deze materialen en dat mineralisatie van vastgelegde nutriënten alleen plaatsvindt in een biologisch zeer actieve bodem. Beluchting is zowel voor de immobilisatie en de mineralisatie zeer belangrijk. Ritz en Griffiths (1987) hebben ook onderzoek gedaan naar het toevoegen van glucose aan zandgrond waar Engels raaigras werd geteeld. De uitspoeling van nitraat werd met 75% gereduceerd en stikstof kwam weer gedeeltelijk beschikbaar voor de groei van raaigras.

Samenvattend kan worden gesteld dat gewasresten van invloed zijn op de structuurvormende functies van het bodemleven en het vastleggen van nutriënten. Op bouwland wordt veel onderzoek gedaan naar gewasresten in relatie tot vastleggen van nutriënten. Voor de weidebouw is de vraag of koolstofrijke producten die in het najaar als een dun laagje op een gras/klaverzode worden gebracht enerzijds kunnen bijdragen aan het vastleggen van nutriënten maar ook de bodemstructuurvormende functies

van het bodemleven kunnen stimuleren. Hiermee zou het grasland in het najaar en de winter, kunnen herstellen van het weideseizoen.

4.2.2.6 Bekalken en pH

Invloed op bodemleven

Een goede pH is essentieel voor de stikstofbinding door de Rhizobiumbacterie. Engels onderzoek laat zien dat bij een lagere pH minder effectieve Rhizobiumstammen op de Witte klaverwortels leven waardoor de N-binding terugloopt (Nutman en Ross, 1969). Bij een hogere pH is alle bacteriële activiteit in het algemeen verhoogd. Dit geeft een snellere afbraak van organische stof (o.a. door bacteriën) en een daling van het organische stofgehalte. Vergelijk ook de oude zienswijze, dat bekalking rijke ouders geeft, maar arme kinderen. In een bemestingsproef op zware kleigrond, die vanaf 1958 loopt op de Ossenkampen (zie tabel 4.9), is in 2001 ook het bodemleven onderzocht. De behandeling die jaarlijks met kalk bemest is, is sterk gestegen in pH. De activiteit van bacteriën in deze behandeling is hoger dan die in de 0-bemesting en de NPK-bemesting. Het organische stofgehalte is echter lager. Over het algemeen stimuleert een lage pH de schimmelgroei. Zowel de 0- als de NPK-bemesting hebben een lage pH. De schimmelbiomassa is echter het hoogst in de 0-bemesting (Bloem, 2001 ongepubliceerde data). Zuurtegraad van de grond heeft ook een effect op de soortensamenstelling van nematoden; 90% van de soorten komt voor in bodems met een pH tussen de 5 en 7 (Van Esbroek e.a., 1995). Regenwormen reageren heel sterk op de pH en bekalking (zie tabel 4.9). De bodem pH bepaalt ook sterk het aantal potwormen en het soortenaantal. Bij een lage pH kan het aantal potwormen zeer hoog zijn, maar komen er slechts 1 of 2 soorten voor (zie hoofdstuk 13: Potwormen).

Tabel 4.9: Invloed van bekalken en pH op bodemleven in diverse proeven op oud grasland

Bodemleven	Parameter	Bemesting			Bron
		Geen	Ca	NPK	
Schimmel Bacteriën	pH-KCl	3,9	6,3	3,8	Zware rivierklei, Ossekampen, (Bloem, 2001 ongepubliceerde data) en (Rutgers e.a., 2002)
	Organische stof	21,5	18,8	22,1	
	Biomassa ($\mu\text{g C/g}$ droge grond)	1187	529	479	
	Biomassa ($\mu\text{g C/g}$ droge grond)	196	249	170	
Regenwormen	Activiteit Thymi. Inb. (pmol/g/uur)	7	59	8	Veen, De Wieden, Natuurmonumenten, (Piek e.a., 1998)
	pH-KCl	4,1	6,4	6,0	
Potwormen	Aantal/m ²	110	740	450	
	PH	4,6	5,3	4,4	Cockle Park, (Standen, 1982)
	Aantal/m ²	209	126	127	
	Aantal soorten	7	12	9	

Invloed op de functies van bodemleven en de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem

Voor de functie van aanvoeren van nutriënten (d.w.z. stikstofbinding) is de pH essentieel (zie tabel 4.10). Door bekalken stijgt de activiteit van bacteriën en neemt de stikstofmineralisatie toe. De beschikbaarheid van andere nutriënten (fosfor en sporenelementen) zal door de pH-stijging juist afnemen. Het effect van bekalken op de functie van opname van nutriënten door planten is moeilijk duidelijk te krijgen. Bekalken en pH-stijging creëert een minder gunstige omgeving voor schimmels en Mycorrhizaschimmels. Het is onbekend wat bekalking en pH-stijging direct voor de beworteling betekent. Door de afbraak van organische stof staat de functie van vastleggen van nutriënten ook onder druk. Door de toename in activiteit van bacteriën en regenwormen zullen de bodemstructuurverbeterende functies juist positief beïnvloed worden. Bekalken lijkt daarom een keuze tussen het stimuleren van structuurverbeterende functies op korte termijn en behoud van organische stof op lange termijn.

Tabel 4.10: Invloed van bekalken/pH 5-7 op de individuele onderdelen en functies van het bodemleven

Invloed bekalken/pH 5-7	?	++	--	--	?+	++	++	++	?	
Functies	Beoordeling functie	Beworteling	Bacteriën	Schimmels	Mycorrhiza	Protozoën	Nematoden	Regenwormen	Potwormen	Sprinkstaarten + Mijten
Aanvoeren van nutriënten in de bodem	++		++							
Beschikbaar maken van nutriënten voor planten	+ -		++	--	--	?+	++	++	++	?
Opname van nutriënten en water door planten	? -	?+			--					
Vastleggen van nutriënten	+ -	?+	++	--	--	?+	++	++	++	?
Bodemstructuurverbetering door aggregaatforming	++	?+	++	--	--			++	++	?
Bodemstructuurverbetering door profielontsluiting	++	?+						++		
Ziektewering	+ -	?+	++	--	--	?+	++			?

+ positief, - negatief op aantallen en soorten

4.2.3 Graslandgebruik

4.2.3.1 Maaien versus weiden

Invloed op het bodemleven

Invloed van graslandgebruik op bodemleven heeft te maken met al dan niet verstoring van het milieu van het bodemleven, gewas- en mestresten en wortelontwikkeling. Met name wortelontwikkeling speelt op een melkveebedrijf een belangrijke rol. De maai-frequentie en het beweidingssysteem hebben immers een invloed op het actief bladoppervlakte van gras voor fotosynthese. Dit bepaalt vervolgens de wortelontwikkeling en daarmee direct en indirect de voeding van het bodemleven (zie hoofdstuk 7: Beworteling). Zo leidt het stoppen van begrazen op extensieve- of natuurgraslanden tot lagere aantallen nematoden en met name lagere aantallen planten-etende nematoden (Bardgett e.a., 1997; Freckman e.a. 1979). In onderzoek op Aver Heino op bemeste gras/klaver was het totaal aantal nematoden en planten-etende nematoden onder maaien daarentegen hoger in vergelijking met maai/weidebeheer (Van Baal en Bezooijen, 2000)(tabel 4.11). Het lagere aantal planten-etende nematoden op extensieve- en natuurgraslanden wordt hoogstwaarschijnlijk verklaard door een gereduceerd wortelstelsel als gevolg van een suboptimale fotosynthese.

Tabel 4.11: Invloed van weiden/maaien of alleen maaien op bodemleven onder gras/klaver

Bodemleven	Parameter	Weiden/ Maaien	Maaien	Bron
Bacteriën	Totale biomassa ($\mu\text{g/g}$ grond)	219	218	Baars en Van Eekeren, ongepub.data
Schimmels	Actieve biomassa ($\mu\text{g/g}$ grond)	19	13	
	Totale biomassa ($\mu\text{g/g}$ grond)	107	348	
Protozoën	Actieve biomassa ($\mu\text{g/g}$ grond)	38	37	
	Flagellaten (aantal/g grond)	15.572	41.080	
	Amoebe (aantal/g grond)	16.752	13.017	
	Ciliaten (aantal/g grond)	134	80	
Vrijlevende nematoden	Aantal/ 100 g grond	7874	9085	Van Baal en Bezooijen, 2000
	Plantenetende (%)	506 (6%)	970 (11%)	

In het onderzoek op Aver Heino onder pure maaiomstandigheden, is behalve een hoger aantal nematoden ook een hogere schimmelbiomassa gevonden. Dit komt overeen met waarnemingen van Bardgett e.a. (1993). Echter omdat in dat onderzoek ook de activiteit van schimmels nagenoeg niet veranderde,

is door hen gesuggereerd dat het niet beweiden leidt tot een accumulatie van dode inactieve schimmelraden. In de proef op Aver Heino werden onder maaioomstandigheden juist meer flagelatten (protozoën) gevonden die bacterie-etters zijn. Bardgett e.a. (1993) nam bij een toename van de totale schimmelbiomassa, een afname van de schimmeletende springstaarten waar.

Invloed op de functies van bodemleven en de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem

Het graslandgebruik op een melkveebedrijf heeft middels de beworteling, een belangrijke invloed op het bodemleven en de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem. Om deze cyclus optimaal te laten functioneren moet het graslandbeheer gericht zijn op een hoge bewortelingsdichtheid gecombineerd met een goede bewortelingsdiepte. Dit wordt gerealiseerd door een management dat toewerkt naar een hoge spruitdichtheid en een maai- en beweidingfrequentie die een optimale fotosynthese geeft om wortelreserves te herstellen.

4.2.3.2 Vertrappings- of rijshade

Op grasland zijn relatief veel bewerkingen met zware machines (mesttank, opraapwagen, hakselaar etc.). Daarnaast kan begrazing onder verkeerde (te natte bodem of te jonge bodem) omstandigheden aanleiding zijn voor schade van de zode. Klaver draagt op twee manieren bij aan de vertrappings- en rijshade:

- a. Klaver geeft minder draagkracht aan de zode dan gras. Bij een hoog klaveraandeel is de kans dat koeien door de zode heen trappen groter dan bij een zode met alleen gras.
- b. Klaver heeft dikkere wortels en is daarmee gevoeliger voor bodemverdichting dan gras (zie hoofdstuk 7: Beworteling). Dit is ook duidelijk te zien in rijsporen op maaipercelen waar de klaver duidelijk terugvalt.

Invloed op bodemleven

Vertrapping geeft met name aanleiding tot verkleining van de macroporiën (Vertes e.a., 1988). Hierdoor ontstaat er minder ruimte voor het bodemleven en is er minder lucht in de grond. Gevolg is een afname van de natuurlijke drainage waardoor op plekken met vertrappings- of rijshade makkelijker water blijft staan, anaërobe bodemcondities worden gecreëerd en het meeste bodemleven in activiteit en aantal afneemt. In bodemverdichtingsproeven op alpenweiden waren voor protozoën met name poriëngrootte en watergehalte van de bodem de beperkende factoren voor groei (Foissner, 1999). Op een Noors proefbedrijf werd gekeken naar het effect van twee intensiteiten van tractor-verkeer ('laag' en 'normaal') op de regenwormdichtheid. Het onderzoek werd uitgevoerd in een vruchtwisselingexperiment met akkerbouwgewassen en gras/klaver kunstweiden. Het verschil tussen 'normaal' en 'laag' tractor-verkeer bedroeg op jaarbasis 5x berijden met de trekker. In het begin van de proef was het verschil tussen de twee intensiteiten 520 wormen/m² (Hansen en Engelstad, 1999).

Invloed op de functies van bodemleven en de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem

Bodemverdichting door vertrappings- en rijshade heeft een negatief effect op het functioneren van het meeste bodemleven en de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem. Het motto is hier dan ook, voorkomen is beter dan genezen. Voorkomen zit gedeeltelijk in het management van het klaveraandeel om voldoende draagkracht te behouden. Aan de andere kant zijn weersomstandigheden en de manier van begrazen en berijden cruciaal. Voorkomen is goed, maar op melkveebedrijven zullen altijd situaties blijven voordoen waar vertrappings- en rijshade optreedt. Echter het lastige is dat in grasland juist het bodemleven, de bewortelingsintensiteit en de gewasgroei voor het grootste deel moeten zorgen voor het herstel van deze schade, terwijl ze direct schade ondervinden van bodemverdichting. De herstelmechanismen moeten dus optimaal aanwezig zijn op een veehouderijbedrijf. Dit benadrukt nogmaals het belang van de bodemstructuurvormende functies van bodemleven onder grasland.

4.2.3.3 Grondbewerking voor herinzaai en vruchtwisseling

Motieven voor herinzaai en vruchtwisseling

Motieven voor herinzaai zijn onder andere een lage productie, lage voederwaarde, onevenwichtig klaveraandeel, slechte botanische samenstelling, specifieke onkruiden (bijvoorbeeld Ridderzuring) en een slechte ontwatering. Een aantal van deze motieven zijn terug te voeren op een slechte bodemstructuur en een slechte beworteling van de zode. Het motief van vruchtwisseling concentreert zich in eerste plaats op de teelt van voedergewassen die het rantsoen optimaliseren en de gewasproductie verhogen. Voordeel is ook, dat door de vruchtwisseling de door klaver opgebouwde stikstof in een voedergewas wordt benut. De stikstofarme stoppel na de teelt van voedergewassen zijn ideale omstandigheden voor de ontwikkeling van een evenwichtige en productieve gras/klaver. Dit laatste wordt voor steeds meer bedrijven een eerste motief om vruchtwisseling of een tussengewas toe te gaan passen. Daarnaast kan mogelijk met vruchtwisseling een eventuele klavercystenbesmetting worden gereduceerd.

Invloed op bodemleven

Door grondbewerking wordt de bodem losser en luchtiger. Daarnaast vindt er een menging plaats van organische stof en nutriënten waardoor deze gelijkmatig in de bouwvoor verdeeld zijn. Dit alles maakt de bodem beter doorwortelbaar en stimuleert de activiteit van verschillende bodemorganismen (bijvoorbeeld bacteriën). Echter door het scheuren van grasland tot bouwland wordt de biomassa van het bodemleven sterk gereduceerd. De belangrijkste oorzaken zijn verstoringen en verminderde continuïteit van het leefmilieu en het voedselaanbod voor bodemorganismen. Verstoring van de bodem door grondbewerking heeft een nadelig effect op schimmels en Mycorrhizaschimmels. Vele wormen worden gedood. Dit wordt sterker als de bewerking dieper en intensiever is en als de zode wordt gefreest. Het direct schadelijke effect van grondbewerking is over het algemeen minder groot dan het negatieve effect van grondbewerking op het directe leefmilieu, zoals schade aan (verticale) wormgangen en voedsel (Kloen, 1988). Onderzoek laat zien dat er direct na scheuren van grasland minstens zoveel wormen voorkomen als in de graslandfase. Dit laat zien dat voedsel erg belangrijk is voor de aanwezigheid van wormen.

Illustratief voor de invloed van grondbewerking en vruchtwisseling op het bodemleven is een proef in België op een zandige leemgrond waar 3 types van landgebruik worden vergeleken: 36 jaar oud grasland met een laag klaveraandeel; 3 jaar gras/klaver → 3 jaar voedergewassen en 36 jaar continue teelt bouwland (zie tabel 4.12). Het aantal vrijlevende nematoden is het hoogste onder het oude grasland, waar planten-etende nematoden het sterkste domineren. Het 36 jaar oude bouwland heeft de helft van het aantal nematoden van het oude grasland en hier domineren de bacterie-etende nematoden. Onder vruchtwisselingsomstandigheden houden de nematoden qua aantallen goed stand en slaan de functionele groepen om naar de planten-etende nematoden in de 3-jarige graslandfase en naar de bacterie-etende nematoden in de 3-jarige bouwlandfase. In tegenstelling tot de vrijlevende nematoden kunnen de regenwormen zich moeilijker handhaven onder de vruchtwisselingsomstandigheden. In het 1^e jaar bouwland na 3 jaar gras/klaver neemt het aantal regenwormen sterk af, terwijl er in het 1^e jaar gras/klaver na 3 jaar bouwland het aantal nog sterk moet opbouwen. Qua soortensamenstelling worden onder het oude grasland vrij veel pendelaars gevonden die in de behandelingen met vruchtwisseling of akkerbouw met moeite stand houden.

Specifiek voor klaver is mogelijk één van de voordelen van vruchtwisseling de beheersing van het klavercystenaaltje. In het oude grasland zijn door relatief lage klaveraandelen de besmetting met het klavercystenaaltje laag. In de twee vruchtwisselingspercelen blijkt zich na 3 jaar met redelijk goede klaveraandelen een matige besmetting op te bouwen. Deze loopt echter snel terug na de teelt van voedergewassen. Eén seizoen voedergewassen (6 maanden) is echter nog niet voldoende om de aaltjesbesmetting tot 0 te reduceren.

Tabel 4.12: Bodemleven op een zandige leemgrond onder drie verschillende vormen van landgebruik (Reheul, Nevens en Bommelé, ongepubliceerde data Universiteit van Gent).

Bodemleven	Parameter	36 jaar oud grasland	1 ^e jaar gras/klaver na 3 jaar bouwland	1 ^e jaar bouwland na 3 jaar gras/klaver	36 jaar oud bouwland
Vrijlevende nematoden	Aantal/100 g grond	6728	5007	5248	3648
	Plantenetende (%)	63	59	34	40
	Bacterie-etende (%)	26	32	64	50
Klaver cystenaaltje	Totaal aantal cysten/100 g grond	3	3	41	0
	Aantal levende cysten/100 g grond	1	2	12	0
	Totaal aantal larven/100 g grond	20	55	355	0
Regenwormen	Aantal/m ²	310	50	100	56
	Bodembewoners % ¹⁾	63	100	97	100
	Pendelaars % ¹⁾	37	0	3	0

¹⁾ % van totaal aantal wormen

Invloed op de functies van bodemleven en de cyclus gewas/beworteling (bodemleven (bodem)
 Door vruchtwisseling wordt er optimaal gebruik gemaakt van de aanvoer van gebonden stikstof (zie tabel 4.13). Echter de omzetting van een graszode tot bouwland leidt tot een verstoring van schimmels, Mycorrhizaschimmel en regenwormen waardoor de functies die deze groepen uitvoeren onder druk staan. Doel moet dan ook zijn, om af te blijven van een graszode die goed produceert. Motieven voor herinzaai of vruchtwisseling van een zode zijn echter vaak terug te voeren op het niet functioneren van de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem. Met andere woorden je gaat iets verstoren wat door omstandigheden al niet goed functioneert. Grondbewerking en vruchtwisseling zijn dan middelen om de cyclus nieuw leven in te blazen door een betere verdeling van de organische stof en een betere doorwortelbaarheid. Verder onderzoek moet uitwijzen hoe de negatieve effecten van vruchtwisseling op bodemleven en het functioneren van bodemleven kunnen worden geminimaliseerd (bijvoorbeeld lengte voedergewasfase) en hoe de beworteling en het bodemleven na herinzaai van gras/klaver zo goed mogelijk worden gestimuleerd. Aanknopingspunten hierbij zijn het gebruik van snel en diep wortelende gewassen (Rode klaver en granen als dekvrucht), inbrengen van vers organisch materiaal (vaste mest, groenbemester, wortels etc.), eventueel gecombineerd met een strategische bekalking.

Tabel 4.13: Invloed van vruchtwisseling op de individuele onderdelen en functies van het bodemleven

Invloed vruchtwisseling										
		++	++	-+	-+	?	+-	-+	?	?
Functies	Beoordeling functie	Beworteling	Bacteriën	Schimmels	Mycorrhiza	Protozoën	Nematoden	Regenwormen	Potwormen	Sprinkstaarten + Mijten
Aanvoeren van nutriënten in de bodem	++		++							
Beschikbaar maken van nutriënten voor planten	+-		++	-+	-+	?	+-	-+	?	?
Opname van nutriënten en water door planten	+-	++			-+					
Vastleggen van nutriënten	+-	++	++	-+	-+	?	+-	-+	?	?
Bodemstructuurverbetering door aggregaatforming	-+	++	++	-+	-+			-+	?	
Bodemstructuurverbetering door profielontsluiting	-+	++						--		
Ziektewering	++	++	++	-+	-+	?	++			

+ positief, - negatief op aantallen en soorten

4.2.3.4 Enten

Invloed op bodemleven

Door enten kan een specifiek bodemorganisme worden geïntroduceerd. Introductie is alleen zinvol als levensomstandigheden goed zijn maar het organisme de betreffende plek niet op eigen kracht kan bereiken. Bijvoorbeeld de Flevopolder waar regenwormen na inpoldering ontbraken. Op deze gronden had het introduceren van regenwormen effect op de grasproductie. In de rest van Nederland zijn regenwormen bijna altijd aanwezig en hoeven dus niet te worden geïntroduceerd. In de veehouderij kunnen de volgende vormen van enten relevant zijn of worden al in de praktijk toegepast:

- Rhizobiumbacterie voor stikstofbinding. De specifieke Rhizobiumbacterie voor Luzerne is in zandgrond niet aanwezig en moet daarom worden geënt. Over het algemeen is de Rhizobiumbacterie van Witte- en Rode klaver in alle gronden aanwezig. Echter op zuurdere gronden kan het zijn dat er minder effectieve stammen aanwezig zijn en kan het zelfs in combinatie met bekalking interessant zijn het zaad te enten (Nutman en Ross, 1969).
- Mycorrhizaschimmels voor opname van nutriënten en water: In de boomteelt worden zaailingen van dennenbomen geënt met bosgrond om te zorgen voor een kolonisatie van wortels met Ectomycorrhizaschimmels. Specifiek enten van Arbusculaire Mycorrhizaschimmels op grasland wordt wel gedaan bij de aanleg van sportvelden. Onderzoek in Nieuw Zeeland naar het inoculeren van een specifieke Mycorrhizasoort op klaver gaf positieve resultaten met betrekking tot fosfaatopname (Powell, 1977). Verder onderzoek moet uitwijzen of dit interessant kan zijn voor de Nederlandse situatie.
- Effectieve Micro-organisme (EM) voor een betere mineralenbenutting: EM is een mengsel van melkzuurbacteriën en gist (Egeraat, 1998). Het maakt onderdeel uit van het Agriton-systeem. Daarnaast wordt het wel gebruikt als inkuilmiddel.
- *Trichoderma*-schimmel (voor Snijmaïs) en de *Pseudomonas*-bacterie (voor granen) tegen kiemschimmels. Zaad dat vrij is van kiemschimmels in combinatie met een goed zaaibed zijn echter de beste remedies tegen kiemschimmels.

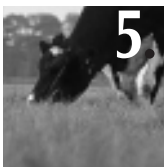


Meten en beoordelen van het functioneren van het bodemleven

5.1 Meten en beoordelen van de samenhang

5.2 Meten en beoordelen van individuele functies

5.3 Meten en beoordelen in de praktijk en voor praktijkonderzoek



5 Meten en beoordelen van het functioneren van het bodemleven

In hoofdstuk 3 zijn de functies van het bodemleven besproken en in hoofdstuk 4 de managementinvloeden op het bodemleven. Een belangrijke stap die hier bij hoort is het kunnen beoordelen van het functioneren van het bodemleven onder de huidige omstandigheden. Hiermee kan een melkveehouder de zwakke schakels in het functioneren van het bodemvoedselweb benoemen en beïnvloeden met gerichte managementveranderingen.

Meten en beoordelen van het functioneren van het bodemleven kan rechtstreeks gebeuren aan het bodemleven maar ook aan de resultante van de verschillende functies of aan het totale plaatje van de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem. Het functioneren van het bodemleven kan aldus via de volgende parameters worden gemeten en beoordeeld:

1. Bodemleven:
 - aantallen of biomassa;
 - activiteit;
 - diversiteit (soorten, functionele groepen of overlevingsstrategieën);
2. Bodem (fysisch en chemisch);
3. Gewas en beworteling.

Metingen aan het gewas en beworteling worden maar gedeeltelijk bepaald en/of verklaard door het functioneren van het bodemleven. Ditzelfde geldt (in mindere mate) voor bodemfysische eigenschappen. Aggregaatstabiliteit kan bijvoorbeeld in verschillende onderzoeken gekoppeld worden aan de biomassa van het bodemleven. Een argument om rechtstreeks aan bodemleven te meten is omdat hier vaak het snelste veranderingen optreden. Voor zaken als stabiliteit, veerkracht en herstellend vermogen, hoop je zelfs dat de structuur van het bodemvoedselweb een soort van voorspellend karakter kan hebben.

Met dit in het achterhoofd wordt in paragraaf 5.1 gekeken hoe de samenhang in het functioneren van het bodemvoedselweb kan worden gemeten en beoordeeld. In paragraaf 5.2 wordt het meten en beoordelen van de individuele functies van het bodemleven besproken. In paragraaf 5.3 staan de verschillende metingen voor praktijk en praktijkonderzoek op een rij.

5.1 Meten en beoordelen van de samenhang

Meten aan het bodemleven

Als veehouder wil je naast het functioneren van de individuele functies (zie paragraaf 5.2), ook de samenhang van het bodemvoedselweb kunnen meten en beoordelen. Deze samenhang vertegenwoordigt ook de stabiliteit, veerkracht en herstellend vermogen van het bodemvoedselweb.

Metingen aan het bodemvoedselweb worden gedaan in verschillende landen in het kader van biodiversiteitonderzoek. In de meeste landen concentreert dit onderzoek zich op metingen aan microbiologische biomassa, ademhaling (CO_2), N-mineralisatie en microbiologische diversiteit (Bloem e.a., 2003). De insteek van dit onderzoek is vaak het effect van milieuvuiling op ondergrondse biodiversiteit. Landbouwkundig gezien zijn deze metingen dus eenzijdig gericht op het microbiologische deel van het bodemvoedselweb. Het functioneren van het bodemvoedselweb wordt in dat geval heel sterk vanuit de beschikbaarheid van nutriënten bekeken.

In enkele landen is het bodembiodiversiteitonderzoek breder georiënteerd. Bijvoorbeeld Zwitserse onderzoekers meten naast deze microbiologische parameters ook nog regenwormen (Bloem e.a., 2003). Het Nederlandse monitoring-programma, het BoBi-project, omvat naast de microbiologische parameters ook metingen aan biomassa en soortensamenstelling van nematoden, regenwormen, potwormen en springstaarten en mijten. Deze metingen gebeuren in dit project in verschillende landgebruiksystemen waaronder melkveebedrijven. Voor de beoordeling van metingen op gangbare melkveebedrijven dienen biologische bedrijven als referentie. Hiermee wordt vervolgens de Bodemkwaliteitsindex voor verschillende melkveebedrijven berekend. Op basis van 63 kenmerken was de Bodemkwaliteitsindex op zandgrond voor biologische bedrijven 100%, voor gangbare extensieve melkveebedrijven 73% en voor gangbare intensieve melkveebedrijven 67% (Schouten e.a., 2002).

De beoordeling met behulp van de Bodemkwaliteitsindex is momenteel heel sterk gericht op landgebruiksystemen met biologische bedrijven als referentie. Voor de toekomst is het misschien mogelijk om dit voor individuele bedrijven te ontwikkelen in relatie tot een groep referentie bedrijven die als "goed" zijn betiteld, zodat er een meer algemene streefwaarde is voor de beoordeling van de metingen. Het Louis Bolk Instituut onderzoekt op dit moment, hoe met gegevens uit het BoBi-project, de bodemvoedselwebstructuur van individuele bedrijven kan worden gevisualiseerd en daarmee kwalitatief kan worden getypeerd en vergeleken (Smeding, in voorbereiding). Bij deze kwalitatieve analyse worden biomassa of aantallen van groepen bodemleven en/of functionele groepen gestandaardiseerd tot een getal tussen 0 en 1. Van alle bedrijven krijgt de hoogst gevonden waarde een 1. De vervolgens gestandaardiseerde waarde zijn visueel weergegeven als cirkels in een voedselweb-diagram, waarbij de cirkelgrootte correspondeert met de waarde; basisgroepen van het voedselweb krijgen daarbij een grotere cirkels dan topgroepen. Bij deze kwalitatieve beoordeling staat de compositie centraal en worden dus ook de verhoudingen tussen fauna/microflora-groepen meegenomen. In figuur 5.1 en figuur 5.2 zijn deze visuele voedselwebdiagrammen van twee biologische melkveebedrijven weergegeven. Het bedrijf in figuur 5.1 heeft een sterke basis van bacteriële biomassa gevolgd door een evenwichtige verdeling van voedselgroepen in de rest van het voedselweb. Het bedrijf in figuur 5.2 heeft een voedselweb dat sterk op de herbivoren middengroep is gericht en slecht vertegenwoordigd is in de basis en de top van het voedselweb.

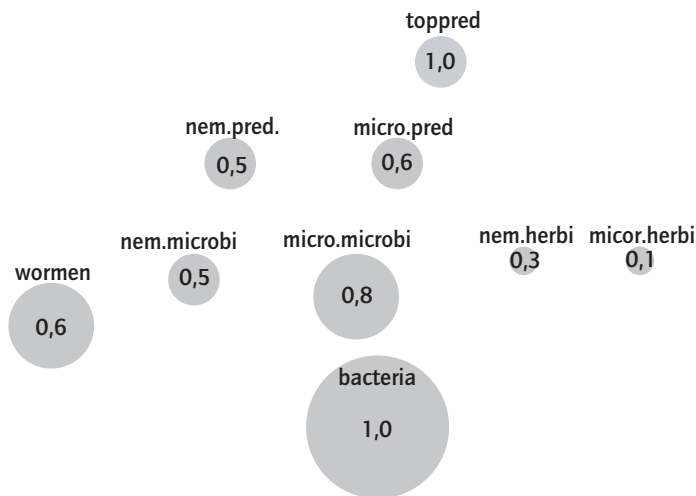
Een andere mogelijkheid om inzicht te krijgen in de samenhang in het voedselweb, is door te kijken naar verhoudingen tussen bepaalde groepen. Een voorbeeld daarvan is de schimmel/bacterie verhouding. Recente metingen hebben laten zien dat gronden met minimale bemesting een schimmels dominantie vertonen. Daarom kan schimmel/bacterie verhouding een potentiële indicator zijn voor efficiënt nutriënten gebruik (Bardgett en McAlister, 1999)(zie ook hoofdstuk 8: Bacteriën en schimmels). Een variant hierop is het indelen van soorten in functionele groepen en vervolgens daarmee een index berekenen. Een voorbeeld hiervan is de "Maturity Index" van nematoden (Bongers, 1990).

Meten activiteit bodemleven

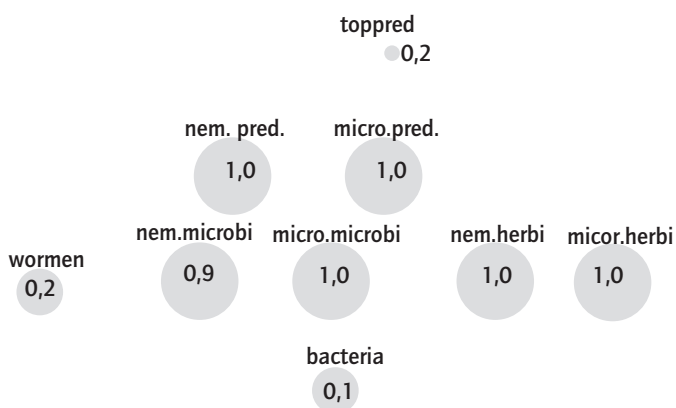
Eén van de methode die de activiteit van een aantal groepen bodemleven kan beoordelen is de ademhalingstest of koolzuurproductie. Evenals mens en dier produceren de meeste bodemorganismen koolzuur (CO₂). Als er veel koolzuur wordt geproduceerd dan is de activiteit hoog. De testkit bodemkwaliteit (Koopmans en Brands, 2003) bevat onder andere een test voor koolzuurproductie in het veld. Daarnaast kan de koolzuurproductie onder gestandaardiseerde omstandigheden in het laboratorium worden gemeten. Behalve als maat voor de activiteit van het bodemleven dient het dan ook als maat voor potentiële koolstofmineralisatie. Daarmee is deze meting ook een indicator voor het beschikbaar maken van nutriënten (paragraaf 5.2.2).

Metten diversiteit van bodemleven

De verdeling van het bodemleven over soorten en functionele groepen zegt iets over de diversiteit. Eén van de methoden die iets zegt over de diversiteit van het bodemleven met betrekking tot de omzetting van verschillende substraten is de Biolog-methode. Deze methode meet de hoeveelheid grond die nodig is om een serie van specifieke substraten om te zetten. Een grond waarvan een kleine hoeveelheid



Figuur 5.1: Voorbeeld van een visuele representatie van een stabiele of verzadigde voedselwebstructuur op een biologisch melkveebedrijf (Smeding, in voorbereiding)



Figuur 5.2: Voorbeeld van een visuele representatie van een onstabiele of dynamische voedselwebstructuur op een biologisch melkveebedrijf (Smeding, in voorbereiding)

nodig is om deze substraten af te breken, heeft een hoge functionele diversiteit. Naast dat de Biolog-methode iets zegt over het beschikbaar maken van nutriënten, kan hij ook een maat geven voor de veerkracht van het bodemleven om zich aan te passen aan wisselende omstandigheden.

Metten aan gewas en beworteling

Door langjarige metingen te doen aan gewasopbrengsten en nutriëntenefficiëntie kan de stabiliteit van productie worden gemeten en beoordeeld. Naast werkelijke opbrengstbepalingen in het veld kan dit ook middels de dierproductie worden teruggerekend. Een stabiele productie met een hoge nutriëntenefficiëntie is immers de hoofddoelstelling waar het bij een duurzaam bodembeheer om gaat.

De beworteling is een meer directe parameter om de samenhang van functioneren van het bodemvoedselweb te beoordelen. Zoals de matrix in tabel 3.1 laat zien, speelt beworteling bij zes van de zeven gewenste functies van het bodemvoedselweb een rol. Enkel in het beschikbaar maken van nutriënten speelt de beworteling een beperkte rol. Beworteling wordt echter niet alleen door het bodemleven beïnvloed maar ook door de chemische- en fysische bodemvruchtbaarheid en door het bovengrondse management. Hiermee is beworteling een "holistische" indicator voor de bodemtoestand onder langjarig grasland. Nadeel van een indicator, die door veel factoren wordt beïnvloed, is het aanwijzen van de beperkende schakel bij een slechte beworteling. Aan de andere kant kunnen na het waarnemen van een goede beworteling veel oorzaken van het niet functioneren van een grasland worden uitgesloten.

Kwantitatieve methoden om beworteling te meten zijn arbeidsintensief en vrij specialistisch (zie hoofdstuk 7: Beworteling). Mogelijk is voor grasland het aantal plantenetende nematoden een optie om beworteling op een relatief makkelijke manier te kwantificeren; dit zou moeten worden onderzocht. Voor de praktijk lijkt de visuele beoordeling aan de hand van een plag of profielkuil voorlopig het meest haalbaar. Een mogelijkheid om deze visuele beoordeling te kwantificeren zou kunnen aan de hand van scorekaarten zoals gebruikt door Shepherd (2000) voor snijmaïs (zie foto). Eventueel gecombineerd met de semi-kwalitatieve "handmethode" van Sprangers en Arp (1999). Belangrijk bij de visuele beoordeling van beworteling is ook om na te gaan in hoeverre de beworteling wordt geremd door de bodemstructuur. Een probleem van slechte beworteling bij een goede bodemstructuur is van een ander kaliber dan een slechte beworteling gecombineerd met een slechte bodemstructuur.



GOOD CONDITION VS = 2

Unrestricted root development with the main large root bulb up to 25 cm wide and 20-25 cm deep

MODERATE CONDITION VS = 1

The main root bulb is commonly 15 cm wide and 15-18 cm deep. Vertical root development is often restricted below 12 cm with right-angle syndrome not uncommon

POOR CONDITION VS = 0

Vertical and lateral root development is severely restricted, with root systems showing either right-angle syndrome, overthickening, or growth down coulters channels.

Foto: Visuele scorekaart gebruikt in Nieuw Zeeland voor beoordeling beworteling van Snijmaïs (Shepherd, 2000)

5.2 Meten en beoordelen van individuele functies

5.2.1 Meten en beoordelen van aanvoeren van nutriënten in de bodem

Deze paragraaf concentreert zich op het meten en beoordelen van de stikstofbinding door de Rhizobiumbacterie omdat deze bacterie het belangrijkste bodemorganisme is dat mineralen aan het systeem kan toevoegen.

Visuele observaties aan gewas/beworteling

Bij Luzerne op zandgrond is aan de kleur van de plant makkelijk te zien of de specifieke Rhizobiumbacterie aanwezig is namelijk: licht groen -niet aanwezig, donkergroen- wel aanwezig. Voor Witte- en Rode klaver is de specifieke Rhizobiumbacterie op de meeste grondsoorten aanwezig. Observaties aan wortelknolletjes zegt iets over het functioneren van de Rhizobiumbacterie: als er bij doorsnijden een rode kleur aanwezig is dan is het wortelknolletje actief en wordt er stikstof gebonden; maar bij een witte/grijze of groene kleur vindt er geen stikstofbinding plaats. De vorm en grootte van de wortelknolletjes zijn een indicatie van de activiteit. Young (1957) geeft aan dat bij stikstofbinding door klaver, het aantal grote wortelknolletjes (>2 mm) een betere maat is dan het totale aantal wortelknolletjes. Bij klaver zijn kleine wortelknolletjes een teken dat de stikstofbinding niet optimaal loopt, bijvoorbeeld vanwege molybdeen gebrek. Bij Luzerne uit zich dit in lange dunne wortelknolletjes, terwijl dikke en

gedrongen wortelknolletjes een optimale binding indiceren. Observaties aan de vorm en grootte van wortelknolletjes geven echter niet aan hoe efficiënt die Rhizobiumbacterie stikstof bindt. Bij een lage pH komen stammen van de Rhizobiumbacterie voor die wel stikstof binden, maar minder efficiënt. Om dit te beoordelen zijn specialistische metingen noodzakelijk.

Metten aan het gewas

De hoeveelheid stikstofbinding kan worden ingeschat op basis van de klaverproductie. Per ton droge stof van Witte klaver en Rode klaver zijn vuistregels bekend over de stikstofbinding. Meer nauwkeurig is de methode waarin de stikstofproductie van een plot puur gras wordt vergeleken met de stikstofproductie van een plot gras/klaver op hetzelfde perceel. Bij beide schattingsmethoden gaat het om de netto stikstofbinding van het bovengrondse gewas. De bruto stikstofbinding van dit gewas is echter hoger omdat vanwege omzettingprocessen een gedeelte van de stikstof "verloren" gaat. Verloren staat hier tussen aanhalingstekens want een deel van deze stikstof is voedselbron voor het bodemleven onder een gras/klaver.

5.2.2 Meten en beoordelen van beschikbaar maken van nutriënten

Metten aan de biomassa en aantallen van bodemleven

Ieder onderdeel van het bodemleven draagt op eigen wijze een steentje bij aan het beschikbaar maken van nutriënten (zie tabel 3.1). Onderzoeksinstituten en commerciële laboratoria doen op basis van metingen aan het bodemleven voorspellingen over de stikstofmineralisatie. In onderzoek van De Ruiter e.a. (1993) is de stikstofmineralisatie voorspeld aan de hand van uitgebreide metingen aan alle onderdelen van het bodemleven. Het laboratorium van het Soil Foodweb Inc. (SFI) voorspelt de stikstofmineralisatie op basis van de stikstof die vrijkomt bij de consumptie van bacteriën en schimmels door protozoën en nematoden. In onderzoek van de WUR in het VEL/VANLA-gebied worden voorspellingen gedaan aan de bijdragen van stikstofmineralisatie van regenwormen op basis van aantallen regenwormen, jaartemperatuur en bemesting (De Goede en Brussaard, 2001).

Bij een lage beschikbaarheid van nutriënten geeft de kolonisatie van Mycorrhizaschimmels een indicatie over de mogelijkheden van het bodemvoedselweb om in potentie nutriënten als fosfor vrij te maken.

Metten aan activiteit van bodemleven

Eén van de metingen om de activiteit van het bodemleven, met betrekking tot de functie van de beschikbaar maken van nutriënten in de bodem, te bepalen is het meten van de stikstofmineralisatie door incubatie van bodemmonsters onder gestandaardiseerde omstandigheden. Deze meting geeft aan wat er potentieel, onder gunstige omstandigheden, kan mineraliseren. De bodemstructuur blijft bij deze meting buiten beschouwing terwijl deze in het veld de mineralisatie kan belemmeren. De uitkomst van de meting lijkt ook sterk afhankelijk te zijn van het organische stofgehalte; in het BoBi-project bleek op melkveebedrijven op zandgrond, een rechtlijnig verband tussen de potentiële stikstofmineralisatie en het organische stofgehalte (Schouten e.a., 2002).

In de bodem zijn enzymen aanwezig die bijdragen aan het beschikbaar maken van nutriënten voor de plant. Een voorbeeld is fosfatase, dat een rol speelt bij het beschikbaar maken van fosfor voor de plant. Fosfatase is van microbiologische oorsprong (schimmels, bacteriën) en komt vooral voor als de fosfaat-toestand laag is. In dergelijke bodems kan de aanwezigheid van dit enzym daarom een maat zijn voor de bijdrage van het bodemleven aan het ontsluiten van fosfor (Schinner e.a., 1993).

Metten aan diversiteit van bodemleven

Voor het meten en beoordelen van de diversiteit van het bodemleven, met betrekking tot het beschikbaar maken van nutriënten, kan de Biolog-methode gebruikt worden (zie paragraaf 5.1). Ook biedt de indeling in overlevingsstrategieën van springstaarten en mijten en nematoden een mogelijkheid om de diversiteit van deze functie te meten en te beoordelen.

Meten aan bodemchemische kenmerken

De beschikbaarheid van nutriënten kan bepaald worden door verschillende chemische bepalingen, inclusief die van het stikstof leverend vermogen (NLV) op basis van de 'stikstof-totaal'. Bij de uitkomsten van dergelijke chemische bepalingen is de relatie met het functioneren van het bodemleven niet zonder meer duidelijk.

5.2.3 Meten en beoordelen opname van nutriënten en water door de plant

Meten aan het bodemleven

Mycorrhizaschimmels kunnen door hun schimmeldraden fungeren als een soort van verlengd wortelstelsel van het grasland. De kolonisatie van graswortels door Mycorrhizaschimmels is daarom een indicatie van de potentiële bijdrage van deze schimmels aan de nutriëntenopname.

Meten aan de beworteling

Voor de opname van nutriënten en water is de beworteling cruciaal. Daarom geven metingen aan het wortelstelsel inzicht in de toestand van deze functie. Metingen en beoordeling van de beworteling zijn al besproken in paragraaf 5.1.

Meten aan het gewas

Door het nutriëntengehalte in het gewas te relateren aan de bemestingstoestand kan ook een uitspraak worden gedaan over deze functie. De functie van opname van nutriënten door de plant is optimaal in een situatie waarbij het nutriëntengehalte in de plant voldoende is terwijl de bemestingstoestand onder de streefwaarde ligt.

5.2.4 Meten en beoordelen vastleggen van nutriënten

Meten aan het bodemleven

Het bodemleven legt een grote hoeveelheid van de nutriënten vast in haar eigen biomassa. Deze vastlegging kan beoordeeld worden op basis van de hoeveelheid bacteriën, schimmels en regenwormen omdat deze het grootste deel van de biomassa van het bodemvoedselweb vertegenwoordigen. Een toename van deze organismen in combinatie met een afname van bacterie- en schimmelende nematoden, protozoën en springstaarten/mijten is een duidelijke indicatie dat nutriënten in het bodemvoedselweb worden vastgelegd. Meting van al deze groepen kost vooralsnog veel tijd en is daarom weinig realistisch voor de praktijk.

Meten aan de bodem

De vastlegging van nutriënten door het bodemleven is, behalve in eigen biomassa, in hoge mate gerelateerd aan de bijdrage van het bodemleven op de vorming van stabiele aggregaten. Het meten en beoordelen van aggregaatvorming komt aan de orde in paragraaf 5.2.5. Naast aggregaatvorming draagt het bodemleven bij aan de humusopbouw. In humus worden ook nutriënten vastgelegd. Bij onderzoek op bouwland zijn tijdreeksen gemaakt van de soortensamenstelling van springstaarten en mijten (zie hoofdstuk 14: Springstaarten en mijten). Mogelijk kan de soortensamenstelling van springstaarten en mijten in het najaar een indicator zijn het vastleggen van nutriënten via humusopbouw. Voor de praktijkonderzoek is deze indicator nog niet rijp.

5.2.5 Meten en beoordelen bodemstructuurverbetering door aggregaatvorming

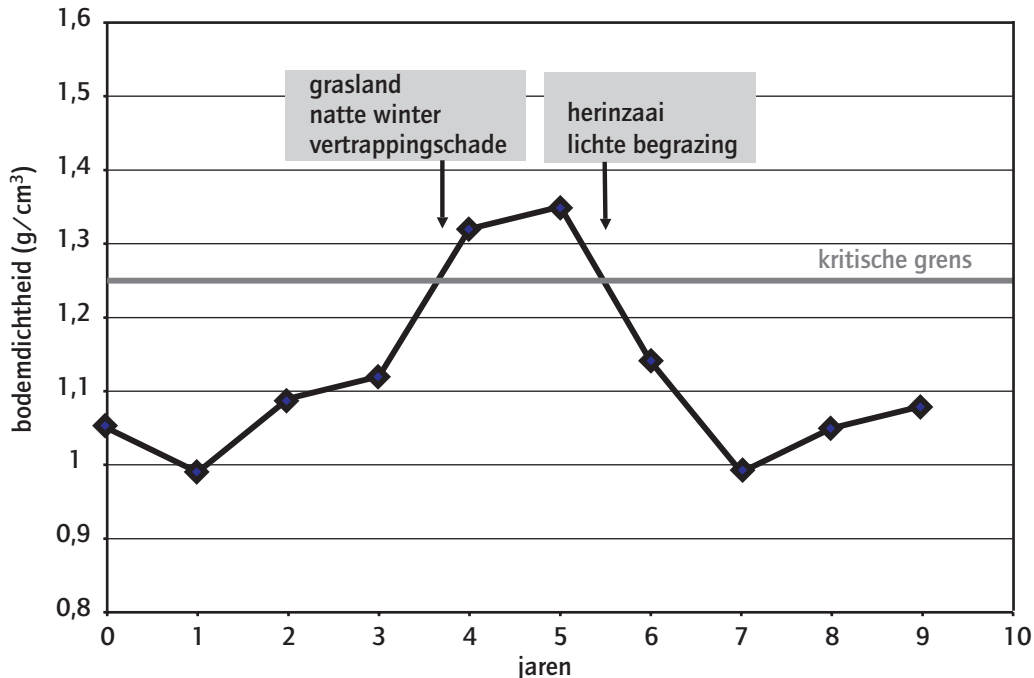
Meten aan het bodemleven

Bodemleven dat verantwoordelijk is voor structuurverbetering zijn vooral bacteriën, schimmels, Mycorrhizaschimmels, regenwormen, potwormen, springstaarten en mijten. Voor een aantal parameters zoals microbiologische biomassa, schimmeldradenlengte van Mycorrhizaschimmels en regenwormenbiomassa is een positieve relatie gevonden met aggregaatstabiliteit (Mäder, e.a. 2002; Tisdal en Oades, 1979). De beoordeling van de toestand van de functie van aggregaatvorming kan gebaseerd worden op de hoeveelheid van deze bodemorganismen.

Metten aan de bodemstructuur

Beoordeling van de functie van aggregaatvorming kan ook door directe meting aan bodemfysische eigenschappen:

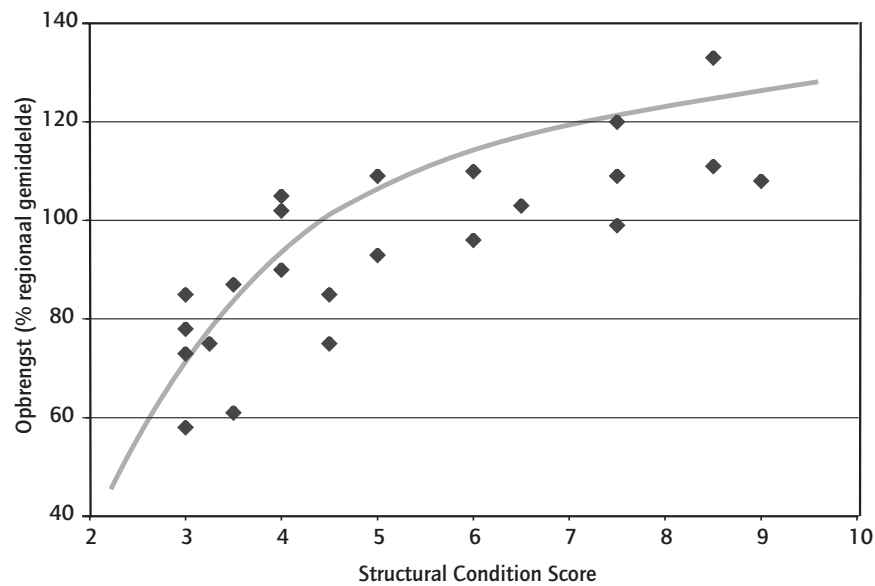
1. Aggregaatstabiliteit: Deze parameter is extra interessant omdat behalve een laboratoriummethode, ook goede ervaringen zijn opgedaan met tests van aggregaatstabiliteit in het veld; in Nieuw Zeeland de "Aggregate Stability Tester" in de "Soil Quality Management System (SQMS)" (Beare e.a., 1999) en in Nederland de aggregaatstabiliteit-test in de testkit bodemkwaliteit (Koopmans en Brands, 2003).
2. Bodemdichtheid: De dichtheid indiceert de compactheid van de grond. Dichtheid is minder dan aggregaatstabiliteit direct gerelateerd aan het bodemleven omdat hij ook sterk te maken heeft met vertrappings- en rijenschade. In de testkit bodemkwaliteit (Koopmans en Brands, 2003) worden een aantal normen aangegeven voor de beoordeling van de bodemdichtheid op verschillende grondsoorten. In Nieuw Zeeland is de bodemdichtheid onderdeel van het "Soil Quality Management System (SQMS)" (zie figuur 5.3).
3. Waterinfiltratie of waterdoorlatendheid: Dit kenmerk is afhankelijk van de textuur en de structuur. Vooral diep in de grond doorlopende poriën en scheuren hebben een gunstig effect op de doorlatendheid van een grond. Door verbetering van bodemstructuur en profielontsluiting (zie paragraaf 3.2) heeft het bodemleven invloed op de waterinfiltratie. In de Nederlandse test-kit is deze meting opgenomen samen met andere parameters van bodemkwaliteit. In het Nieuw Zeelandse SQMS is deze meting niet opgenomen vanwege zijn lage betrouwbaarheid ten opzichte van gestandaardiseerde methoden en vanwege de tijd die deze bepaling kost.
4. Indringingsweerstand: Met behulp van een penetrometer of een prikstok kan vrij snel een indruk worden verkregen van een verdichting van de bovengrond of een ploegzool. Daarnaast geeft het op lichte gronden een globale indicatie van de potentiële bewortelingsdiepte. Echter, er kan een groot verschil bestaan tussen de mechanische weerstand die groeiende plantenwortels ondervinden en de met de prikstok ondervonden weerstand (Koopmans en Brands, 2003).



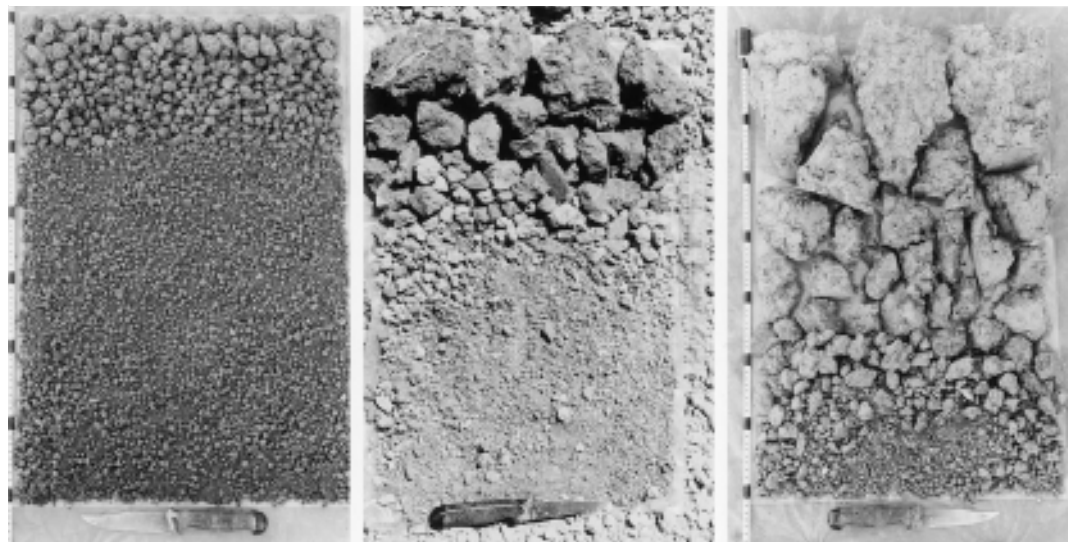
Figuur 5.3: Verloop van de bodemdichtheid over enkele jaren op een graslandperceel (Beare e.a., 1999)

Visuele bodemstructuurbeoordeling

Door het Louis Bolk Instituut is in samenwerking met CLM en NMI, een visuele bodemstructuurbeoordeling uitgewerkt tot een cursus 'Bodem In Zicht' (Bokhorst en Heeres, 2003). Deze cursus geeft richtlijnen voor een onderscheid tussen kruimels, afgerondblokkige- en scherpblokkige elementen. In grasland is het onderscheid tussen deze elementen vaak moeilijk te zien. Meestal is er een vrij compacte bovengrond die geploegd wordt en regelmatig bereden en belopen door het vee. Hier is alleen de beoordeling van een kruimelstructuur mogelijk. In geval van kruimels zijn criteria voor een goede bodemstructuur: 0-5 cm diepte, 100% kruimels; 5-10 cm diepte, 50% kruimels van het volume van de grond; 10-30 cm diepte, 10% kruimels van het volume van de grond. Het Nieuw Zeelandse SQMS gebruikt een "Visual Assessment Profile" en een "Structural Condition Score". Met name de laatste toont een duidelijke relatie met de opbrengst (zie figuur 5.4) (Beare e.a., 1999). Een andere variant van visuele bodemstructuurbeoordeling is die van Shepherd (2000) waarin verschillende observaties aan bodemparameters worden gekwantificeerd (zie foto).



Figuur 5.4: Relatie tussen de "Structural Condition Score" van de bodem en de relatieve gewasopbrengst In Nieuw Zeeland (Beare e.a., 1999).



GOOD CONITION VS = 2

Good distribution of friable finer aggregates with no significant clodding

MODERATE CONDITION VS = 1

Soil contains significant proportions of both coarse firm clods and friable, fine aggregates

POOR CONITION VS = 0

Soil dominated by extremely coarse, very firm clods with very few finder aggregates

Foto: Visuele scorekaart gebruikt in Nieuw Zeeland voor beoordeling bodemstructuur (Shepherd, 2000)

5.2.6 Meten en beoordelen bodemstructuurverbetering door profielontsluiting

Metten aan regenwormen en beworteling

Regenwormen (met name de pendelaars) dragen bij aan de ontsluiting van diepere grondlagen. Het meten en beoordelen van de functie van profielontsluiting kan daarom toegespits worden op de dichtheid van wormen, verticale wormengangen, bewortelingsdiepte en indringingsweerstand. Voor het meten van aantallen pendelende regenwormen zie paragraaf 12.5. Aanvullend kan op minimaal 40 cm diepte het aantal verticale wormengangen worden geteld op een, horizontaal afgestoken, oppervlakte van 50x50 cm. Deze telling kan ook in een profielkuil gebeuren. Uit toekomstig onderzoek zou kunnen blijken of er voor verschillende grondsoorten een optimale dichtheid is van aantallen pendelaars en/of aantallen verticale wormengangen

5.2.7 Meten en beoordelen ziektevering

In biologische grasland bestaan weinig problemen met bodemgerelateerde ziektes. Het meten en beoordelen van ziektevering lijkt daarom minder relevant. Mogelijk zou het ziekteverend potentieel van de bodem wel kunnen dienen als een indicator voor de stabiliteit of het herstellend vermogen van het bodemvoedsweb onder grasland.

Daarnaast is het voor de praktijk van de biologische melkveehouderij wel belangrijk om specifieke kennis te hebben over het meten en beoordelen van een voor klavercystenbesmetting (zie paragraaf 11.5).

5.3 Meten en beoordelen in de praktijk en voor praktijkonderzoek

Bovenstaande samengevat dan zijn de volgende metingen relevant voor de praktijk en praktijkonderzoek (zie tabel 5.1).

Voor de beoordeling in de praktijk kan gebruik gemaakt worden van visuele scorekaarten. Aanvullende informatie vanuit commerciële laboratoria bestaat uit een analyse en beoordeling van de chemische bodemvruchtbaarheid en de nematodensamenstelling. Belangrijk bij de beoordeling is dat het gekoppeld kan worden aan concrete maatregelen voor verbetering. In praktijkonderzoek moet de biomassa en activiteit van bacteriën en schimmels worden opgenomen in een meetprogramma.

Tabel 5.1: Metingen voor de beoordeling van het functioneren van het bodemleven in de praktijk en het praktijkonderzoek

		Parameter	Waar?	Opmerkingen
Bodemleven	Regenwormen	Aantallen+biomassa ¹⁾ +groepen	Veld/ Lab. ¹⁾	Visuele score/ Plaggenmethode/ Lab. ¹⁾
	Nematoden	Aantallen+soorten	Lab	BLGG
	Klaverzysten	Aantallen	Lab	Voor specifieke vraag
	Mycorrhizaschimmels	Kolonisatie+soorten	Lab	Voor specifieke vraag
	Schimmels ¹⁾	Biomassa+activiteit ¹⁾	Lab ¹⁾	Directe tellingen of PFLA? ¹⁾
	Bacteriën ¹⁾	Biomassa+activiteit ¹⁾	Lab ¹⁾	Directe tellingen of PFLA? ¹⁾
	CO ₂ Biolog? ¹⁾		Lab Lab ¹⁾	Verse of gedroogde monsters? Eventueel in de toekomst ¹⁾
Bodem	Chemisch	pH, org,stof, N-totaal, K, P	Lab	
	Bodemstructuur	Verschillende parameters	Veld	Visuele score
	Aggregaatstabiliteit		Veld	Protocol testkit
	Bulkdichtheid		Veld/ Lab. ¹⁾	Protocol testkit
	Waterinfiltratie		Veld	Protocol testkit (optioneel)
Gewas/ wortel	Indringingsweerstand		Veld	Protocol testkit (optioneel)
	Beworteling		Veld/ Lab. ¹⁾	Visuele score en uitspoelen ¹⁾
	Wortelknolletjes		Veld	Visuele score
	Strooisel		Veld	Visuele score
	Gewas		Veld	Visuele score

¹⁾ Metingen enkel voor praktijkonderzoek

SCORE CARD

Visual indicators for assessing soil quality
under pastoral grazing on flat to rolling country

SOIL INDICATORS

Land use:

Site location/Paddock name:

Date:

Soil type:

Textural qualifier: Sandy Loamy Clayey

Moisture condition: Dry Slightly moist Moist Wet

Seasonal weather conditions: Dry Wet Cold Warm Average

Visual Indicator of Soil Quality	Visual Score (VS) 0 = Poor condition 1 = Moderate condition 2 = Good condition	Weighting	VS Ranking
Soil structure & consistence (Fig. 1, p.57)		× 3	
Soil porosity (Fig. 2, p.59)		× 3	
Soil colour (Fig. 3, p.61)		× 2	
Number and colour of soil mottles (Fig. 4, p.63)		× 2	
Earthworm counts (Fig. 5, p. 65)		× 3	
Surface relief (Fig. 6, p. 67)		× 1	
RANKING SCORE (Sum of VS rankings)			

Soil Quality Assessment	Ranking Score
Poor	< 10
Moderate	10 – 20
Good	> 20

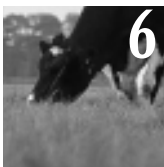
If your soil quality assessment is moderate or poor, guidelines for sustainable management are given in Volume 2, Part Two.

Foto: Scorekaart voor bodemkwaliteit gebruikt in Nieuw Zeeland (Shepherd, 2000)



Samenvatting en conclusies

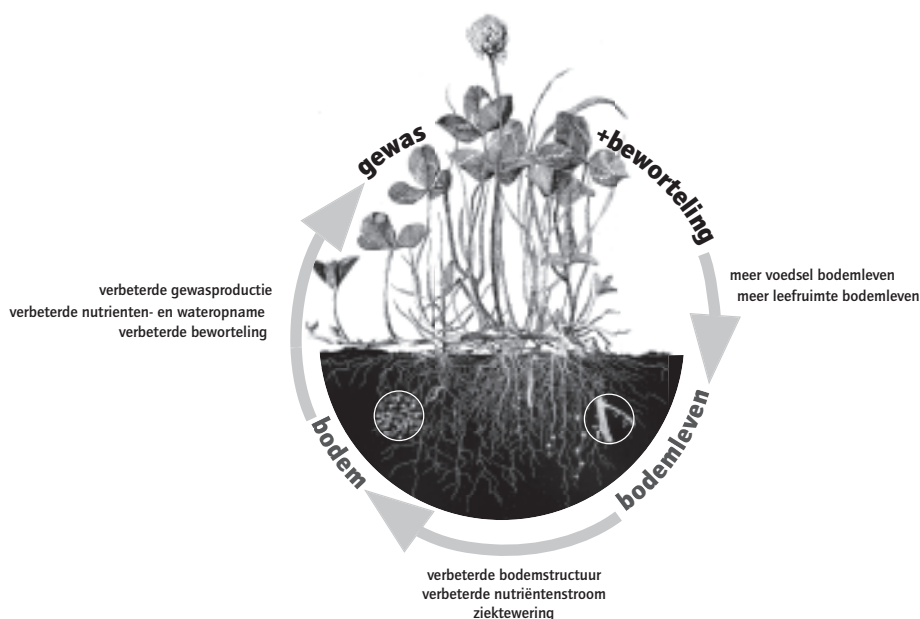
- 6.1 De kapstok voor onderzoek en praktijk**
- 6.2 Functies van het bodemleven in de biologische veehouderij**
- 6.3 Managementinvloeden van de biologische melkveehouderij op bodemleven**
- 6.4 Meten en beoordelen van het functioneren van het bodemleven**



6 Samenvatting en conclusies

6.1 De kapstok voor onderzoek en praktijk

De invloed van management op het bodemleven kan niet los worden gezien van de graszode. Grasgroei en bodemleven zijn wederzijds afhankelijk van elkaar. Gewas/beworteling, bodemleven en bodem vormen met elkaar een cyclus (zie figuur 6.1). Stimulatie van de beworteling heeft een positief effect op het bodemleven en op de bodemvorming. Hierdoor verbetert de beworteling waardoor de plant beter groeit, etc. Voor een meerjarig grasland is deze cyclus extra belangrijk omdat je onder grasland voor de "grondbewerking" afhankelijk bent van het bodemleven. Voor een veehouder is het belangrijk om de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem te koesteren waar deze goed loopt en de cyclus te stimuleren als één van de schakels terugvalt. Het beeld van deze cyclus kan voor praktijk en onderzoek een gezamenlijke "kapstok" of "referentiekader" geven voor het bepalen van maatregelen in de richting van een duurzaam bodembeheer.



Figuur 6.1: Cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem

6.2 Functies van het bodemleven in de biologische veehouderij

In tabel 6.1 staat een overzicht van de verschillende functies en van de onderdelen van het bodemleven die bij deze functies betrokken zijn. Deze functies kunnen niet los van elkaar worden gezien. Het functioneren van het geheel wordt als het ware bepaald door de zwakste schakel in de keten. Doordat er zo'n sterke onderlinge samenhang is tussen functies lijkt het misschien tegenstrijdig om te spreken over een rangorde van functies. Toch zijn er voor biologisch grasland functies aanwijsbaar die een basisvoorwaarde creëren voor de overige functies. In geval van grasland zijn dat in de eerste plaats de bodemstructuurverbeterende functies van het bodemleven. Deze functies zijn, vergeleken met bouwland, van cruciale betekenis voor grasland omdat het voor meerdere jaren aangelegd wordt, en voor het herstel van structuurproblemen dus op het bodemleven aangewezen is. In volgorde van belangrijkheid zou de tweede plaats kunnen zijn voor de functies die de stikstofbinding ondersteunen. Hiervoor moet klaver optimaal kunnen groeien. Vanwege de krappere bemesting in de biologische landbouw, zijn andere functies op hun beurt weer een voorwaarde voor klaverontwikkeling en daarmee voor de stikstofbinding. Deze andere functies zijn het beter beschikbaar maken van nutriënten, het tijdelijk vastleg-

Tabel 6.1: Matrix van functies van het bodemleven en de groepen uit het bodemleven die verantwoordelijk zijn voor deze functies

Functies	Beworteling ¹⁾	Bacteriën	Schimmels	Mycorrhiza	Protozoën	Nematoden	Regenwormen	Potwormen	Sprinkstaarten + Mijten
Aanvoeren van nutriënten in de bodem	X	X							
Beschikbaar maken van nutriënten		X	X	X	X	X	X	X	X
Opname van nutriënten en water door planten	X			X					
Vastleggen van nutriënten	X	X	X	X	x	x	X	X	x
Bodemstructuurverbetering door aggregaatvorming	X	X	X	X			X	X	x
Bodemstructuurverbetering door profielontsluiting	X						X		
Ziektewering	X	X	X	X	X	X			X

¹⁾ Beworteling is formeel geen onderdeel van het bodemleven maar vormt wel een belangrijke schakel tussen bodem, bodemleven en gewas. Om die reden is het toch meegenomen in deze matrix.

gen van nutriënten en het verbeteren van de nutriënten opname voor klavers en gras. Eventueel kan de functie van ziektevering hierin ook een rol spelen.

6.3 Managementinvloeden van de biologische melkveehouderij op bodemleven

Kennis omtrent managementinvloeden op het bodemleven blijkt nog zeer summier te zijn. Vaak is er achteraf een verklaring mogelijk voor een toe- of afname van bodemleven of verandering van de soortensamenstelling. Het blijft echter moeilijk een voorspelling te doen hoe management het bodemvoedselweb beïnvloed en daarmee de functies van het bodemleven aanstuurt. Een uitdaging van onderzoek en praktijk is het ontwikkelen van concrete maatregelen om het bodemvoedselweb en de functies te beïnvloeden. Aangezien dit voor de verschillende bodemtypes sterk kan verschillen, is naast algemene principes ook maatwerk nodig. Daarom is het een extra uitdaging voor de toekomst om in samenhang met algemeen inzicht, specifieke uitspraken te doen voor uiteenlopende omstandigheden. Zoals al aangegeven biedt de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem een kapstok om deze maatregelen te ontwikkelen. De meerwaarde van deze cyclus is de mogelijkheid om te oriënteren op de positie van de managementmaatregelen in deze cyclus en de koppeling ("verstregeling") met andere managementmaatregelen.

Over een aantal dagelijkse managementpraktijken kan het volgende worden geconcludeerd:

- **Bemestingsniveau:** Bij een hoog bemestingsniveau wordt een deel van het bodemleven in aantal en soorten gereduceerd, omdat haar functies als "verzorgen van de beschikbaarheid en opname van nutriënten" direct door de bemesting wordt ondersteund. Gevolg van de reductie van deze bodemorganismen is dat andere functies van het bodemvoedselweb onder druk komen te staan, waardoor de bodemopbouwende functies verminderen. Dat leidt weer tot afname van stabiliteit van productie en een grotere afhankelijkheid van externe aanvoer van nutriënten. Bij het bemestingsniveau op biologische melkveebedrijven met hun aanvoernorm van 170 kg N-totaal per ha lijkt dit geen probleem.
- **Klaver:** Een lage bewortelingsdichtheid van klaver belemmert de opname van nutriënten. Deze functie kan maar gedeeltelijk worden opgevangen door een hogere kolonisatie met Mycorrhizaschimmels. Bij de teelt van klaver moeten daarom de nutriëntenopname door middel van het bodemleven en ook de beworteling extra aandacht krijgen. Meer nadruk op management van beworteling en de selectie van gras- en klaverrassen op beworteling kunnen hiertoe mogelijk soelaas bieden.
- **Mesttoedieningstechniek:** Zodenbemesten lijkt het effect van bemestingsniveau te versterken. Het is de vraag of dit bij het huidige bemestingsniveau van biologische bedrijven grote problemen oplevert. Het lijkt erop dat het bodemleven zich aanpast aan de manier van mesttoediening. Dit pleit ervoor om het bemestingsmanagement over de jaren zo constant mogelijk te houden.

- Mestsoort: Vaste mest heeft een positief effect op de bodemstructuurvormende functies, met name de functie van profielontsluiting. Prioriteit voor toediening van vaste mest ligt bij een jonge graszode met een laag organische stof gehalte.
- Gewasresten: De verschillende gewasresten hebben een positieve invloed op de structuurvormende functies van het bodemleven en het vastleggen van nutriënten. Voor de weidebouw is het de vraag of koolstofrijke producten die in het najaar als een dun laagje op een gras/klaverzode worden gebracht, kunnen bijdragen aan het vastleggen van nutriënten of aan de bodemstructuurvormende functies van het bodemleven. Mogelijk kunnen gewasresten in het najaar en de winter bijdragen aan het herstel van het weideseizoen.
- Bekalken: Verhogen van de pH lijkt een keuze tussen het stimuleren van structuurverbeterende functies op korte termijn en behoud van organische stof op lange termijn.
- Graslandgebruik: Management van de graszode heeft door middel van de beworteling, een belangrijke invloed op het bodemleven. Om de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem op dit punt optimaal te laten functioneren, moet het graslandbeheer gericht zijn op een hoge bewortelingsdichtheid gecombineerd met een diepe beworteling. Dit wordt gerealiseerd door een management dat toewerkt naar een hoge spruitdichtheid en een maai- en beweidingfrequentie die een optimale fotosynthese geeft om wortelreserves te herstellen.
- Vertrappings- en rijschade: Voorkomen is beter dan genezen, maar op melkveebedrijven zullen altijd situaties voorkomen met vertrappings- en rijschade. Echter het lastige is dat in grasland juist het bodemleven, de bewortelingsintensiteit en de gewasgroei voor het grootste deel moeten zorgen voor het herstel van deze schade terwijl ze direct schade ondervinden van verdichting. De herstelmechanismen moeten dus optimaal aanwezig zijn op een veehouderijbedrijf. Dit benadrukt nogmaals het belang van de bodemstructuurvormende functies van bodemleven onder grasland.
- Grondbewerking voor herinzaai en vruchtwisseling: Doel moet zijn om "af te blijven" van een gras/klaver die goed produceert. Motieven voor herinzaai of vruchtwisseling zijn vaak te wijten aan het niet functioneren van de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem. Grondbewerking en vruchtwisseling zijn dan middelen om de cyclus te herstellen. Onder andere door een betere verdeling van de organische stof en een betere doorwortelbaarheid. Verder onderzoek zal moeten uitwijzen hoe de negatieve effecten van vruchtwisseling op het bodemleven kunnen worden geminimaliseerd. Bijvoorbeeld door de duur van de voedergewasfase te beperken. Hierbij hoort ook het vraagstuk hoe de beworteling en het bodemleven na herinzaai van gras/klaver zo goed mogelijk worden gestimuleerd. Praktische aanknopingspunten bij dit probleem zijn het gebruik van snel en diep wortelende gewassen bij herinzaai (Rode klaver en granen als dekvrucht), het inbrengen van vers organisch materiaal (vaste mest, groenbemester, wortels etc.), eventueel gecombineerd met een bekalving.
- Enten: Door enten kan een specifiek bodemorganisme worden geïntroduceerd. Introductie is alleen zinvol als levensomstandigheden goed zijn maar het organisme de betreffende plek niet op eigen kracht kan bereiken.

6.4 Meten en beoordelen van het functioneren van het bodemleven

Metten en beoordelen van het functioneren van het bodemleven kan rechtstreeks gebeuren aan het bodemleven maar ook aan resultante van de verschillende functies of aan het totale plaatje van de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem. Het functioneren van het bodemleven kan via de volgende parameters worden gemeten en beoordeeld:

1. Bodemleven:
 - aantallen of biomassa;
 - activiteit;
 - diversiteit (soorten, functionele groepen of overlevingsstrategieën).

2. Bodem (fysisch en chemisch);
3. Gewas en beworteling.

Metingen aan het gewas worden maar gedeeltelijk bepaald en/of verklaard door het functioneren van het bodemleven. Ditzelfde geldt (in mindere mate) voor bodemfysische eigenschappen. Een argument om rechtstreeks aan bodemleven te meten is omdat hier vaak het snelste veranderingen optreden. Voor zaken als stabiliteit, veerkracht en herstellend vermogen hoop je zelfs dat de structuur van het bodemvoedselweb een soort van voorspellend karakter kan hebben.

Voor de beoordeling in de praktijk kan gebruik gemaakt worden van visuele scorekaarten. Aanvullende informatie vanuit commerciële laboratoria kan bestaan uit een analyse en beoordeling van de chemische bodemvruchtbaarheid en de nematodensamenstelling. Belangrijk bij de beoordeling is dat het gekoppeld kan worden aan concrete maatregelen voor verbetering.

Tabel 6.1: Metingen voor de beoordeling van het functioneren van het bodemleven in de praktijk en het praktijkonderzoek

		Parameter	Waar?	Opmerkingen
Bodemleven	Regenwormen	Aantallen+ biomassa ¹⁾ +groepen	Veld/ Lab. ¹⁾	Visuele score/ Plaggenmethode/ Lab. ¹⁾
	Nematoden	Aantallen+soorten	Lab	BLGG
	Klaverzysten	Aantallen	Lab	Voor specifieke vraag
	Mycorrhizaschimmels	Kolonisatie+soorten	Lab	Voor specifieke vraag
	Schimmels ¹⁾	Biomassa+activiteit ¹⁾	Lab ¹⁾	Directe tellingen of PFLA? ¹⁾
	Bacteriën ¹⁾	Biomassa+activiteit ¹⁾	Lab ¹⁾	Directe tellingen of PFLA? ¹⁾
	CO ₂ Biolog ²⁾		Lab Lab ¹⁾	Verse of gedroogde monsters? Eventueel in de toekomst ¹⁾
Bodem	Chemisch	pH, org,stof, N-totaal, K, P	Lab	
	Bodemstructuur	Verschillende parameters	Veld	Visuele score
	Aggregaatstabiliteit		Veld	Protocol testkit
	Bulkdichtheid		Veld/ Lab. ¹⁾	Protocol testkit
	Waterinfiltratie		Veld	Protocol testkit (optioneel)
	Indringingsweerstand		Veld	Protocol testkit (optioneel)
Gewas/ wortel	Beworteling		Veld/ Lab. ¹⁾	Visuele score en uitspoelen ¹⁾
	Wortelknolletjes		Veld	Visuele score
	Strooisel		Veld	Visuele score
	Gewas		Veld	Visuele score

¹⁾ Metingen enkel voor praktijkonderzoek

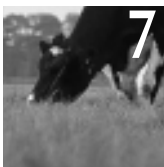


Deel B
**De individuele
bodemorganismen
op een rij**



Beworteling

- 7.1 Beworteling en interacties met bodem en bodemleven**
- 7.2 Beworteling gras en klaver**
- 7.3 Functionaliteit**
- 7.4 Groei van een meerjarig gras**
- 7.5 Managementinvloed**
- 7.6 Meten en indicatorwaarde**
- 7.7 Onderzoeksvragen**



Beworteling

Bodemleven bestaat zowel uit flora (plant) als fauna (dier). Logischerwijs valt de bovengrondse plantenwereld niet onder het bodemleven. Echter de wortels van die planten vormen de schakel tussen bodemvruchtbaarheid en gewasgroei. Onder de grond hebben planten via hun wortels een belangrijke invloed op het bodemleven en de bodemstructuur zodat beworteling als een apart hoofdstuk is opgenomen.

7.1 Beworteling en interacties met bodem en bodemleven

Beworteling heeft voor de plant verschillende functies zoals verankering, opslag van reservestoffen en opname van water en voedingsstoffen. Ondergronds heeft de wortel allerlei directe- en indirecte effecten op het bodemleven en de bodemstructuur en visa versa. Voorbeelden van onderlinge beïnvloeding:

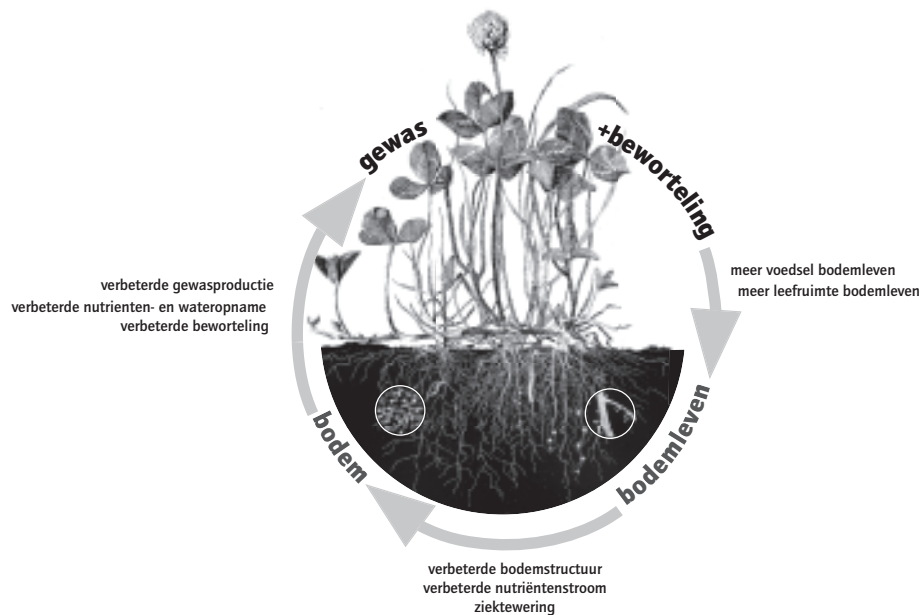
1. Afgeven van wortellexudaten (wortelsappen): Wortels geven sappen af, die bestaan uit suikers, koolhydraten en eiwitten. Gemiddeld gaat 50-60% van de totale energieproductie van een gras naar het wortelstelsel (variatie van grassoorten 25-80%). Hiervan "lekt" de helft als wortellexudaten weg (Whipp, 1990; Ingham, 2001). Door dit "lekker" ontstaat een biofilm van micro-organismen rond de wortels, die helpen met de opname van voedingsstoffen. Ook vormen ze een verdedigingslinie voor ziekteverwekkende organismen. De micro-organismen verbranden een gedeelte van de voedingsstoffen tot CO₂. Daarnaast kunnen de suikers in de wortellexudaten rechtstreeks bijdragen aan de aggregaatvorming.
2. Productie van organische stof: Wortels zijn een belangrijke producent van organische stof. Volgens Deinum (1985) wordt onder een normale graszode 4500 kg per ha per jaar (100%) aan wortelmassa omgezet in organische stof. Deze organische stof draagt direct bij aan een stabielere aggregaatvorming. Ook dient organische stof als voedsel voor verschillende bodemorganismen waarbij in de voedselketen weer voedingsstoffen voor de plant kunnen vrijkomen. In het algemeen zijn plantwortels de enige mogelijkheid om het organische stofgehalte van de ondergrond te verhogen. Bemesting leidt slechts tot een organische stofverhoging in de bovengrond.
3. Vergroten van poriën: Voor beworteling moeten er poriën in de grond aanwezig zijn. Wortels hebben niet de kracht om door verdichte lagen of versturende lagen heen te groeien. Wortels kunnen wel kleine poriën ingroeien en deze vergroten. Bodemleven draagt bij aan de poriënvorming en wortelgangvorming. Zo worden in wormengangen vaak strengen van wortels gevonden.
4. Symbiose met stikstofbindende bacteriën en Mycorrhizaschimmels: Rhizobiumbacteriën kunnen stikstof uit de lucht binden omdat de gastheerplant de energie voor deze binding levert aan de bacterie. Mycorrhizaschimmels zorgen ervoor dat de wortels van hun gastheerplant makkelijker fosfaat uit de bodem kunnen opnemen.

Door afgeven van wortellexudaten en wortelgroei worden er onder een graszode 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 en de mogelijkheid tot symbiose.

"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 zijn bodem te verbeteren.

Gewas/beworteling, bodemleven en bodem vormen met elkaar een cyclus (zie figuur 7.1). Wordt de beworteling gestimuleerd dan heeft dit een positief effect op het bodemleven en op de bodem.

Hierdoor is de beworteling weer beter waardoor de plant weer beter kan groeien etc. Voor een veehouder is het zaak deze cyclus te koesteren waar deze goed loopt en de cyclus te stimuleren als één van de schakels terugvalt.



Figuur 7.1: Cyclus gewas/beworteling -> bodemplen -> bodem

7.2 Beworteling gras en klaver

Voor de biologische melkveehouderij zijn gras en klaver de belangrijkste gewassen. In deze paragraaf wordt kort bij enkele verschillen in beworteling stil gestaan.

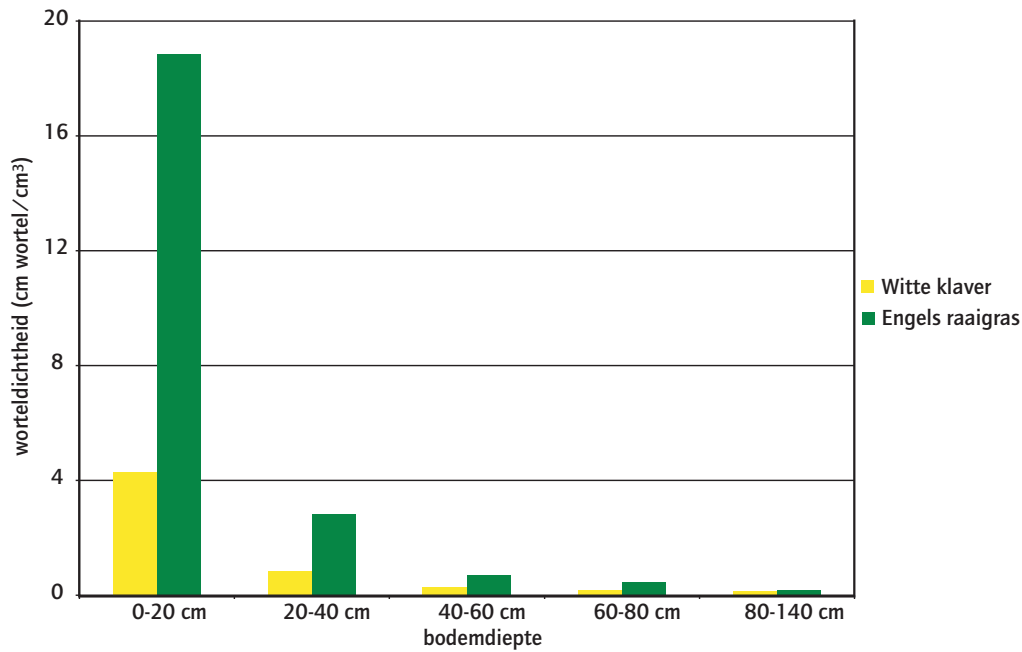
Tabel 7.1: Verschillende parameters van de beworteling van gras en Witte klaver

Parameter	Witte klaver	Gras	Bron
Wortelmasse (t/ha)	0,3	7,7	Young (1957)
Wortellengtedichtheid (cm/cm ³ grond) (1,3 g/cm ³)	1,7-4,3	14,3-18,8	Tisdall en Oates (1979)
Wortel diameter (mm)	0,26 mm	0,19 mm	Evans (1977)
Wortelharen lengte	0,55 mm	0,23 mm	Evans (1977)
Wortelharen oppervlakte	490 mm ²	1230 mm ²	Evans (1977)
Proportie macroporiën	45%	24%	Mytton e.a. (1993)

De wortelmasse van een graszode kan grofweg variëren van 2-8 ton ds/ha. De wortelmasse van klaver is duidelijk lager. In Engels onderzoek was de wortelmasse in de bovenste 20 cm, slechts 6% van dat van gras (bij een klaveraandeel van 50%) (Young, 1957). De wortellengte van klaver gemeten in potproeven is logischerwijs dan ook lager dan van gras. Dit zou ook een verklaring kunnen zijn waarom de teelt van klaver een goede P en K-bemestingstoestand vereist, aangezien klaver slechts een klein wortelstelsel heeft om voedingsstoffen uit de grond te halen. Daar komt bij dat gras veel meer wortelharen heeft waardoor het worteloppervlakte veel groter is. De gemiddelde diameter van klaverwortels is juist dikker waardoor klaver ook gevoeliger is voor bodemverdichting dan gras.

Kijken we naar het wortelbeeld van gras en Witte klaver dan is het uitgebreidere wortelstelsel van gras heel duidelijk te zien. Dit uit zich ook in de verdeling van de wortellengtedichtheid (zie figuur 7.2). Relatief gezien heeft Witte klaver echter een hoger percentage diepe wortels.

In het algemeen geeft de literatuur aan dat gras beter is voor de bodemstructuur dan klaver (Mytton e.a., 1993). Observaties in de praktijk geven het tegendeel aan. Deze observaties hebben echter vaak betrekking op kunstweides met o.a. Rode klaver, die met zijn penwortel hoogstwaarschijnlijk een andere effect heeft op de bodem dan Witte klaver. In tegenstelling tot Rode klaver heeft Witte klaver alleen in



Figuur 7.2: Wortellengtedichtheid (cm wortel/cm³ grond) van gras en Witte klaver (Tisdall en Oades, 1979)

het eerste groeistadium een penwortel en wortelt na de vorming van stolonen, oppervlakkeriger dan Rode klaver. Onderzoek in Wales geeft aan dat de drainage bij Witte klaver sneller is dan bij gras door een hogere ratio van macro- tot microporiën (Mytton e.a., 1993). Hier kunnen mogelijk de dikkere wortels van klaver een rol gespeeld hebben. Ook visueel zijn in deze proeven verschillen in bodemstructuur waargenomen, waarbij klaver visueel beter scoorde dan gras. Deze verschillen konden echter niet met bodemfysische indicatoren worden aangetoond.

Een verklaring voor een eventueel positiever effect van grassen op bodemstructuur is het grotere wortelstelsel van gras. De stabiliteit van aggregaten in de bodem is mede afhankelijk van de lengte van de wortels in de bodem. Grassen hebben langere en fijnere wortel dan klavers. Naast wortelstelsel neemt de stabiliteit van aggregaten ook toe bij aanwezigheid van Mycorrhizaschimmeldraden (zie hoofdstuk 9: Mycorrhizaschimmels). In vergelijkend onderzoek heeft klaver juist per wortellengte een hogere mycorrhizabezetting dan gras. Aangezien klaver echter een kleiner wortelstelsel heeft dan gras, is de mycorrhizabezetting onder een graszode groter (Tisdall en Oades, 1979).



Fotos: Wortelstelsel van gras is uitgebreider dan van Witte klaver

Over de verschillen tussen gras en klaver in een mengteelt gras/klaver is weinig bekend. Onderzoek van Young (1957) geeft aan dat de wortelhoeveelheden van gras bij verschillende klaveraandelen relatief constant zijn. Alleen bij hoge klaveraandelen neemt de wortelmassa van gras af. Bij hogere bemestingsniveaus neemt klaver af door bovengrondse concurrentie, niet door ondergrondse competitie.

7.3 Functionaliteit

In deze paragraaf gaan we in op de betekenis van een goede beworteling voor de bovengrondse productie. Voor de functionaliteit ten opzichte van de bodem en bodemstructuur wordt verwezen naar paragraaf 7.1.

Water opname

Beworteling wordt in de eerste plaats geassocieerd met wateropname. Door een diepere effectieve wortelzone (dat gedeelte van het profiel waar zich meer dan 80-90% van de wortels zich bevindt) is het vochtreservoir van het gewas hoger en kan er tijdens droge periodes uit diepere grondlagen water worden benut (Hoving en Philipsen, 1999). Een goede beworteling voor vochtvoorziening is dus een combinatie van worteldichtheid en worteldiepte. Biologische melkveebedrijven geven over het algemeen aan dat ze na omschakeling minder hoeven te beregenen. Mogelijke verklaringen hiervoor zijn:

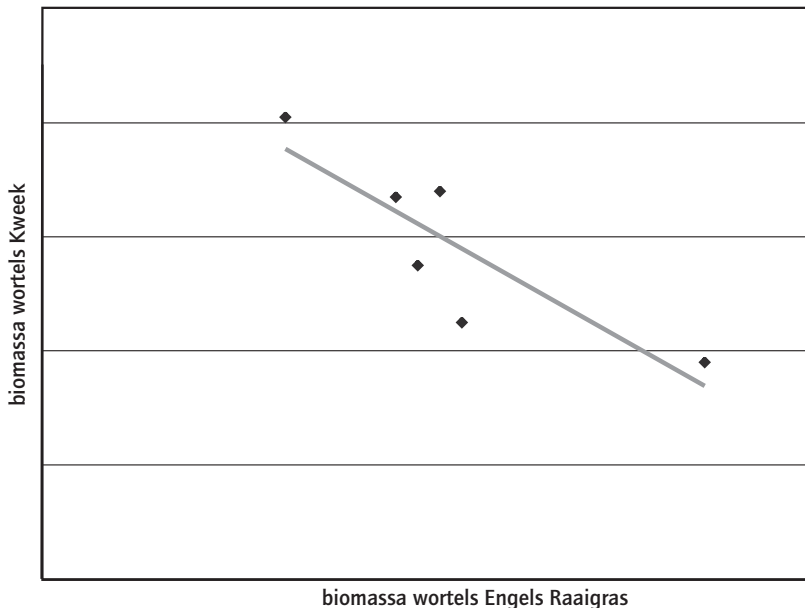
1. De droge stofproductie is lager waardoor minder water verbruikt wordt. Bij een goede gras/klaverteelt hoeven de verschillen in productie echter niet zo groot te zijn.
2. De teelt van gras/klaver kan een rol spelen omdat klaver in "eerste instantie" minder last heeft van gebrek aan water met betrekking tot het transport van stikstof. De nadruk ligt op "eerste instantie" want bij aanhoudende droogte is klaver gevoeliger voor droogte dan gras, door een veel minder intensief wortelstelsel. Het kan ook zijn dat klaver door de gedeeltelijke ondergrondse N-levering aan gras, graswortels dieper in de grond dwingt waardoor een gras/klaver als geheel minder gevoelig wordt voor droogte.
3. Een diepere effectieve wortelzone op biologische bedrijven. Een vergelijkend onderzoek in de jaren '80 op Terschelling naar de beworteling op biologische- en gangbare graspercelen liet duidelijk zien dat de biologische percelen een intensievere beworteling hadden. Dit zou weer een gevolg kunnen zijn van een betere bodemstructuur, het lagere stikstofbemestingsniveau (zie ook paragraaf 7.4) of de gedeeltelijk ondergrondse N-levering van klaver.
4. Meer schimmels op biologische bedrijven die met hun schimmeldraden het wortelstelsel uitbreiden (zie hoofdstuk 8: Bacteriën en schimmels).

Nutriënten opname

Door een goed wortelstelsel is er een groot worteloppervlakte voor nutriëntenopname beschikbaar en wordt de afstand van de wortel naar met name immobiele elementen als fosfor verkleind. Hierdoor kan bij een lagere bodemtoestand van mineralen toch goed geproduceerd worden. De mineralenbenutting wordt hiermee verbeterd en de verliezen zoveel mogelijk beperkt. Een duidelijk voorbeeld hiervan is de relatie tussen de wortellengtedichtheid en de vereiste fosfaattoestand. Voor een bepaalde P-onttrekking heeft een gewas met 0,5 cm wortel per cm^3 bouwvoor een Pw-getal van 50 nodig; bij 3 cm wortel per cm^3 is een Pw-getal van 30 nodig en bij 10 cm wortel per cm^3 is een Pw-getal van 10 nodig (Noordwijk en Haren, 1986). De wortellengtedichtheid van gras varieert ongeveer tussen de 7 en de 10 per cm^3 . Een ander voorbeeld is een jonge gras/klaver die op een perceel met een K-getal van 9 (0-10 cm) toch voldoende kalium kan opnemen (gemiddeld K-gehalte gewas 28 g/kg ds) terwijl een oude gras/klaver op een grond met een vergelijkbaar K-getal, duidelijk de beperking ondervindt van een te laag kaliumgehalte (gemiddelde K-gehalte gewas 14 g/kg ds). Dit wordt enerzijds verklaard door de jongere wortels die makkelijker kalium kunnen opnemen en anderzijds door een intensievere beworteling van een jonge gras/klaver (Van Eekeren, 2003).

Beheersing onkruiden

Bij beheersing van onkruiden wordt vaak niet aan ondergrondse concurrentie gedacht. In onderzoek uitgevoerd eind jaren '70 werd echter een negatieve relatie gevonden tussen de wortelmassa van Engels



Figuur 7.3: Relatie tussen wortelmassa Engels raaigras en Kweek (Ennik, 1981)

raaigras en de hoeveelheid Kweekwortels (zie figuur 7.3). Volgens de ervaring van de Duitse veehouder Wilfried Holtz speelt Ridderzuring een rol bij een slechte verbinding van de bovengrond met de ondergrond. Een diep wortelend graangewas kan zijn inziens deze functie van Ridderzuring gedeeltelijk overnemen (Van Liere, 2000).

7.4 Groei van een meerjarig gras

Meerjarige grassen hebben zich in de evolutie door middel van twee mechanismen aangepast aan grazers:

1. De groeipunten zitten laag bij de grond, zodat deze bij begrazing niet beschadigd worden;
2. Grassen kunnen energiereserves in het wortelstelsel opslaan om na begrazing de nieuwe spruiten van energie te voorzien.

Dit maakt dat gras op de volgende manier groeit:

Fase 1. Als een gras wordt beweide of gemaaid, loopt het na 3 dagen weer uit. Dit kost energie, waarvoor wortelreserves worden gebruikt. Het gebruik van wortelreserves gaat ten koste van het wortelstelsel, dat gedeeltelijk afsterft. Door ecologen wordt wel gezegd: "Het gras probeert het evenwicht tussen bovengrondse- en ondergrondse biomassa te herstellen".

Fase 2. Het jonge blad heeft nog maar een klein bladoppervlak, waardoor er via de fotosynthese nog maar weinig energie wordt vastgelegd. De eerste grasgroei is dan ook traag en komt voor een groot deel uit de wortelreserves.

Fase 3. Het bladoppervlak breidt uit. In het blad wordt steeds meer energie uit zonlicht gevormd, wat zichtbaar is in een snellere groei. Sommige veehouders zeggen dan ook: "Gras moet op gras groeien".

Fase 4. Op een gegeven moment is het bladoppervlakte zo groot, dat er meer energie wordt gevormd dan er gebruikt wordt voor bovengrondse blad- en stengelgroei. Deze overtollige energie wordt weer opgeslagen in de wortels (Bingham, e.a. 1984; Savory, 1988).

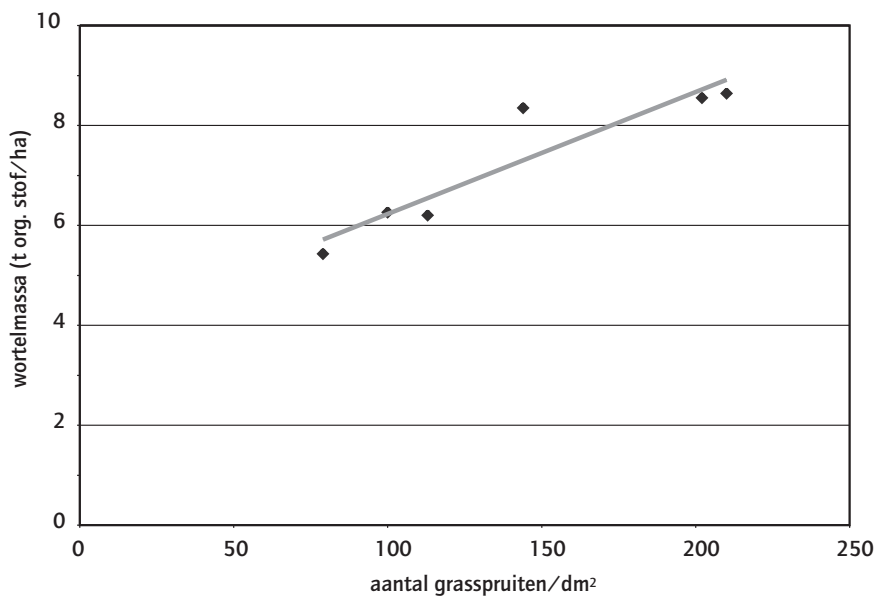
Voor gras- en wortelgroei zijn een aantal milieufactoren belangrijk.

Lichtintensiteit en temperatuur (energie)

Uit het voorgaande is duidelijk dat het onderhoud van een goed wortelstelsel veel energie kost. Gras dat bijvoorbeeld in de schaduw groeit probeert meer bladoppervlak te vormen om meer zonlicht op te vangen. Dit gaat ten koste van wortelenergie. Door de schaduw loopt de fotosynthese uiteindelijk niet optimaal waardoor wortelreserves niet worden hersteld en het wortelstelsel afsterft. Dit is ook zichtbaar

aan bijvoorbeeld siergrassen in de tuin. Als deze niet op tijd wordt afgesneden, kan het middelste deel van de plant zo uit de grond worden getrokken. Dit wordt veroorzaakt door een suboptimale fotosynthese door schaduwvorming van oudere bladeren. Bladoppervlakte en optimale fotosynthese is hoogstwaarschijnlijk ook de reden dat Deinum (1985) een relatie vindt tussen aantal spruiten en wortelmasse (zie figuur 7.4).

Naast lichtintensiteit zijn bodem- en luchttemperatuur belangrijk voor een goede gras- en wortelgroei. Opwarmen van de bodem in het voorjaar gaat sneller wanneer de grond minder water en meer humus en lucht bevat. Voor een optimale fotosynthese is een temperatuur van 25°C nodig.



Figuur 7.4: Relatie tussen aantal grasspruiten en wortelbiomassa (Deinum, 1985).

Bodemvruchtbaarheid

Beworteling is voor een groot deel afhankelijk van de biologische-, fysische- en chemische bodemvruchtbaarheid. De relatie tussen een goede biologische bodemvruchtbaarheid en beworteling is al besproken in de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem. Deze cyclus is gedeeltelijk ook gerelateerd aan de fysische bodemvruchtbaarheid. Grond met een goede structuur en weinig weerstand is beter doorwortelbaar. Wortels zullen ook reageren op de chemische bodemvruchtbaarheid. Bij een lage fosfaattoestand zullen wortels naar fosfaatkorrels toegroeien (zie foto).

Water en zuurstof

Net als bij een gebrek aan fosfaat zal het wortelstelsel bij een gebrek aan water proberen nattere gedeelte van de bodem te doorwortelen, onder voorwaarde dat de bodemstructuur dit toelaat. Deze investering in wortelstelsel zal echter ook weer extra water kosten.

Te veel aan water gaat juist weer ten koste van de zuurstofvoorziening waardoor het wortelstelsel kan afsterven. Afname van het wortelstelsel door berijding en vertrapping is naast bodemverdichting ook een gebrek aan zuurstof.

7.5 Managementinvloed

Bemesting en mestsoort

Bemesting leidt tot een verbetering van de beworteling als het een positief effect heeft op de bodemstructuur (bijvoorbeeld organische mest). Daarnaast heeft de plant voedingsstoffen nodig voor de opbouw van een wortelstelsel. Fosfor is de voedingsstof die de meeste invloed op de beworteling heeft. Een betere fosfaatvoorziening in de bovengrond zorgt ook voor een betere beworteling in de onder-

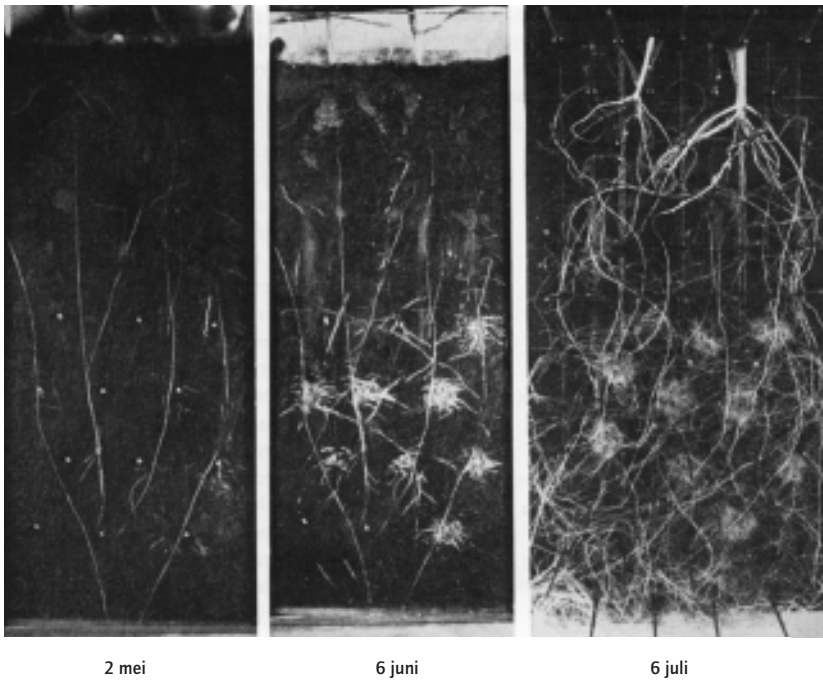
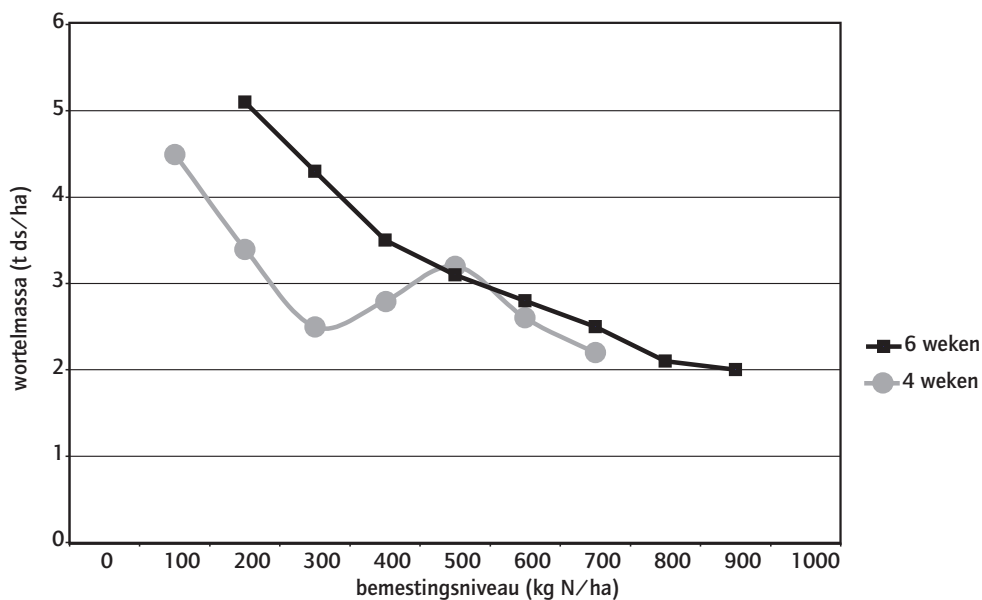


Foto: Bij lage fosfaattoestanden is duidelijk te zien dat wortels naar hogere concentraties rond de witte fosfaatkorrels toe groeien (Goedewagen, 1954).

grond. De reactie van beworteling op kali is minder sterk dan op fosfaat. De reactie van graswortels op stikstof, is na een minimumniveau zelfs negatief (Goedewagen, 1954). Dit is duidelijk te zien in een proef waarin de wortelmasa is vergeleken bij verschillende maaifrequenties en N-niveaus (zie figuur 7.5). Naast het intensiever management bij een hoger N-niveau lijkt de stikstofvoorziening hier de belangrijkste verklarende factor. Uit potproeven is gebleken dat een korte periode met beperkte stikstofvoorziening al voldoende kan zijn voor een belangrijke toename van de wortelmasa (Ennik e.a., 1980). Hoogstwaarschijnlijk zorgt dit bij veel omschakelaars voor een extra productie dip omdat het gras na het stoppen van kunstmestbemesting sterk gaat investeren in wortelbiomassa wat ten koste gaat van bovengrondse biomassa.



Figuur 7.5: Relatie tussen stikstofbemestingsniveau en wortelbiomassa bij 2 maaifrequenties (Ennik e.a., 1980)

Graslandgebruik

In de vorige paragraaf is kort in gegaan op de groei van een gras. Een gras kan na maaien of weiden energie uit wortelreserves gebruiken om opnieuw spruiten te vormen en kan deze wortelreserves in een later tijdstip weer opslaan. Effect van management op beworteling zal sterk afhangen van de aanspraak die dat management doet op wortelreserves en de mogelijkheid om wortelreserves weer te herstellen.

Bij maaien of weiden zal voor de hergroei van de nieuwe spruiten tijdelijk wortelreserves worden gebruikt. Afhankelijk van de frequentie van maaien of weiden kan zich deze wortelreserve weer herstellen. In onderzoek van Schuurmans (1954) nam de wortelbiomassa duidelijk af bij frequenter maaien. In onderzoek in potproeven met gras werd een 2 keer zo hoge wortelbiomassa gemeten bij ongestoorde groei in vergelijking met het knippen van gras iedere 4 weken. Uit dit onderzoek kwam wel duidelijk naar voren dat bij elke 4 weken knippen zich een evenwicht vormt en het gras elke keer op dezelfde wortelbiomassa terugkomt (Ennik, 1981). Voor klaver geldt ook dat frequenter ontbladeren ten koste gaat van biomassa in wortels en stolonen (Jørgensen e.a., 2002).

In een vergelijkend onderzoek naar omweiden en standweiden werd bij standweiden een hogere wortelbiomassa gevonden in vergelijking tot omweiden (zie tabel 7.2). De verklaring hiervoor kan zijn dat bij een goede manier van standweiden het gras op een gemiddelde bladlengte van 7-8 cm wordt gehouden. Naast het constante bladoppervlakte wordt door de constante beweiding het gras gestimuleerd meer spruiten te vormen. Hiermee wordt bij een lage gewaslengte een maximaal bladoppervlakte gecreëerd waardoor de fotosynthese van de grasmat optimaal verloopt. Er hoeven dan geen aanspraken te worden gemaakt op wortelreserves voor het opnieuw uitschieten van het gras, zoals bij omweiden het geval is. Hier komt nog bij dat gras bij stengel en aarvorming, alle energie investeert in de zaadvorming wat ten koste gaat van het wortelstelsel. Bij standweiden krijgt gras ook minder kans om stengel en zaad te schieten waardoor ook minder aanspraak wordt gemaakt op wortelreserves.

Bovenstaande wil niet zeggen dat standweiden altijd resulteert in een grotere wortelbiomassa. Wordt er bij standweiden te kort ingeschaard dan wordt het andere extreem bereikt. Het bladoppervlak is dan niet groot genoeg om zonder wortelreserves uit te schieten. Hiermee kunnen juist wortelreserves worden uitgeput wat leidt tot overbegrazing. In Belgisch onderzoek werd een vergelijkbaar of lagere wortelbiomassa gevonden bij standweiden in vergelijking met omweiden afhankelijk van de intensiteit van begrazen (Deinum, 1985).

Tabel 7.2: Wortelmasa (ton organische stof per ha) bij twee beweidingssystemen (Deinum, 1985)

Wortelmasa	Omweiden	Standweiden
1980	4,84 (85%)	7,08 (83%)
1981	6,20 (81%)	8,55 (85%)

(..) percentage wortelmasa in de laag 0-10 cm

Vertrapping- of rijschade

Beweiden stimuleert aan de ene kant een dichtere zode met een hogere spruitdichtheid. Aan de andere kant kan beweiden onder slechte omstandigheden leiden tot vertrapping, wat leidt tot bodemverdichting en daardoor een afname van het wortelstelsel. Aangezien klaver minder draagkrachtig is dan gras, kan dit probleem zich sterker voordoen onder gras/klaverzodes dan onder graszodes. In een experiment in Frankrijk werd puur klaver en gras/klaver met koeien belopen en niet belopen. In het belopen stuk was de wortelhoeveelheid na een periode van hergroei met 60-70% gereduceerd. De belangrijkste schade aan de bodemstructuur was de verkleining van de macroporiën. Deze schade gaf op korte termijn een productieverlies in de plots met puur klaver. In de plots met gras/klaver bleef de productie in de belopen en niet belopen plots op hetzelfde niveau maar trad er een verlaging van het klaveraandeel op. Vanwege de dikkere wortels heeft klaver meer te leiden van vertrapping en rijschade dan gras

(Vertes e.a., 1988). In Engels onderzoek werd met de begrazing van schapen een reductie van 47% in wortelmasse gevonden en een afname van het klaveraandeel (Curll en Wilkins, 1983).

Grondbewerking en vruchtwisseling

Door grondbewerking (bijvoorbeeld ploegen) wordt de bodem losser en daarmee makkelijker doorwortelbaar. Daarnaast vindt er een menging plaats van organische stof en nutriënten waardoor deze gelijkmatig in de bouwvoor verdeeld zijn. Dit kan ook de beworteling ten goede komen. Door vruchtwisseling worden specifieke wortelkende bodemdierpjes en bodemziekten gereduceerd, wat de bovengrondse groei van gewassen ten goede komt.

Grasras keuze

In onderzoek uitgevoerd eind jaren '70 hadden een zestal rassen van Engelse raaigras - geteeld in monocultuur - ogenschijnlijk dezelfde bovengrondse productie. Van de zes grasrassen hadden er vier gemiddeld dezelfde wortelmasse. Eén grasras had 50% meer wortelmasse dan gemiddeld en één grasras had 50% minder wortelmasse dan gemiddeld (Ennik, 1981).

Zaaizaadbehandeling

Behandeling van snijmaïszaad met de Trichodermaschimmel leidde in een proef op Aver Heino tot een veel uitgebreider wortelstelsel. In de betreffende proef leidde dit echter niet tot een hogere bovengrondse productie. Op droogtegevoelige gronden of gronden met een lage P-toestand zou deze behandeling eventueel de wateropname of de P-benutting kunnen verhogen.

7.6 Meten en indicatorwaarde

Meten

In onderzoek wordt beworteling vaak uitgedrukt in biomassa per hectare of wortellengte dichtheid (cm wortels/cm³ grond). Hierbij wordt ook het percentage wortels in de verschillende bodemlagen aangegeven. Voor deze methode moeten er bodemkolommen worden gestoken en gewassen. Deze methode is vrij arbeidsintensief en specialistisch. Het is ook moeilijk onderscheid te maken tussen functionele- en niet functionele wortels. Met name ook het onderscheid tussen dode wortels en levende verkurkte wortels is moeilijk. Er wordt dan ook wel gebruik gemaakt van het begrip "actieve wortels" of de niet-verkurkte wortels. Dit zijn de wortels die in staat zijn water en mineralen uit de bodem op te nemen.

Tegenover deze kwantitatieve methode staat de meer kwalitatieve benadering waarin het wortelstelsel in een plag of in een profielkuil wordt beoordeeld. De volgende observaties kunnen worden gemaakt:

- al dan niet doorwortelt zijn van kluiten;
- wortelhaavorming in scheuren;
- wortelverkleuring;
- activiteit beworteling. Veel witte jonge wortels zijn een goed teken terwijl veel oude verkurkte wortels juist een teken zijn van weinig biologische activiteit in de bodem;
- diepte wortelstelsel (verticale verdeling wortelstelsel);
- al of niet bewortelt zijn van trekkersporen (horizontale verdeling wortelstelsel);
- wortelophoping rond organische stof concentraties;
- vertakkingpatroon;
- beworteling in scheuren of wormengangen in de ondergrond;
- activiteit wortelknolletjes.

Een middenweg tussen bovenstaande kwantitatieve- en kwalitatieve methode is de zogenaamde "handmethode". Met deze methode, die is ontwikkeld voor het beoordelen van dijkgrasland, wordt de beworteling per laag in worteldichtheidsklasse ingedeeld. Het resultaat is een objectieve maat voor worteldichtheid (Sprangers en Arp, 1999). Dit zou gecombineerd kunnen worden met scorekaarten voor beworteling (zie paragraaf 5.1) (Shepherd, 2000).

Een mogelijkheid die nog moet worden onderzocht is of het aantal plantenetende nematode een indicator kan zijn voor beworteling. Ook verdere uitsplitsing van plantenetende groepen (o.a. wortelhaarprikkers) kan mogelijk iets zeggen over activiteit van wortels (zie hoofdstuk 11: Nematoden).

Indicatorwaarde

Beworteling is een belangrijke indicator voor het al dan niet functioneren van de bodem in relatie tot het bovengronds management. Daarnaast is het voor iedereen zichtbaar. Zoals al eerder gezegd is het de schakel tussen bodemvruchtbaarheid en gewasgroei. Beworteling is een resultante van chemische-, fysische-, biologische bodemvruchtbaarheid en bovengronds management. Hiermee is beworteling een "holistische" indicator voor de bodemtoestand en heeft het ook een voorspellend karakter naar de botanische samenstelling van graspercelen. Bijvoorbeeld: een slechte beworteling kan zich uiten in meer Kweekgras na één jaar. Een beperking van een indicator die door veel factoren wordt beïnvloed is dat het moeilijk is de vinger op de zwakste schakel te leggen. Aan de andere kant, kan een goede beworteling veel problemen uitsluiten. Hoewel dit ook weer in perspectief moet worden gezien met de omstandigheden. Bijvoorbeeld: een grotere wortelbiomassa is niet positief als dit het gevolg is van een diepere ontwatering, waardoor het gewas nu meer kans heeft droogteschade op te lopen.

7.7 Onderzoeksvragen

Veehouders hebben het belangrijkste managementinstrument voor een duurzaam bodembeheer eigenlijk al in handen, namelijk de gras/klaverzode. Voor een bewuster management van dit instrument moet de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem verder worden onderbouwd met concrete maatregelen om het systeem te onderhouden en te stimuleren. De verschillen tussen gras en klaver moeten hierin expliciet worden gemaakt. In graslandonderzoek is het aan te raden een kwantitatieve en/of kwalitatieve beoordeling van het wortelstelsel mee te nemen. Voor de kwantitatieve methode zou het interessant zijn als deze door een commercieel laboratorium kon worden uitgevoerd. Dit zou de standaardisatie van onderzoek verhogen en de barrière om bewortelingsonderzoek uit te voeren verkleinen. De relatie tussen plantenetende nematoden onder grasland en de wortelbiomassa moet worden onderzocht.



Bacteriën en schimmels

- 8.1 Algemene beschrijving bacteriën en schimmels**
- 8.2 Diversiteit**
- 8.3 Functionaliteit**
- 8.4 Managementinvloed op bacteriën en schimmels**
- 8.5 Meten en indicatorwaarde**
- 8.6 Onderzoeksvragen**



8 Bacteriën en schimmels

Bacteriën en schimmels vormen de basis van het bodemvoedselweb. De verhouding tussen de aanwezigheid van bacteriën en schimmels is een mogelijke indicator voor bodemkwaliteit. Om deze reden worden bacteriën en schimmels in één hoofdstuk besproken.

8.1 Algemene beschrijving

8.1.1 Bacteriën

Bacteriën zijn kleine, eencellige organismen (diameter minder dan $1/1000$ mm, ofwel $1 \mu\text{m}$). Ondanks hun geringe afmeting maken zij door hun grote aantallen onder Nederlandse omstandigheden het grootste gedeelte van het bodemleven uit.

Bacteriën voeden zich over het algemeen met makkelijk afbreekbaar materiaal. De groep van de heterotrofe bacteriën voedt zich met organische stof, bijvoorbeeld met resten van planten, wortellexudaten en mest. Autotrofe bacteriën verkrijgen hun koolstof uit CO_2 en halen hun energie uit oxidatie van anorganische stoffen, bijvoorbeeld ammonium (NH_4^+). Een belangrijke groep vormen de nitrificerende bacteriën die ammoniumstikstof (NH_4^+) omzetten in nitraatstikstof (NO_3^-).

De meeste bacteriën hebben een voorkeur voor een minder zuur milieu met een pH in de leefomgeving van 6-8. De aërobe bacteriën hebben zuurstof nodig om te leven. Anaërobe bacteriën kunnen andere stoffen gebruiken voor de zuurstofvoorziening. In deze groep bacteriën zitten bijvoorbeeld de denitrificerende bacteriën die nitraat (NO_3^-) omzetten in stikstofgas (N_2). Bij de omzettingprocessen van anaërobe bacteriën ontstaan vaak stoffen die de grond verkleuren. Neem bijvoorbeeld de blauwkleuring van kleigrond, die wordt veroorzaakt door verbindingen waarin gereduceerd ijzer een rol speelt.

Bacteriën zorgen voor afbraak van organische stof en zijn vervolgens prooi voor verschillende jagers hoger in het bodemvoedselweb. Bodembacteriën zijn de belangrijkste schakel in het mobiliseren van voedsel en afbraakprocessen. Daardoor zijn planten sterk afhankelijk van hun aanwezigheid.

De functies van bacteriën zijn:

1. Aanvoeren van nutriënten door N-binding;
2. Beschikbaar maken van nutriënten door afbraak organische verbindingen;
3. Vastleggen van nutriënten in dode en levende organische stof;
4. Bodemstructuurverbetering door aggregaatvorming;
5. Ziektevering.

8.1.2 Schimmels

Schimmels hebben naast bacteriën een belangrijke invloed op de bodemeigenschappen. Ze vermeerderen zich via sporen. De meest sprekende "bloeiwijzen" van sommige schimmels zijn paddestoelen. Schimmels vormen draden waarmee ze tussen bodemdeeltjes door groeien. Dit is een belangrijk verschil met een bacterie. Met hun draden kunnen schimmels door droge plekken heen groeien terwijl ze via hun draden water van vochtiger plekken kunnen halen.

In tegenstelling tot bacteriën houden schimmels juist van een zuurder milieu. Daarnaast kunnen schimmels alleen in een zuurstofrijk milieu leven. Verdichte bodems of water verzadigde bodems zijn een moeilijk leefmilieu voor schimmels.

Schimmels zijn in staat voedingstoffen uit de bodem op te nemen, doordat ze organisch materiaal afbreken dat in de regel weinig stikstof bevat en koolstofrijk is. Bodemschimmels voeden zich over het

algemeen met dood organisch materiaal. Een uitzondering hierop zijn de Mycorrhizaschimmels die in symbiose leven met plantenwortels (zie hoofdstuk 9: Mycorrhizaschimmels) en pathogene schimmels zoals *Fusarium*, die levende wortels als voedsel hebben.

De functies van schimmels zijn:

1. Beschikbaar maken van nutriënten door afbraak organische verbindingen;
2. Opbouw van stabiele humus;
3. Vastleggen van nutriënten in dode en levende organische stof;
4. Bodemstructuurverbetering door aggregaatvorming;
5. Ziektewering.

8.1.3 Verhouding schimmels en bacteriën

In het algemeen is de schimmelbiomassa op landbouwgronden groter of gelijk aan de bacteriebiomassa. Specifiek voor graslanden wordt een relatie gelegd tussen een hoge schimmel/bacterie verhouding en extensieve graslanden met potentieel minder nutriënten verliezen. Door een aantal onderzoekers wordt aangegeven dat een hoge ratio schimmelbiomassa/ bacteriebiomassa, een indicator kan zijn voor een succesvolle omschakeling naar een meer zelfregulerend grasland (Bardgett en McAlister, 1999). De in Nederland gemeten verhoudingen van schimmels en bacteriën op zowel akkers als graslanden zijn juist heel laag door een lage schimmelbiomassa (Velvis, 1997).

In de praktijk wordt veel aandacht gegeven aan de schimmel/bacterie verhouding door het Soil Foodweb Inc. (SFI) (zie tabel 8.1). Dit laboratorium relateert weinig schimmels en veel bacteriën aan een beginstadium van een successie (bijvoorbeeld éénjarige gewassen) en veel schimmels en minder bacteriën aan een eindstadium van een successie (bijvoorbeeld bomen) (Ingham, 2001). Ingham (2001) is van mening dat elk gewas een specifieke schimmel/bacterie verhouding nodig heeft. Een voorbeeld is een aardbeienplant die van nature in bosranden groeit en daardoor het beste groeit op een schimmel gedomineerde grond.

Tabel 8.1: Streefwaarde schimmel/bacterie-verhouding op SFI-analyse

Plant	Totaal schimmels/Totaal bacteriën	Actieve schimmels/actieve bacteriën
Granen en snijmaïs	0,6-1,2	1
Eenjarige-tweejarige grassen	0,5-0,75	1
Meerjarige grassen	0,8-1,5	1
Loofbomen	5-10	2-5
Naaldbomen	10-100	5

In feite kijkt Ingham naar de schimmel/bacterie verhouding in de grond waar een gewas van nature groeit. Zelfs voor grassoorten geeft Ingham nuanceverschillen aan: zo groeit bijvoorbeeld Engels raaigras optimaal bij een schimmel/bacterie ratio van 0,75. In een potproef van Bardgett e.a. (1999), waar 4 verschillende grassoorten werden geplant in grond van een extensief grasland, bleken al deze grassoorten een verschillende uitwerking op de microbiële biomassa te hebben. Witbol had een positieve uitwerking op de microbiële biomassa en verhoogde de schimmel/bacterie verhouding. Engels raaigras daarentegen had een negatief effect op de microbiële biomassa. Dit zou kunnen betekenen dat de wortellexudaten van Engels raaigras minder positief zijn voor bodemleven dan die van andere grassen. Een meer waarschijnlijke verklaring is de uitgangspositie van het bodemleven in de grond die in deze proef is gebruikt. Aangezien de grond van een extensief grasland kwam, is het mogelijk dat de aanwezige micro-organismen op korte termijn niet waren aangepast aan de wortellexudaten van Engels raaigras. Dit zou weer verklaard kunnen worden uit de verschillen in C/N-verhouding van de wortellexudaten van verschillende grassoorten.

8.2 Diversiteit

Aantallen bacteriën

Door Alterra zijn, in het BoBi-project, metingen gedaan aan de bacteriële biomassa en -activiteit op zowel biologische- als gangbare melkveebedrijven. In dit onderzoek zijn geen metingen gedaan aan schimmels, omdat in het algemeen is aangenomen dat deze een lage biomassa vertegenwoordigen in Nederlandse bodems (zie tabel 8.2).

Tabel 8.2: Bacteriële biomassa en -activiteit op biologische- en gangbare melkveebedrijven (Schouten, e.a. 2000; Schouten, 2000; Schouten, e.a. 2002).

Parameter	Melkveehouderij Zandgrond					Melkveehouderij Zeeklei	
	Bos (n=20)	Biologisch (n=10)	Gangbaar extensief (n=20)	Gangbaar intensief (n=20)	Gangbaar intensief + (n=20)	Biologisch (n=1)	Gangbaar (n=20)
Bacterie biomassa ($\mu\text{g C/g}$ droge grond)	46	174	169	141	141	75	233
Bacteriële activiteit Thymi. Inb. (pmol/g/uur)	6	24	16	18	99	198	180

n=aantal bedrijven

NB $\mu\text{g C/g}$ droge grond = kg C/ha bij bemonsteringsdiepte 0-10 cm en een bulkdichtheid van 1

NB Het monster is een steekproef van grasland en bouwland op bedrijfsniveau

De totale bacterie biomassa is in deze tabel weergegeven als $\mu\text{g C/g}$ droge grond. Door het Soil Foodweb Inc. wordt een streefwaarde van 100-300 $\mu\text{g/g}$ grond aangehouden. Omdat biomassa (droge stof) voor ongeveer 50% uit koolstof (C) bestaat, komt dit overeen met 50-150 $\mu\text{g C/g}$ droge grond (Bloem, mondelinge mededeling). Dat wil dus zeggen dat de streefwaarde van het SFI in deze tabel 50-150 $\mu\text{g C/g}$ droge grond moet zijn. Wat betreft de bacterie biomassa zitten alle bedrijfssystemen rond deze streefwaarde. Verschillen worden groter als bedrijven verder worden getypeerd (zie tabel 8.3). Van de tien biologische bedrijven zijn er twee bedrijven gesitueerd op de noordelijke zandgronden met een relatief extensieve bedrijfsvoering, oude graslanden en een hoge organische stofgehalte in de bodem. Deze bedrijven hebben een hoge bacteriële biomassa. Dit is vergelijkbaar met de bacteriële biomassa op twee melkveebedrijven in het VEL/VANLA-gebied. De vier biologische bedrijven in het Zuid-Oosten van Nederland met een intensievere bedrijfsvoering hebben een veel lagere bacteriële biomassa en kunnen vergeleken worden met 5 melkveebedrijven in het project Koeien en Kansen.

Tabel 8.3: Bacteriële biomassa en -activiteit op biologische- en gangbare melkveebedrijven op zandgrond in Noord- en Zuid-Oost Nederland (Schouten, e.a. 2002; Schouten, 2002).

Parameter	Noord extensief melkvee 100% grasland		Zuid-Oost intensief melkvee 75% grasland/25% bouwland	
	Biologisch (n=2)	VEL/VANLA (n=2)	Biologisch (n=4)	Koeien en Kansen (n=5)
Org. stof%	11,5	7,9	5,2	4,9
P-AI	33	32	55	60
Bacterie biomassa ($\mu\text{g C/g}$ droge grond)	386	334	122	73
Bacteriële activiteit Thymi. Inb. (pmol/g/uur)	11	11	19	94
Pot. N mineralisatie (mg N/kg.week)	14	11	7	7

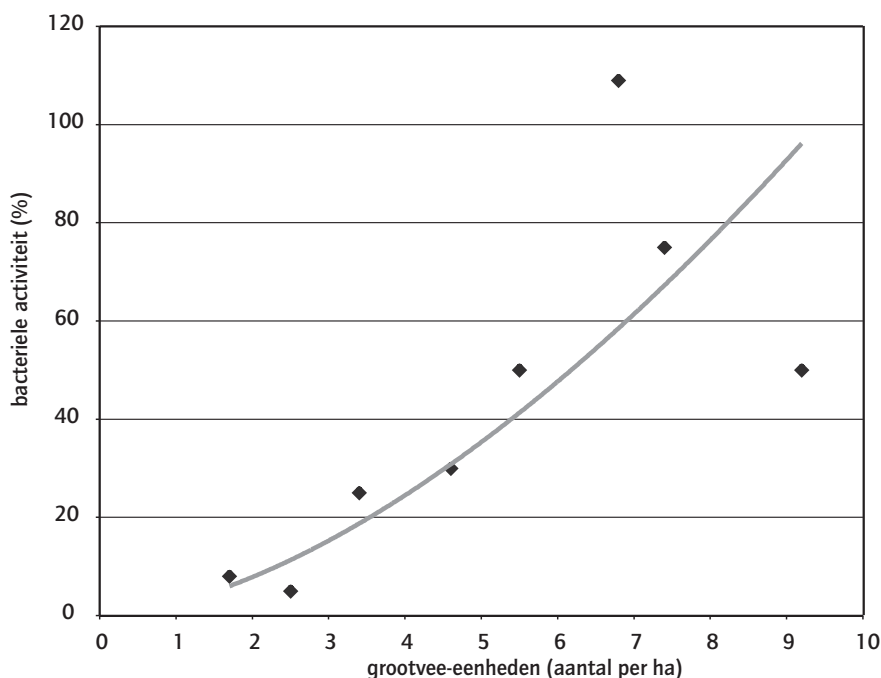
n=aantal bedrijven

NB $\mu\text{g C/g}$ droge grond = kg C/ha bij bemonsteringsdiepte 0-10 cm en een bulkdichtheid van 1

NB Het monster is een steekproef van grasland en bouwland op bedrijfsniveau

Bacteriële activiteit

Zowel in tabel 8.2 en 8.3 is de bacteriële activiteit uitgedrukt in de hoeveelheid thymidine die in een uur in DNA wordt ingebouwd. Dit is een maat voor de groeisnelheid van bacteriën. Wat betreft deze activiteit is er een groot verschil te zien tussen de bedrijven op klei en zand. Daarnaast hebben de gangbare intensief+ melkveebedrijven op zand ook een zeer hoge bacteriële activiteit. Dit wordt bevestigd door de gangbare melkveebedrijven in Koeien en Kansen waar hoogstwaarschijnlijk veel makkelijk verteerbaar voedsel in de vorm van drijfmest voor de bacteriën aanwezig is. Door Schouten e.a. (2002) wordt dan ook een positieve relatie aangegeven tussen veebezetting en bacteriële activiteit (zie figuur 8.1).



Figuur 8.1: Bacteriële activiteit in relatie tot veebezetting (Schouten e.a., 2002).

Schimmels en bacteriën

Onder Nederlandse omstandigheden zijn nog weinig studies gedaan waarin zowel bacteriën en schimmels zijn gemeten (zie paragraaf 8.4 voor enkele Nederlandse gegevens). In Engeland en Wales zijn studies gedaan naar de schimmel- en bacteriebiomassa onder verschillende graslandssystemen. In de verschillende studies waren bacteriën sterk dominant in de graszode aanwezig (gemeten door middel van de Phospholipid Fatty Acid Analysis). De bacteriële biomassa liet echter weinig verschillen zien voor de verschillende managementsystemen. In tegenstelling tot de bacteriebiomassa waren er in deze onderzoeken duidelijk verschillen te zien in de schimmelbiomassa. De algemene trend in deze onderzoeken was dat de schimmelbiomassa hoger was op percelen met een lager bemestingsniveau en een extensiever- of biologisch beheer (Bardgett en McAllister, 1999; Yeates e.a., 1997, Donnison e.a. 2000).

Soorten

Naast de bacteriële biomassa en -activiteit wordt in het BoBi-project ook metingen gedaan aan genetische diversiteit, door het meten van DNA-banden (zie tabel 8.4). Het aantal DNA-banden weerspiegelt het aantal soorten bacteriën. In normale grond worden meestal 50 DNA-banden gevonden. In verontreinigde grond kan dit aantal sterk afnemen tot 30. Uit de vergelijking van verschillende bedrijfssystemen blijkt, dat zowel op zand als klei de biologische bedrijven een iets hoger aantal DNA-banden hebben (lees: soorten), maar het verschil is niet significant.

Tabel 8.4: Genetische diversiteit en diversiteit in afbraakroutes van bacteriën (Schouten e.a., 2000; Schouten, 2000; Schouten e.a., 2002).

Parameter	Melkveehouderij Zandgrond					Melkveehouderij Zeeklei	
	Bos (n=20)	Biologisch (n=10)	Gangbaar extensief (n=20)	Gangbaar intensief (n=20)	Gangbaar intensief + (n=20)	Biologisch (n=1)	Gangbaar (n=20)
Genetische diversiteit (aantal DNA banden)	50	49	48	--	52	51	--
Biolog (μg grond/50% omzettingcapaciteit)	39712	355	363	595	773	14	95

De omzettingcapaciteit of Biolog-methode (zie tabel 8.4) is een interessante meting die een uitdrukking is van de diversiteit van omzettingfuncties van een microbiële gemeenschap in een bepaalde hoeveelheid grond. Met deze parameter wordt uitgedrukt hoeveel grond nodig is om de helft van een aantal geteste substraten af te breken. Hoe meer grond noodzakelijk is om de omzetting te bewerkstelligen des te beperkter is de diversiteit van functies. Bosgronden zijn duidelijk armer in vergelijking met de onderzochte landbouwgronden. De microbiële gemeenschappen van de bedrijven op zeeklei hebben een grotere omzettingcapaciteit dan de bedrijven op zandgrond. Op beide grondsoorten komen de biologische- en extensievere bedrijven er gunstig uit. Zoals gezegd kan dit een indicatie zijn van de diversiteit van omzettingfuncties van de microbiële gemeenschap op deze bedrijven. Aan de andere kant zou het ook kunnen betekenen dat microbiële populaties op deze bedrijven gewend zijn aan een wisselend voedselaanbod in tijd en soort. Dit laatste komt ook naar voren uit de aanwezige soorten springstaarten en mijten op deze bedrijven (zie hoofdstuk 14: Springstaarten en mijten).

8.3 Functionaliteit

Aanvoeren van nutriënten door stikstofbinding

De stikstofbinding van bacteriën is een belangrijke bron van stikstof voor de biologische landbouw. De bacterie is het enige bodemleven dat een mineraal aan het ondergrondse systeem toevoegt. Andere bodemorganismen kunnen wel nutriënten vrijmaken maar voegen ondergronds geen nutriënten toe.

De Rhizobiumbacterie bindt in samenwerking met vlinderbloemige planten, stikstof uit de lucht. De energie voor dit proces verkrijgt de bacterie via de plant. Deze stikstofbinding kan onder Nederlandse omstandigheden wel oplopen tot 300 kg N/ha/jaar. Daarnaast bestaan er vrijlevende stikstofbindende bacteriën zoals Azobacter en Clostridium. Deze bacteriën hebben veel energie nodig uit bijvoorbeeld organische stof om stikstof te binden. De binding van deze bacteriën beperkt zich vaak tot 5 kg N/ha. Naast de Rhizobiumbacterie en de vrijlevende stikstofbindende bacteriën zijn er Actinomyceten die ook de mogelijkheid hebben om stikstof te binden. Actinomyceten zijn ver ontwikkelde, complexe bacteriën die het vermogen hebben om schimmelachtige draden te vormen. Hiermee zitten Actinomyceten eigenlijk tussen bacteriën en schimmels in. De typische aardegeur van bosgrond en humus wordt door deze groep veroorzaakt (Beck, 1968). Stikstofbinding door Actinomyceten komt voor bij de Els (Hawker e.a., 1979), waar ze in rode trossen voorkomen aan de wortels van de boom. De rode kleur van de trossen wordt veroorzaakt door een kleurstof (lucoglobine) die verwant is aan de rode bloedkleurstof (hemoglobine). Deze rode kleur is ook zichtbaar bij het doorsnijden van de wortelknolletjes van de Rhizobiumbacterie.

Beschikbaar maken van nutriënten

Bacteriën hebben een belangrijke rol bij de afbraak van makkelijk verteerbare organische stof en zijn vervolgens voedsel voor andere bodemorganismen. Bij het eten en gegeten worden komen nutriënten voor de plant vrij. Terwijl bacteriën juist de makkelijk ver-



Foto: Wortelknolletjes

teerbare organische stof afbreken kunnen schimmels moeilijker afbreekbare stoffen zoals lignine afbreken. Ook schimmels worden weer door andere bodemorganismen geconsumeerd waarbij nutriënten vrijkomen.

Het aandeel van bacteriën aan de mineralisatie wordt geschat tussen de 20-140 kg N/ha tegen slechts 0,8-24 kg N/ha van schimmels (Brussaard en Bloem, 2002). De verklaring hiervoor is dat bacteriën meer stikstof bevatten dan schimmels (C/N-verhouding van bacteriën 4 tegen schimmels 10). Bij het begrazen van bacteriën komt dan ook meer stikstof vrij dan bij schimmels (De Ruiter e.a., 1993). Daarnaast geeft Beare (1997) aan dat de bodemorganismen die op bacteriën grazen meer biomassa en een hogere omzettingssnelheid hebben dan schimmeleters. Daarom is de stikstofmineralisatie bij een door een bacterie gedomineerd voedselweb hoger dan de mineralisatie bij een door een schimmel gedomineerd web. De lagere stikstofmineralisatie van schimmels hoeft niet noodzakelijkerwijs te leiden tot een lagere gewasproductie. Door de verbeterde nutriëntopname, onder andere door Mycorrhizaschimmels (zie hoofdstuk 9: Mycorrhizaschimmels), zou de lagere stikstofmineralisatie misschien kunnen worden gecompenseerd (Brussaard en Bloem, 2002).

Vastleggen van nutriënten

Door de grote hoeveelheid biomassa die bacteriën en schimmels vertegenwoordigen en hun hoge eiwitconcentratie (met name bacteriën) is er in de biomassa die ze vertegenwoordigen een aanzienlijke hoeveelheid nutriënten vastgelegd. Op die manier zijn deze nutriënten beschermd tegen uitspoeling of andere verliezen (bv een bacteriële biomassa van 200 kg C/ha met een C/N-verhouding van 4 betekent dat er 50 kg N/ha wordt vastgelegd). Naast levende biomassa vormen ook tussenproducten en dode biomassa een aanzienlijke bron van gemakkelijk beschikbare stikstof. Verder zijn bacteriën slijmvormers (denk aan de glibberige massa bij rotting) waardoor ze nutriënten vast kunnen kitten. Schimmels kunnen door hun netwerk van schimmeldraden nutriënten vasthouden. Door Ingham (2001) wordt specifiek aangegeven dat calcium door schimmels sterker wordt vastgehouden dan door bacteriën.

Bodemstructuurverbetering door aggregaatforming

Door slijmvorming kitten bacteriën kleine mineraaldeeltjes aan elkaar. Hierdoor ontstaan micro-aggregaten, kleine klontjes mineralen. Daarnaast ontstaan ook poriën waar water in wordt vastgehouden. Daarmee dragen bacteriën ook bij aan het vochthoudend vermogen van de bodem (Baars, 2000). Schimmels verbinden kleine bodemdeeltjes met hun draden tot grotere bodemdeeltjes. Dit uit zich in een betere macro-aggregaatstabiliteit (zie ook hoofdstuk 9: Mycorrhizaschimmels). In Zwitsers onderzoek werd een positieve relatie gevonden tussen aggregaatstabiliteit en microbiologische biomassa (Mäder e.a., 2002).

Ziektewering

In het hoofdstuk beworteling is al gesproken over de uitscheiding van wortellexudaten door de plant waardoor een gevarieerd microleven rond de wortel ontstaat. Eén van de effecten hiervan is de bescherming van onder- en bovengrondse delen van planten tegen infecties met ziektekiemen. Ziekteverwekkers worden voortdurend aangevallen, beconcurrereerd voor voedsel en opgegeten als er een grote verscheidenheid aan microleven rond de wortel aanwezig is. Bij aanwezigheid van ziektekiemen reageert de plant met de uitscheiding van meer wortellexudaten. Met deze wortellexudaten kan de plant zelfs die bacteriën stimuleren die op dat moment noodzakelijk zijn voor bescherming (Baars, 2000).

Er zijn verschillende mechanismen voor ziekteverwerendheid. Bijvoorbeeld de bacterie *Pseudomonas fluorescens* die de groei van schimmels kan remmen en daarmee kiemschimmels kan helpen voorkomen bij granen. Deze bacterie zit van nature in de grond maar niet altijd in voldoende aantallen om schimmelinfecties te voorkomen. Een Belgisch bedrijf werkt op het moment aan een kiemschimmelremmend middel voor granen op basis van deze bacterie. Overigens zijn de resultaten hoopvol van een proef waarin zaaizaad is voorbehandeld met warm water (Osman, mondelinge mededeling). Een ander ziekteverwerend mechanisme is concurrentie. Een voorbeeld van dit mechanisme is de

Trichoderma schimmel waar onderzoek naar wordt gedaan ter voorkoming van kiemschimmels op Snijmaïs. Deze schimmel koloniseert de wortels van de maïsplant. Hierdoor krijgen de ziekteverwekkende schimmels geen kans meer. Ook zijn er schimmels die aaltjes (nematoden) in hun net van schimmeldraden kunnen vangen en doden. Dit geldt niet alleen voor worletekende nematoden, die in de grond leven, maar ook voor de larven van maagdarmpjes. De schimmel, die larven van maagdarmpjes kan vangen, leeft echter niet in de bodem maar in de mest (Larsen, 1999).

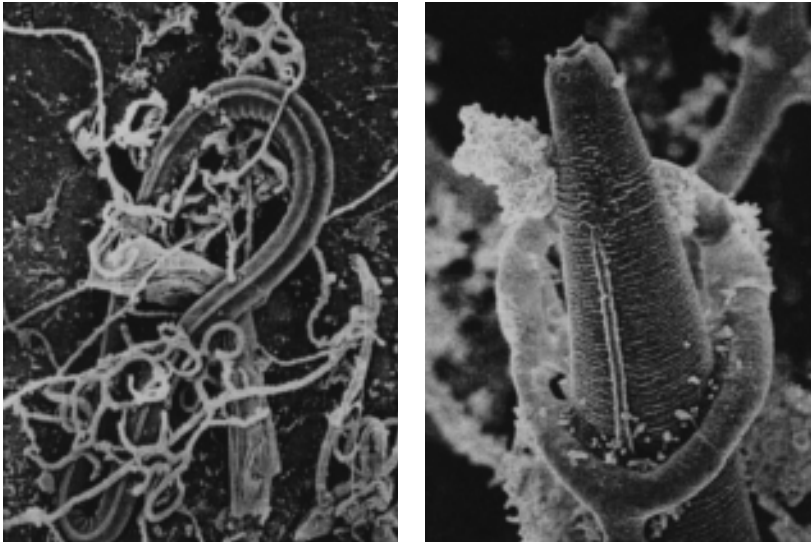


Foto: Larve van maagdarmpjes gevangen in een net van schimmeldraden

8.4 Managementinvloed op bacteriën en schimmels

8.4.1 Factoren van invloed op de Rhizobiumbacterie

Omdat de symbiotische stikstofbinding de vlinderbloemige plant energie kost, moet de plant dus goed groeien. Niet voor niks is er een duidelijke relatie te vinden tussen bovengrondse klaverproductie en stikstofbinding (bijvoorbeeld voor Witte klaver 40-50 kg N/ton ds klaver). Onderzoek van Young (1957) geeft dan ook aan dat bij hogere N-niveaus het aantal wortelknolletjes per gram klaverwortel niet afneemt maar dat juist de bovengrondse klaverbiomassa afneemt waardoor de stikstofbinding ondergronds afneemt. Bij Luzerne wordt het aantal wortelknolletjes wel gereduceerd bij een hogere N-bemesting. Naast energie voor de bacterie is de pH van de grond ook belangrijk. Experimenten in Engeland laten zien dat bij een lagere pH, minder effectieve Rhizobiumbacteriestammen op de Witte klaverwortels leven waardoor de N-binding niet optimaal is (Nutman en Ross, 1969). Daarnaast is er voor het proces van N-binding een aantal sporelementen essentieel (Molybdeen, Cobalt en Ijzer). De beschikbaarheid van Molybdeen neemt ook toe bij een hogere pH. De specifieke Rhizobiumbacterie van klaver is in alle grondsoorten van Nederland aanwezig. Voor Luzerne is het aan te raden deze bacterie op zandgrond te enten.

8.4.2 Factoren van invloed op bacteriën en schimmels

Intensiteit en botanische samenstelling

Naarmate een grasland zwaarder bemest wordt neemt de activiteit van bacteriën toe. Een hogere stikstofbemesting leidt ook tot een lagere C/N-verhouding van de organische stof, wat voedingstechnisch ook juist bacteriën stimuleert (Hassink en Neeteson, 1991).

Daarnaast heeft de intensiteit van het beheer en de bemesting ook invloed op de botanische samenstelling. Verschillende grassoorten gaan gepaard met een andere schimmel/bacterieverhouding (Bardgett e.a., 1999). Hierbij lijkt het dat grassoorten die meer voorkomen in extensievere graslanden een positieve invloed hebben op de schimmelbiomassa. Dit hangt mogelijk samen met het verschil in C/N-verhouding van de wortel-exudaten van deze grassoorten.

Bekalken

Met bekalken wordt de pH verhoogd en daarmee kan de activiteit van bacteriën groter worden. Dit kan resulteren in een sterke afbraak van organische stof (o.a. door bacteriën) en daarmee een afname van het organische stofgehalte. Dit wordt duidelijk geïllustreerd in een bemestingsproef op zware kleigrond die vanaf 1958 loopt op de Ossenkampen. In 2001 zijn in deze proef bodembioologische bepalingen gedaan. In tabel 8.5 is duidelijk te zien dat de behandeling die jaarlijks een Ca-bemesting krijgt, sterk is gestegen in pH. De activiteit van bacteriën in deze behandeling is duidelijk hoger dan die in de O-bemesting en de NPK-bemesting. Het organische stofgehalte is echter lager.

Over het algemeen wordt aangegeven dat een lage pH schimmels stimuleert. Zowel de O- als de NPK-bemesting hebben een lage pH. De schimmelbiomassa is echter duidelijk het hoogst in de O-bemesting. Een mogelijke verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat in de schimmelbiomassa ook veel dode schimmeldraden zijn meegeteld. Bååth e.a. (1980 in Bardgett e.a., 1993) geeft aan dat de verzuring van het milieu leidt tot een toename van de totale schimmelbiomassa (inclusief dode schimmeldraden) maar niet tot een hogere activiteit van schimmels. De Ca- en NPK-bemesting zouden andere onderdelen van het bodemvoedselweb kunnen stimuleren waardoor hier de dode schimmeldraden juist zijn afgebroken en de schimmelbiomassa dus lager uitvalt.

Tabel 8.5: Bodembioologische bepalingen in bemestingsproef op de Ossekampen (Bloem, 2001 ongepubliceerde data; Rutgers e.a., 2002).

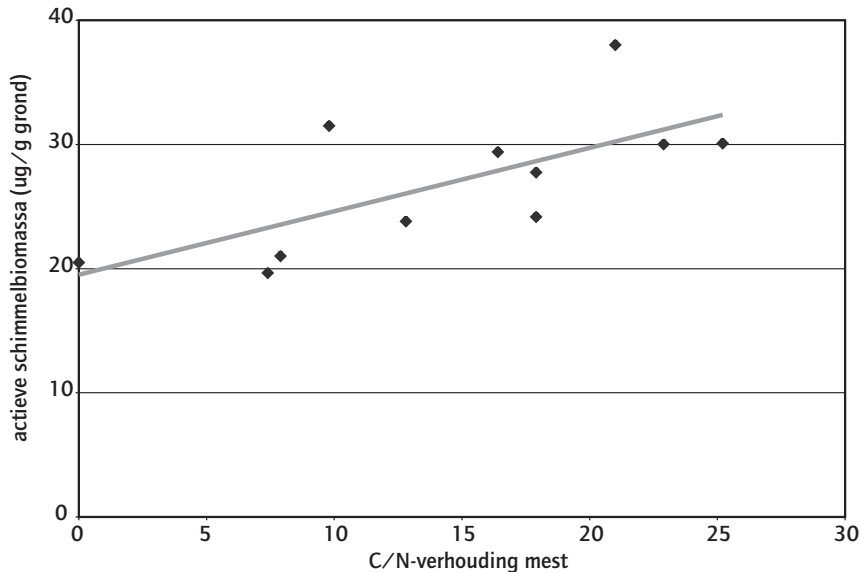
Parameter	O-bemesting	Ca-bemesting	NPK-bemesting
pH-KCl	3,9	6,3	3,8
Org. Stof	21,5	18,8	22,1
Schimmel biomassa ($\mu\text{g C/g}$ droge grond)	1187	529	479
Bacterie biomassa ($\mu\text{g C/g}$ droge grond)	196	249	170
Bacteriële activiteit Thymi. Inb. (pmol/g/uur)	7	59	8

Bekalken is een afweging tussen het al dan niet stimuleren van de activiteit van verschillende bodemorganismen, behoud van het organische stofniveau, specifieke macro- en micro-elementenopname door het gewas en uiteindelijk de gewasgroei. Voor de veehouderij is het behoud van de organische stof zeer belangrijk en ligt de optimum pH voor de meeste gronden tussen 5 en 5,5. Aan de andere kant is er specifiek voor grasland ook de vraag, hoe een veehouder de opgebouwde organische stof onder een graszode gedeeltelijk kan benutten door een strategische bekalking (bepaalde hoeveelheid, tijdstip en soort kalkmeststof).

Mestsoort en mestsamenstelling

Op een proefveld in Lelystad van het project Mest als Kans, zijn 13 verschillende mestsoorten in een akkerbouw vruchtwisseling vergeleken. Elke mestsoort is jaarlijks op 100 kg N-totaal bemest. In het derde jaar is van elke behandeling (4 herhalingen) een bodemmonster geanalyseerd op bacteriën en schimmels door het SFI-laboratorium. De totale bacterie biomassa en activiteit varieert niet veel voor de verschillende mestsoorten. Interessant is de positieve relatie tussen de C/N-verhouding in de mest en de actieve schimmelpopulatie in de bouwvoor (figuur 8.2). Op zich is dit niet verwonderlijk: in de compostwereld is algemeen bekend dat meer moeilijk afbreekbare koolstof leidt tot een meer schimmeldominante compost. Het is echter interessant te zien dat er met redelijke lage dosis in de bemesting een invloed kan worden uitgeoefend op de schimmelpopulatie in akkerland.

In een bemestingsproef op Aver Heino (zandgrond) zijn vanaf 1993, drie mestsoorten vergeleken (drijfmest, vaste mest en een P+K-bemesting) op gras/klaver. In augustus 2000 zijn deze behandelingen bemonsterd in de laag 0-20 cm en geanalyseerd door het SFI-laboratorium (zie tabel 8.6). De resultaten laten weinig verschil zien tussen de totale bacteriële biomassa. De actieve bacteriële biomassa nam onder beide managementsystemen toe in de reeks van P+K \rightarrow vaste mest \rightarrow drijfmest. Mogelijk biedt de snel beschikbare stikstof in drijfmest hiervoor een verklaring. Dit wordt bevestigd door de relatie tus-



Figuur 8.2: Relatie tussen C/N-verhouding in mest en actieve schimmel biomassa in bodem (Bokhorst, 2001 ongepubliceerde data)

sen veebezetting en actieve bacteriële biomassa in het BoBi-project. Wat betreft de actieve schimmelbiomassa blijkt vaste mest de meest actieve schimmelpopulatie te geven. De totale schimmelpopulatie nam onder beide managementregimes echter sterk af in de reeks drijfmest → vaste mest → P+K. Dit zou ook gedeeltelijk met de methode van drijfmest toediening te maken kunnen hebben. Een observatie op Aver Heino na zodenbemesten liet een sterke schimmelgroei zien in de sleuven van de zodenbemester. Echter de schimmels die direct op drijfmest groeien zijn voor de bodem van een andere waarde dan schimmels die in de grond groeien.

Tabel 8.6: Totale- en actieve bacteriële biomassa bij 3 mestsoorten op gras/klaver (gemiddelde over maai- en maai/weidebeheer).

Bacteriën en schimmels	Streefwaarde SFI	Drijfmest	Vaste mest	P+K
Totale bacteriële biomassa (µg/g grond)	100-300	219	218	224
Actieve bacteriële biomassa (µg/g grond)	15-25	19	13	8
Actieve/Totale bacteriële biomassa	0,10-0,15	0,09	0,06	0,04
Totale schimmel biomassa (µg/g grond)	100-300	321	234	129
Actieve schimmel biomassa (µg/g grond)	15-25	29	51	33
Actieve/Totale schimmel	0,10-0,15	0,09	0,22	0,26
Diameter hyphe (µm)		2,8	3,0	2,8

Een hogere bacteriële activiteit met drijfmest werd ook gevonden in metingen door Alterra in 2002 op bedrijven in Bioveem. Hierbij werden 8 bedrijven met drijfmest en 3 met vaste mest onderzocht. Met drijfmest was de thymidine inbouw 276 pmol/g.uur, en met vaste mest 120 pmol/g.uur. Net als op Aver Heino was de totale schimmelbiomassa lager met vaste mest (7.9 µg C/g grond) dan met drijfmest (11.9 µg C/g grond). Terwijl op Aver Heino geen verschil in totale bacteriebiomassa werd gevonden, was bij de Bioveem bedrijven de bacteriebiomassa met vaste mest bijna tweemaal zo hoog (131 µg C/g grond) dan met drijfmest (70 µgC/g grond). Een hogere microbiële biomassa met een lagere (specifieke) activiteit bij gebruik van vaste mest werd ook gevonden door Zwitserse onderzoekers (Mäder e.a., 2002). Dit wordt geïnterpreteerd als een efficiënter gebruik van organische stof door de micro-organismen: minder verlies van koolstof als CO₂, en meer vastlegging van organische koolstof in de bodem. Er zijn meer systematische waarnemingen nodig om de effecten van verschillende soorten mest op Nederlandse bedrijven met grotere zekerheid aan te tonen.

Graslandgebruik

In de bemestingsproef op Aver Heino is ook gekeken naar het effect van puur maaien of weiden/maaien op de bacterie- en schimmelbiomassa (zie tabel 8.7). Hierin valt direct op de hoge totale schimmelpopulatie bij puur maaien. De verklaring hiervoor kan zijn dat er met het weiden meer mest op de weide/maaiervelden komt waardoor de schimmelpopulatie wordt onderdrukt. Een andere verklaring zou kunnen zijn dat maaisnedes zwaarder zijn. Dat schept een vochtiger milieu en daardoor meer schimmels. In een zware maaisnede komt er vaak een deken van schimmeldraden voor (ook wel sneeuwschimmel genoemd). Deze schimmeldraden kunnen mee bemonsterd zijn. Ook door Bardgett e.a. (1993) werd een hogere totale schimmelbiomassa gevonden onder omstandigheden waar niet beweid werd. Aangezien hier ook de activiteit van schimmels nagenoeg niet veranderde werd gesuggereerd dat niet beweiden leidt tot een accumulatie van dode inactieve schimmeldraden. Dit kan weer het resultaat zijn van een lagere omzetting van dode schimmeldraden omdat ze misschien minder verteerd worden. Dit kan ook een verklaring zijn voor de hoge schimmelbiomassa in de proef beschreven in tabel 8.5.

Grondbewerking en vruchtwisseling

Tabel 8.7: Schimmel en bacteriebiomassa bij maai- en maai/weidebeheer van gras/klover (gemiddelde over 3 mestsoorten)

Bacteriën en schimmels	Streefwaarde SFI	Weiden/maaien	Maaien
Totale bacteriële biomassa ($\mu\text{g/g}$ grond)	100-300	219	218
Actieve bacteriële biomassa ($\mu\text{g/g}$ grond)	15-25	19	13
Actieve/Totale bacteriële biomassa	0,10-0,15	0,09	0,06
Totale schimmel biomassa ($\mu\text{g/g}$ grond)	100-300	107	348
Actieve schimmel biomassa ($\mu\text{g/g}$ grond)	15-25	38	37
Actieve/Totale schimmel	0,10-0,15	0,36	0,11
Diameter hyphe (μm)	2,7	3	

Bij de overgang van grasland naar bouwland vindt over het algemeen een sterke afname van biomassa van het bodemleven plaats. De belangrijkste oorzaak hiervoor zijn verstoringen en verminderde continuïteit van het leefmilieu en voedselaanbod voor bodemorganismen. Op bouwland is veel onderzoek gedaan naar de effecten van gangbare grondbewerking versus minimale- of geen grondbewerking op het bodemleven. Over het algemeen neemt bij een verminderde grondbewerking de microbiële biomassa en -activiteit toe. Meer specifiek is een stijging van de schimmelbiomassa waar te nemen bij minimale grondbewerking (Emmerling en Hampl, 2002). Verklaringen hiervoor lopen sterk uiteen en worden vaak verbonden aan het oppervlakkig houden van de gewasresten bij minimale grondbewerking, die schimmels meer stimuleren dan bacteriën. Fery e.a. (1999) vinden met name een relatie met het hogere vochtgehalte van de bodem onder minimale grondbewerking. Er wordt echter bij aangegeven dat het vochtgehalte een complex samenspel is van invloeden van minimale grondbewerking op de bodem; hoger organische stof gehalte, hogere bulkdichtheid van de bodem en lagere bodemtemperatuur.

Enten of toevoegmiddelen

De bodemtoestand en management bepalen voor een groot deel welke bacteriën en schimmels kunnen groeien. Voor specifieke ziekteverwekkende eigenschappen kunnen bepaalde bacteriën of schimmels worden geënt. Genoemd zijn al de *Pseudomonas*-bacterie en *Trichoderma*-schimmel tegen kiemschimmels in granen en Snijmaïs. In de literatuur wordt ook het product Effectieve Micro-organisme (EM) genoemd voor het gebruik tegen schimmelziekte (*Sclerotinia sclerotiorum*) op golfbaangrasvelden (Kremer e.a., 1999). Het veronderstelde mechanisme hierachter is dat door EM de bovengrond sneller uitdroogt, met een negatief effect op de ontwikkeling van deze schimmels (Tokeshi e.a., 1997).

EM maakt ook onderdeel uit van het Agriton-systeem waarin door middel van kleimineralen, zeeschelpenkalk, gefermenteerd organisch materiaal (Bokassi) en EM, de bodemvruchtbaarheid wordt gestimuleerd. De laatste jaren is vrij veel onderzoek gedaan naar het effect van EM op graslandproductie en bodemleven. Specifiek met betrekking tot bacteriën en schimmels heeft Egeraat (1998) de samenstel-

ling van EM onderzocht. Hij kwam tot de conclusie dat EM voor het grootste gedeelte bestaat uit melkzuurbacteriën en gisten. Melkzuurbacteriën maken melkzuur uit suikers onder anaërobe omstandigheden en zijn belangrijk voor fermentatieprocessen. De in de handleiding aangegeven fotosynthetiserende bacteriën en schimmels ontbraken geheel en de aantallen actinomyceten waren heel laag. Door het NMI is onderzoek gedaan naar het toedienen van EM en Bokassi op verschillende grondsoorten in een laboratorium. De eerste analyse van deze proef liet geen duidelijk effect van EM zien op de activiteit van bodemorganismen (Van Erp e.a., 1999).

Onderwerken van gewasresten of het toedienen van suikers, cellulose of ander koolstofrijk materiaal

In de praktijk worden vaak stro en andere gewasresten ondergewerkt. De koolstof in dit materiaal is voer voor bacteriën en schimmels waardoor er stikstof in de microbiële biomassa en in de organische stof wordt vastgelegd. Schröder (mondelijke mededeling) geeft als vuistregel; 1 ton stro bindt tijdelijk 7 kg N (64 kg C/kg N). Onder laboratoriumomstandigheden is door Vinten e.a. (2002) onderzoek gedaan naar het effect van toedienen van koolstofrijk materiaal (cellulose, glucose en stro). De conclusie van dit onderzoek was dat er een sterke immobilisatie plaatsvindt bij het toedienen van deze stoffen, maar dat hermineralisatie alleen plaatsvindt in een zeer biologisch actieve bodem. Daarnaast was de beluchting zowel voor de immobilisatie en de hermineralisatie zeer belangrijk. Ritz en Griffiths (1987) hebben ook onderzoek gedaan naar het toevoegen van glucose aan zandgrond waarop raaigras werd geteeld. Hiermee kon de uitspoeling van nitraat met 75% worden gereduceerd waarna door begrazing van protozoën op bacteriën de stikstof als "afvalstof" weer gedeeltelijk beschikbaar kwam voor het raaigras.

Onder natte omstandigheden kan te veel makkelijk verteerbare organische stof ook leiden tot extra denitrificatie omdat je als het ware de denitrificerende bacteriën extra aan het voeren bent (Schröder, mondelijke mededeling). In waterwingebieden is onderzoek gedaan naar het stimuleren van de denitrificatie door het toedienen van suikers. Het idee erachter was dat er een zeer snelle groei van de bacteriepopulatie zou plaatsvinden waardoor er een zuurstoftekort zou ontstaan. Onder deze anaërobe condities zouden juist denitrificerende bacteriën hun werk gaan doen waardoor nitraat zou worden omgezet in stikstofgas (denitrificatie) en minder stikstof zou uitspoelen. Ook in de jaren '30 heeft men onderzoek gedaan naar het toevoegen van zetmeel en ammoniakstikstof aan de grond. Dit leidde tot zo'n sterke bacterieactiviteit dat tarwekiemplanten stierven van zuurstofgebrek.

Naast toedienen van stroresten wordt in de praktijk ook gepraat over de bodemverbeterende werking van vinasse-kali. Deze reststof van de vergisting van melasse bevat naast enkele procenten achtergebleven suikers ook organische stikstof. De suikers en de stikstof zijn een makkelijke verteerbare voedingsbron voor bacteriën en andere micro-organismen. In het najaar uitrijden van vinasse-kali zou een snellere vertering van stroresten bewerkstelligen (Boerderij, 2001).

8.5 Meten en indicatorwaarde

Meten totale bacteriële biomassa

Na een voorincubatie onder stabiele omstandigheden worden bij Alterra het totaal aantal bacteriën en de afmetingen bepaald doormiddel van geautomatiseerde directe tellingen. Uit het aantal en de afmetingen worden het biovolume en de biomassa berekend. De voorincubatie heeft als doel om de resultaten minder afhankelijk te maken van het tijdstip van bemonsteren (Bloem e.a., 1995).

In het Laboratorium van het Soil Foodweb Inc. wordt de totale bacteriebiomassa bepaald via directe tellingen zonder voorincubatie. Het totaal aantal bacteriën wordt bepaald door kleuring met FITC (Fluoriscine Isothiocyanaat). Dit is een kleurstof die zich hecht aan de eiwitten in de celwand. De tellingen in dit laboratorium worden handmatig onder een microscoop verricht.

Bij Koch bodemtechniek wordt het aantal aërobe- en anaërobe bacteriën bepaald aan de hand van uitplaten bij verschillende verdunningen x 1000.000 per gram grond zonder voorincubatie. Analyse is

onderdeel van het standaard bodemonderzoek.

Een andere methode die in de literatuur beschreven staat is de PLFA-methode (Phospholipid Fatty Acid Analysis). Middels een vetzuuranalyse wordt een schatting gemaakt van de bacteriële biomassa. Hierbij wordt er vanuit gegaan dat een aantal vetzuren specifiek zijn voor bacteriën (Bardgett en McAllister, 1999). Bloem en Breure (2003) geven aan dat deze methode potentie heeft vanwege relatieve simplicitéit, mogelijkheid tot automatisering en standaardisering.

Metén actieve bacteriële biomassa

Bij Alterra wordt de activiteit van bacteriën bepaald door de inbouw van radioactief gelabelde ³H-thymidine en ¹⁴C-leucine in respectievelijk DNA en eiwitten te meten. Het verband van de groeisnelheid van thymidine-inbouw is constanter dan met leucine-inbouw. Daar staat tegenover dat met name anaërobe bacteriën, thymidine niet kunnen inbouwen, terwijl leucine door vrijwel alle bacteriën kan worden ingebouwd.

In het laboratorium Soil Foodweb Inc. wordt de actieve bacteriebiomassa bepaald middels kleurstoffen waardoor actieve bacteriën oplichten. Bij deze methode vindt kleuring plaats (Fluorine Di-acetaat) van het bodemonmonster. De kleurstof gaat fluoriseren als deze wordt afgebroken door het metabolisme van micro-organismen. Vervolgens worden de verlichtingen geteld onder een microscoop. Dit geeft een beeld van de totale hoeveelheid actieve bacteriën.

Metén diversiteit van bacteriële populatie

De genetische diversiteit van bacteriën wordt bij Alterra bepaald door DNA-banden te meten.

Biolog methode

De biolog methode (bodembioologische indicatiesysteem) zegt iets over de diversiteit van de micro-organismen in een monster. Er wordt gewerkt met 32 substraten. Met deze substraten wordt bekeken hoeveel grond er nodig is om het substraat om te zetten. De biolog methode wordt uitgedrukt in substraat-omzetting capaciteit (mg/substraat). In principe biedt deze indicator een uitdrukking voor de diversiteit van omzettingfuncties binnen een microbiële gemeenschap. De biolog methode lijkt een veelbelovende techniek om dit aspect zichtbaar te maken bij bodembacteriën die niet op uiterlijk kenmerken te onderscheiden zijn.

Totaal aantal en activiteit schimmels

Na een voorincubatie onder stabiele omstandigheden worden bij Alterra het totaal aantal schimmels en de afmetingen bepaald doormiddel van directe geautomatiseerde tellingen. Uit het aantal en de afmetingen worden het biovolume en de biomassa berekend. De voorincubatie heeft als doel om de resultaten minder afhankelijk te maken van het tijdstip van bemonsteren (Bloem e.a., 1995).

In het laboratorium van het Soil Foodweb Inc. worden totale schimmels, actieve schimmelpopulatie en hyphediameter bepaald. Aantallen schimmels worden geteld door monster op te lossen in fosfaatbuffer. Schimmeldraden komen dan los van de matrix en kunnen dan microscopisch worden geteld. De actieve schimmelpopulatie wordt geteld doormiddel van kleuring met FDA (Fluorocine Di-acetaat). Dit is een kleurstof die pas begint te fluoriseren als er een deel van het molecuul wordt afgebroken door het metabolisme van de micro-organismen. De telling gebeurt microscopisch. De hyphediameter wordt uitgedrukt in μm . SFI geeft aan dat een kleine diameter (2,0) een indicatie is van Actinomyceten, een diameter van 2,5 duidt op Ascomyceten (wat een typische schimmel is voor grasland) en diameter van 3,0 of hoger is een indicatie voor een sterk gedomineerde Basidiomyceten milieu.

Door Koch Bodemtechniek worden metingen aan schimmels verricht doormiddel van uitplaten bij verschillende verdunningen. Het aantal kolonies is de maat voor het aantal schimmels. Deze analyse is onderdeel van het standaard bodemonderzoek.

Met de PLFA-methode (Phospholipid Fatty Acid Analysis) wordt via een vetzuuranalyse een uitspraak gedaan over schimmelbiomassa (Bardgett en McAllister, 1999).

Indicatorwaarde

Bacteriën en schimmels maken een groot deel uit van de totale biomassa in de bodem (vaak meer dan 80%). In de literatuur wordt als specifieke indicator de schimmel/bacterie verhouding genoemd. Door Bardgett en McAllister (1999) wordt het zelfs aangegeven als een mogelijke indicator voor een succesvolle omschakeling naar een meer zelfregulerend grasland, waarin nutriënten efficiënt worden gebruikt. De mechanismen die hieraan ten grondslag liggen moeten echter verder worden onderzocht.

In veel gevallen zijn er in totale biomassa van bacteriën en schimmels niet zoveel verschillen te zien. Het lijkt belangrijk om de activiteit van bacteriën en schimmels als indicator mee te nemen.

8.6 Onderzoeksvragen

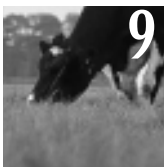
Uit het vorige komt duidelijk naar voren dat de schimmel/bacterie verhouding mogelijk een indicator is voor een succesvolle omschakeling naar een meer zelfregulerend grasland. Het meeste onderzoek hiernaar is echter gedaan op extensief beheerd grasland waarbij de botanische samenstelling en/of de organische stof sterk afwijkend was van intensief beheerd grasland. Voor de biologische veehouderij is het belangrijk te weten met welke droge stofproductie en voederwaarde deze mogelijk zelfregulerende eigenschappen zich voor gaan doen en in hoeverre dit gerelateerd is aan de schimmel/bacterie-verhouding. In 2003 is een promotieonderzoek omtrent de schimmel/bacterie-verhouding gestart (Brussaard en Bloem, 2002). Voor bodembioologische indicatoren voor de praktijk is het daarnaast de vraag of de schimmel/bacterie verhouding niet indirect gemeten kan worden door de voedselgroepen van nematoden te bepalen. In principe hebben bacteriën en schimmels ieder een aparte voedselketen. Yeates e.a. (1997) vonden in grasland met een hogere schimmelactiviteit ook meer schimmel-etende nematoden.

Ideeën over stimuleren van mineralisatie in het voorjaar (bijvoorbeeld door een strategische bekalking) of stimuleren van immobilisatie in het najaar (bijvoorbeeld door bloten, stro of strotorrijke mest uitrijden) dienen verder te worden uitgediept.



Mycorrhiza- schimmels

- 9.1 Algemene beschrijving**
- 9.2 Diversiteit**
- 9.3 Functionaliteit**
- 9.4 Managementinvloed**
- 9.5 Meten en indicatorwaarde**
- 9.6 Onderzoeksvragen**



9 Mycorrhizaschimmels

9.1 Algemene beschrijving

Mycorrhizaschimmels behoren tot een specifieke groep schimmels die een symbiotische relatie met planten aangaan. In ruil voor suikers van de planten verzorgen deze schimmels een aantal functies voor de planten. Een bekende Mycorrhizaschimmel is de Truffel, die naast zijn culinaire waarde als schimmel ook een symbiotische relatie aangaat met bepaalde bomen. Ook Cantharel, Eekhoortjesbrood en Vliegenschwam zijn bekende voorbeelden van vruchtlichamen van Mycorrhizaschimmels. De wortels van de meeste planten kunnen een symbiose aangaan met deze schimmels. Een uitzondering hierop zijn de plantenfamilies *Chenopodiaceae* (de Ganzevoetfamilie met bekende vertegenwoordigers als Melde, Quinoa en Bieten) en *Cruciferae/Brassicaceae* (de Kruisbloemigen met soorten als Gele mosterd, Bladrammenas en de koolsoorten).

Mycorrhizaschimmels zijn een essentieel onderdeel van het bodemvoedselweb en hebben een belangrijke invloed op de bovengrondse diversiteit. Uit onderzoek van Van Der Heijden e.a. (1998), waarin de relatie tussen plantendiversiteit en Mycorrhizaschimmels is bestudeerd, blijkt dat velden met een lage plantbiodiversiteit geen of weinig soorten Mycorrhizaschimmels bevatten. De aanwezigheid van deze schimmels verhoogt de plantendiversiteit en is noodzakelijk om een bepaald minimum aan plantendiversiteit te behouden (Grime e.a., 1987).

Er zijn twee groepen Mycorrhizaschimmels:

1. Ectomycorrhizaschimmels: Deze groep bestaat uit ongeveer 6000 soorten die samenleven met wortels van bomen. Ze groeien tussen de cellen van de wortels. De Ectomycorrhizaschimmels zijn onmisbaar in een bosesystemen. De bomen leveren suikers aan de schimmels, die op hun beurt nutriënten en water uit de bodem aan de boom leveren. Andere functies van Ectomycorrhizaschimmels zijn het verhogen van de weerstand van bomen tegen droogte, ziekteverwekkers en zware metalen (Baar, 1995);
2. Endomycorrhizaschimmels of Arbusculaire mycorrhizaschimmels (AMF): In tegenstelling tot de vorige groep groeien deze schimmels inwendig in de cellen van plantenwortels. Deze groep bestaat uit 150 soorten die een belangrijke functie hebben voor landbouwkundige gewassen. In tegenstelling tot de vorige groep zijn de Arbusculaire mycorrhizaschimmels niet met het blote oog te zien. Geelkleuring van wortels bij granen en maïs kan een indicatie zijn voor kolonisatie door Arbusculaire mycorrhizaschimmels (Smith en Read, 1997). De functies van deze schimmels zijn:
 1. Opname nutriënten, met name fosfaat;
 2. Opname water;
 3. Bodemstructuurverbetering door aggregaatvorming;
 4. Ziektewering.

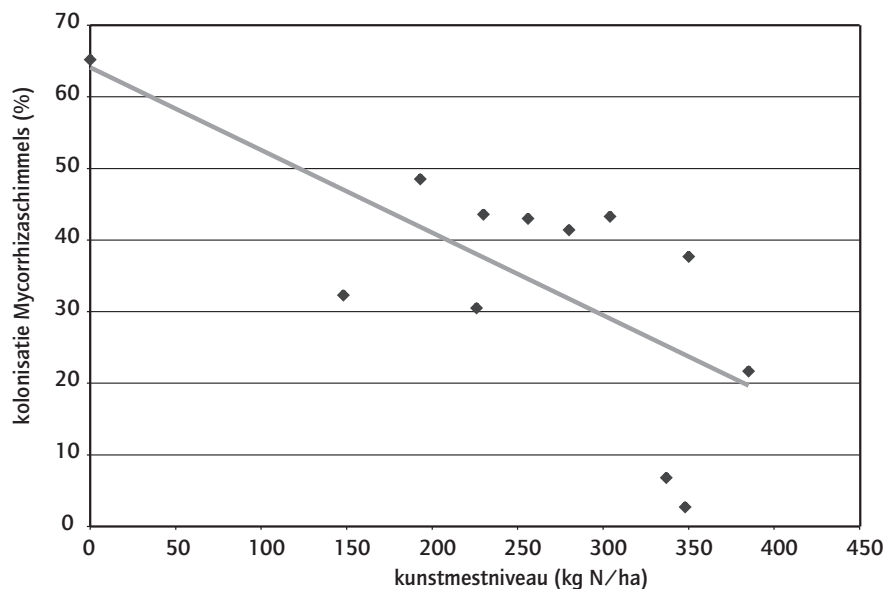
Dit hoofdstuk gaat verder alleen in op de Arbusculaire mycorrhizaschimmels omdat deze interessant zijn voor landbouwgewassen. Staat er Mycorrhizaschimmel in de tekst dan betekent dit AMF.

9.2 Diversiteit

Aantallen

De diversiteit en de mate van mycorrhizakolonisatie is afhankelijk van de grondsoort. Over het algemeen komen er op zand meer Mycorrhizaschimmels voor dan op klei. Dit vanwege de in principe lagere chemische bodemvruchtbaarheid van zand. Hetzelfde geldt voor het bemestingsniveau: bij een lager bemestingsniveau is er een hogere mycorrhizakolonisatie (zie ook paragraaf 9.3).

Uit Zwitsers onderzoek komt naar voren dat in biologische akkerbouwsystemen de mycorrhizakolonisatie 40% hoger is dan in vergelijkbare gangbare systemen (Mäder e.a. 2002). In Australisch onderzoek is de mycorrhizabezetting vergeleken tussen 10 biologische gras-/klaverpercelen en 10 gangbare gras-/klaverpercelen. Op de biologische percelen was 71% van de klaverwortel geïnfecteerd door Mycorrhizaschimmels, tegen 48 % op de gangbare bedrijven. Van de graswortels was dit 48% tegen 38% (Ryan e.a. 2000). De mate van kolonisatie van Mycorrhizaschimmels in dit onderzoek werd voor een belangrijk deel verklaard door het fosfaatniveau in de bodem, dat over het algemeen laag is op Australische gronden. Onder Nederlandse omstandigheden wordt iets dergelijks gevonden in het VEL/VANLA-project. In dit project is in 1998 op twaalf melkveebedrijven de mycorrhizakolonisatie gemeten. Het enige biologische bedrijf in dit onderzoek had een mycorrhizakolonisatie van 65% tegen 39% op de elf gangbare bedrijven. Hierbij moet vermeld worden dat het gemeten perceel op het biologische bedrijf 10% klaver bevatte. Het is niet bekend of de mate van kolonisatie op gras- of klaverwortels is gemeten. In het onderzoek werd ook een negatief verband tussen kunstmestgift en de kolonisatie van Mycorrhizaschimmels gevonden (zie figuur 9.1)(De Goede en Brussaard, 2001 b).



Figuur 9.1: Kolonisatie van Mycorrhizaschimmels (%) op 12 bedrijven met verschillende kunstmestniveaus (De Goede en Brussaard, 2001b)

Soorten

In de literatuur wordt weinig melding gemaakt van soorten Mycorrhizaschimmels in een gematigd klimaat. Per plantensoort kunnen wel 4-8 mycorrhizasoorten de wortels koloniseren (Van der Heijden e.a., 1998).

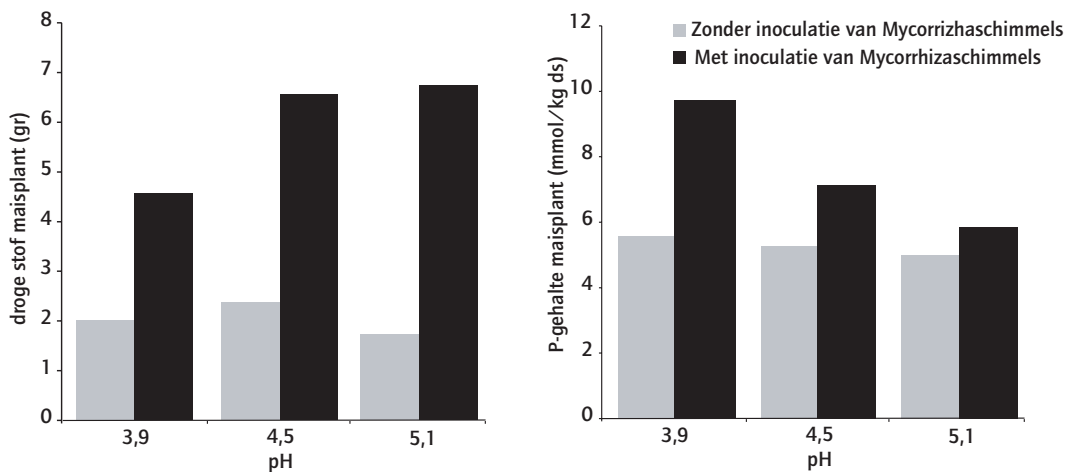
9.3 Functionaliteit

Opname van nutriënten

De functie van Mycorrhizaschimmels waaraan relatief veel onderzoek wordt gedaan, is de verbeterde opname van nutriënten door planten. Onder deze nutriënten valt fosfor maar ook andere macro- en micro-elementen. De mechanismen achter deze verbeterde opname zijn de volgende:

1. Net zoals bij andere schimmels kunnen de schimmeldraden van Mycorrhizaschimmels worden gezien als een soort verlengd wortelstelsel waardoor de plant dichterbij mobiele elementen zoals fosfor kan komen;
2. Schimmeldraden van Mycorrhizaschimmels zijn relatief dun waardoor deze toegang hebben tot voedingsstoffen waar wortels van planten niet bij kunnen;
3. Mycorrhizaschimmels maken enzymen aan die de nutriënten beter opneembaar maken (Ingham, 2001).

Illustratief voor de verbetering van de fosfaatabsorptie door middel van Mycorrhizaschimmels is een potproef met zure, fosfaatarme heidegrond uit de omgeving van Ede. In deze proef is bekaakt tot een pH van respectievelijk 3,9, 4,5 en 5,1. De resultaten weergegeven in figuur 9.2a en b maken duidelijk dat de groei en de fosfaatopname van de maïsplanten hoger is bij inoculatie van Mycorrhizaschimmels. Deze verhoogde fosfaatopname door gemycorrhizeerde planten leidt weliswaar tot verhoogde droge stof productie, maar het fosforgehalte in de plant blijft onder het niveau van de kritische waarde voor maïs (35 mmol P/kg ds). Dit illustreert duidelijk de marginale fosfaatstatus van de planten, ongeacht de aanwezigheid van Mycorrhizaschimmels. Het door de Mycorrhizaschimmels opgenomen fosfaat wordt gebruikt voor de aanmaak van extra biomassa dat een minimaal fosforgehalte bezit. Onder fosfaatarme omstandigheden is sprake van een maximum efficiënt gebruik van fosfaat door de plant. Dit betekent wel dat de droge stof productie zeer waarschijnlijk nog steeds door een tekort aan fosfaat wordt geremd en dus niet maximaal is (Keltjens, 1999).



Figuur 9.2: De invloed van inoculatie van een P-arme grond met Mycorrhizaschimmels op de droge stof productie (a) en P-gehalte van de maïsplant (b)(Keltjens, 1999)

De conclusie van dit onderzoek is dat de inoculatie van een fosfaatarme grond met een Arbusculaire mycorrhizaschimmel alleen tot een verhoogde fosfaatopname door het gewas kan leiden, als de fosfaattoestand van de bodem laag is. Is de bemesting met een fosfaatmeststof dusdanig hoog dat de fosfaattoestand voldoende wordt bereikt, dan worden geen effecten van een inoculatie op de fosfaatopname en de gewasgroei meer gemeten. Bovendien neemt de wortelinfectie met de Mycorrhizaschimmels bij een hoge fosfaattoestand van de bodem sterk af (Keltjens, 1999).

Resultaten van het onderzoek met Snijmaïs zijn vergelijkbaar met onderzoek op gras/klaver in Australië (Ryan e.a., 2000). In dit onderzoek werd een hoge mycorrhizakolonisatie gevonden bij een lage fosfaattoestand in de bodem en lage fosforgehaltes in gras/klaver (tussen de 2-3 g/kg ds). Het is duidelijk dat de symbiose van Mycorrhizaschimmels met planten een natuurlijk proces is en niet is geëvolueerd met een streefwaarde van fosfor in gras tussen de 3-4,5 g/kg ds. In een symbiose wordt er gestreefd naar een optimale benutting van fosfaat en zal de plant zo efficiënt mogelijk zijn energie inzetten om aan zijn fosfaatbehoefte voor productie en vermeerdering te voldoen. Dit valt niet altijd samen met de maximale productie. Inzet van Mycorrhizaschimmels specifiek voor fosfaatopname zal in Nederland dan ook sterk afhangen van de fosfaattoestand.

Onder een lage fosfaattoestand met een goede mycorrhizabezetting wordt misschien niet de maximale productie gehaald maar kunnen Mycorrhizaschimmels wel bijvoorbeeld het zinkgehalte in het gewas verhogen. Voor de sporenelementenvoorziening van het vee kan dit interessant zijn (Ryan en Graham, 2002).

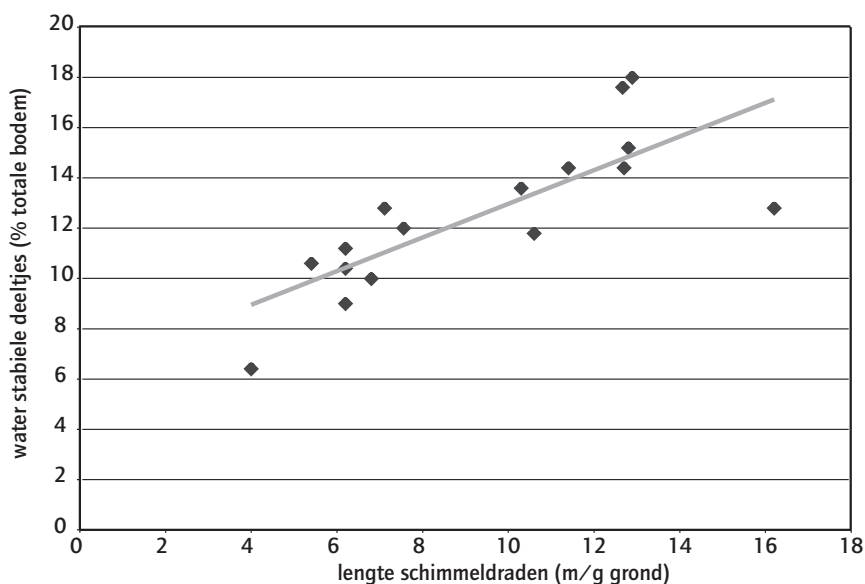
Mycorrhizaschimmels hebben ook een positief effect op de stikstoffixatie door de Rhizobiumbacterie. Dit is vaak ook gerelateerd aan de verbeterde mineralenopname van klaver (P en Mo)(Smith en Read, 1997). Juist ook in een gras/klavermengsel op een perceel met een lage fosfaattoestand heeft gras - met haar intensieve wortelstelsel - een voorsprong op klaver om fosfaat op te nemen. Door een verbeterde fosfaatopname van klaver door de symbiose met Mycorrhizaschimmels kan deze concurrentiepositie verhoogd worden en hierdoor de stikstofbinding toenemen.

Voorkoming droogtestress

Door een verbeterde nutriëntenopname van de plant kunnen Mycorrhizaschimmels indirect bijdragen aan voorkoming van de eerste droogte stress (Smith en Read, 1997). In verschillende proeven met maïs komt naar voren dat planten die met Mycorrhizaschimmels geënt zijn meer resistent zijn tegen waterstress, een hogere productie hebben na waterstress en een groter bladoppervlak (Gollner, 2003).

Bodemstructuurvorming door aggregaatvorming

Net zoals normale schimmels kunnen Mycorrhizaschimmels met hun schimmeldraden grond bij elkaar houden en dragen ze bij tot de vorming van macroaggregaten. Tisdal en Oades (1979) vinden in hun onderzoek een duidelijke relatie tussen de schimmeldradenlengte van Mycorrhizaschimmels en waterstabiele aggregaten. Dus hoe meer een plant gekoloniseerd is door Mycorrhizaschimmels hoe stabielere bodemaggregaten zijn rond het wortelstelsel van deze plant.



Figuur 9.3: Relatie tussen schimmeldradenlengte van Mycorrhizaschimmels en waterstabiele aggregaten (Tisdal en Oades, 1979)

Ziektevering

Mycorrhizaschimmels beschermen de wortels van planten ook tegen ziekteverwekkende schimmels. Daarnaast vormen Mycorrhizaschimmels een bescherming tegen aaltjes, die de wortels niet meer herkennen als wortels maar als schimmel (Baars, 2000).

9.4 Managementinvloed

Bemesting en mestsoort

Uit paragraaf 9.2 en 9.3 is duidelijk dat een hoge fosfaat- en stikstofbemesting een negatief effect heeft op de kolonisatie met Mycorrhizaschimmels. In een vergelijkend onderzoek in Zwitserland lag de mycorrhizakolonisatie van wortels op onbemeste percelen boven de 25% van de wortellengte, in biologische systemen rond de 20% en in de gangbare systemen onder de 15% (FIBL Dossier, 2003).

Over het algemeen wordt aangegeven dat bemesting met vaste mest de mycorrhizakolonisatie stimuleert (Gollner, 2003). In een vergelijkend onderzoek van vaste mest en drijfmest op gras/klaver kon dit in het 2^e jaar van het onderzoek niet aangetoond worden (Heeres en Baars, 2002 ongepubliceerde data).

Toevoegmiddelen

In het VEL/VANLA-project is gekeken of de middelen Euromestmix en EM (Effectieve Micro-organisme) onder anderen een effect hadden op de kolonisatie van Mycorrhizaschimmels. Uit de resultaten van de twaalf bedrijven werden geen significante verschillen in bezetting van graswortels met Mycorrhizaschimmels waargenomen (De Goede en Brussaard, 2001 b).

Botanische samenstelling

De kolonisatie van Arbusculaire mycorrhizaschimmels op wortels is ook plantafhankelijk. Onderzoek wijst uit dat symbiotische relaties gemakkelijker plaatsvinden op dikkere wortels. Zowel in onderzoek van Ryan e.a. (2000) en Tisdall en Oades (1979) werd een hoger aantal Mycorrhizaschimmels in klaverwortels gevonden dan in graswortels. In dit laatste onderzoek was de kolonisatie van Arbusculaire mycorrhizaschimmels op de wortels van Witte klaver zelfs vier keer zo hoog als die op de wortels van gras. Aangezien de wortelmasse van Engels raaigras acht keer zo groot is als die van Witte klaver is de totale kolonisatie van Mycorrhizaschimmels in een graszode hoger. Wordt een gras/klaver bemonderd op Mycorrhizaschimmels dan is de kans echter groter om deze op een klaverwortel te vinden. Iets dergelijks geldt voor Margriet en Smalle Weegbree die bekend staan als zogenaamde "trapplanten" (Baar, 2002 mondelinge mededeling).

Grondbewerking en vruchtwisseling

Verstoring van de bodem door bijvoorbeeld ploegen heeft een nadelig effect op Mycorrhizaschimmels. Dit geldt nog sterker voor pesticiden en grondontsmetting (Baars, 2000). In een vruchtwisseling is het voorgewas ook belangrijk op de kolonisatie van Mycorrhizaschimmels in het nagewas. Over het algemeen heeft een meerjarig grasland een duidelijk positief effect op de mycorrhizaontwikkeling in het volggewas (Smith en Read, 1997). In vergelijking met gras geeft Luzerne een nog betere kolonisatie van Mycorrhizaschimmels in het volggewas (Gollner en Freyer, 2002). In onderzoek in de Noordoost polder is gekeken naar de kolonisatie van Mycorrhizaschimmels in zomergerst na 4 verschillende voorvruchten. De voorvruchten Vlas en Veldbonen gaven een hoge infectie terwijl de voorvruchten Snijmaïs en Suikerbieten resulteerde in een lage infectie (Frissen e.a., 1992).

Enten

In de boomteelt worden bijvoorbeeld zaailingen van dennenbomen geënt met bosgrond om te zorgen voor een kolonisatie van wortels met Ectomycorrhizaschimmels. Er zijn ook een aantal bedrijven die specifiek inoculant van Mycorrhizaschimmels verkopen waar 4-5 mycorrhizasoorten in zitten. Bij het enten is het belangrijk dat de omstandigheden worden gecreëerd waarbij Mycorrhizaschimmels kunnen gedijen. Daarnaast is het belangrijk dat de schimmelsporen in de wortelzone aanwezig zijn: het zaad moet voor het zaaien worden geënt. Voor het enten van bijvoorbeeld sportvelden wordt aanbevolen om beluchtingsgaten op te vullen met compost en Mycorrhizaschimmels (Ingham, 2001). Een praktijkproef op een perceel gras/klaver van Gerrit Verhoeven (Biologisch geitenhouder in Biezenmortel) met bovengronds uitrijden van compost verrijkt met inoculum van Mycorrhizaschimmels gaf geen duidelijk effect op de mycorrhizakolonisatie (Smits en Van Eekeren, 2001 ongepubliceerde data). In Nieuw Zeeland is onderzoek gedaan naar het inoculeren van klaver met een specifieke mycorrhizasoort (E3). Ten opzichte van de natuurlijk in de grond aanwezige Mycorrhizaschimmels namen door deze soort de fosfaatopname en de productie van klaver toe (Powell, 1977).

9.5 Meten en indicatorwaarde

Meten

Er kan op verschillende niveaus aan Mycorrhizaschimmels gemeten worden, namelijk:

1. Kleuren van wortels en screenen op de aanwezigheid van Mycorrhizaschimmels (AMF): Hiermee wordt alleen duidelijk of er Mycorrhizaschimmels voorkomen op plantenwortels;
2. Kleuren van wortels en de mate van kolonisatie van Mycorrhizaschimmels vaststellen: Met deze methode wordt duidelijk wat de mate van kolonisatie van de wortels met Mycorrhizaschimmels is. Hierbij wordt het aantal karakteristieke structuren (arbuscules en vesikels) per cm wortel bepaald;
3. Moleculaire identificatie van Mycorrhizaschimmels op hoofdgroepen: Met behulp van moleculaire technieken (PCR met specifieke primers) wordt vastgesteld tot welke hoofdgroep de Mycorrhizaschimmel in de plantenwortels behoort. Hoofdgroepen verstrekken informatie over de omstandigheden. Zo is bekend dat bepaalde groepen onder relatief nutriëntrijke omstandigheden kunnen voorkomen, terwijl andere groepen onder relatief nutriëntarme omstandigheden voorkomen;
4. Moleculaire identificatie van Mycorrhizaschimmels op soortsniveau: Met behulp van moleculaire technieken worden Mycorrhizaschimmels in de plantenwortels geïdentificeerd. De technieken die worden toegepast zijn PCR, RFLP en sequencing. Deze technieken verstrekken inzicht in welke soorten geassocieerd zijn met planten.

Bovenstaande meetmethodes worden onder andere uitgevoerd bij PPO-paddestoelen. In het voorjaar of in het najaar is het een goed moment voor het bemonsteren van Arbusculaire mycorrhizaschimmel. Droge omstandigheden en vorst geeft geen representatief beeld van de mycorrhizakolonisatie. Het meten van de mate van kolonisatie blijft daarom ook een moment opname. Metingen aan de wortels van de zogenaamde 'trapplanten' (Smalle weegbree, Margriet en klaver) geeft de meeste kans om de verschillende Mycorrhizaschimmels in een perceel te identificeren.

Indicatorwaarde

De aanwezigheid van Mycorrhizaschimmels is een indicator voor boven- en ondergrondse diversiteit. Gezien de variatie tussen metingen en de kosten per meting is het niet de meest praktische indicator. Aan de andere kant spelen Mycorrhiza's mogelijk een belangrijke rol voor de biologische veehouderij door hun specifieke betekenis in het verbeteren van de nutriëntenopname. Dat kan nuttig zijn voor biologische melkveebedrijven met een lage beschikbaarheid van fosfaat uit de bodem (bijvoorbeeld veenweidegebied).

9.6 Onderzoeksvragen

Een eerste inventarisatie na de aanwezigheid van Mycorrhizaschimmels onder verschillende graslanden in Nederland is gemaakt (VEL/VANLA, ROC Aver Heino, Drentse Aa etc.). De volgende stap is welke soorten onder welke omstandigheden en managementmaatregelen voorkomen. Hierna kan gekeken worden of verdere actie op management van Mycorrhizaschimmels noodzakelijk is of dat bijvoorbeeld enten van bepaalde soorten zinvol is.



Protozoën

- 10.1 Algemene beschrijving**
- 10.2 Diversiteit**
- 10.3 Functionaliteit**
- 10.4 Managementinvloed**
- 10.5 Meten en indicatorwaarde**



10 Protozoën

10.1 Algemene beschrijving

Protozoën zijn eencellige dierlijke organismen die een stuk groter zijn dan bacteriën. Voor de veehouderij spelen protozoën niet alleen in de bodem een belangrijke rol maar ook in de pens van de koe. In de pens maken protozoën ongeveer de helft uit van het totale volume aan micro-organismen. In de bodem is de biomassa van protozoën kleiner dan die van bacteriën en schimmels, maar is het gewichtsaandeel vergelijkbaar met regenwormen (Foissner, 1987).

Bodemprotozoën voeden zich met name met bacteriën en in mindere mate met schimmels en andere protozoën. Ze kunnen zich vrij bewegen mits er voldoende vocht in de grond is voor een waterfilm waarin ze zich kunnen voortbewegen. Veel soorten hebben de mogelijkheid om een kapsel te vormen van chitine en cellulose om zichzelf te beschermen tegen uitdroging en kou. Deze zogenaamde cysten zijn binnen 1 tot 2 dagen weer actief nadat de vochttoestand in de bodem weer genormaliseerd is. Zij bewegen zich slechts beperkt door de bodem. Indien er echter veel regen valt, kunnen protozoën door het vocht ook grotere afstanden afleggen. Protozoën zijn met name actief rondom de wortel (Dunger, 1983).

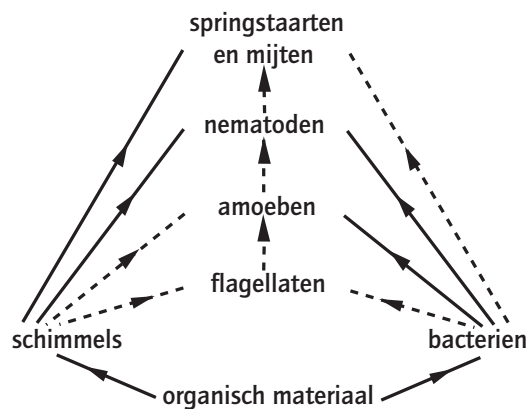
Protozoën kunnen worden ingedeeld in 3 groepen, gebaseerd op hun lichaamsvorm:

- Amoeben kunnen vrij groot zijn en bewegen door middel van z.g. schijnvoetjes;
- Flagellaten (zweephaardiertjes) zijn de kleinste protozoën en gebruiken zweepharen of flagellen om te bewegen. Dit zijn met name de bacterie-eters;
- Ciliaten (trilhaardiertjes) zijn de grootste en kunnen snel bewegen door de fijne trilharen (cilia) langs hun lichaam te gebruiken als een waaier. Ze eten de andere twee typen protozoën, maar ook bacteriën en schimmels (Baars, 2000).

Protozoën worden op hun beurt weer gegeten door nematoden, springstaarten en mijten. Dit is in figuur 10.1 nog eens systematisch weergegeven.

De functies van protozoën zijn als volgt in te delen:

- Beschikbaar maken van nutriënten door vertering van bacteriën en schimmels;
- Reguleren van bacterie- en schimmelpopulaties;
- Ziektewering.



Figuur 10.1: Schematische weergave van een ondergronds voedselweb (Griffiths, 1994)

10.2 Diversiteit

Aantallen en soorten

In de literatuur zijn weinig gegevens te vinden over aantallen en soorten protozoën onder grasland vergelijkbaar met de Nederlandse situatie. In het zogenaamde, BoBi-project, zijn protozoën als deelindicator afgevalen omdat het meten moeilijk en kostbaar is (Schouten e.a., 1999). In Oostenrijk zijn metingen gedaan aan protozoën onder biologisch- en gangbaar grasland. Op de biologische percelen was het aantal amoeben hoger en het aantal ciliaten lager (Foissner, 1987).

De meest concrete aanknopingspunten voor protozoën wordt geboden door het Soil Foodweb Inc., die de volgende streefwaarde aangeeft voor landbouwgronden; flagellaten >10.000 aantal/g grond, amoebe >10.000 aantal/g grond en ciliaten 50-100 aantal/g grond. Bodems waar meer schimmels in voorkomen bevatten meer ciliaten en geschaalde amoeben. Bacteriegedomineerde bodems bevatten meer flagellaten en naakte amoeben. In bodems met een fijne structuur zoals klei komen meer kleinere protozoën voor (flagellaten en naakte amoeben) en in grovere bodems vind je de grotere ciliaten, grotere flagellaten en amoeben (Baars, 2000).

Rond het wortelstelsel van klaver zitten duidelijk meer amoeben en flagellaten dan bij Engels raaigras (zie tabel 10.1). Schijnbaar creëren klaverplanten een voedingsbodem voor bacteriën waar deze protozoën op foerageren.

Tabel 10.1: Aantallen (aantal/g grond) en soorten protozoën in de grond en rond het wortelstelsel van Engels raaigras en Witte klaver (Darbyshire en Greaves, 1967).

Protozoën	Engels raaigras			Witte klaver		
	In grond rond de wortels	In totaal van de grond	Verhouding	In grond rond de wortels	In totaal van de grond	Verhouding
Flagellaten (aantal/g grond)	80.000	26.000	3,1	282.000	32.000	8,9
Amoebe (aantal/g grond)	57.000	14.000	4,1	122.000	33.000	3,4
Ciliaten (aantal/g grond)	7.000	300	22	0	300	0

10.3 Functionaliteit

Beschikbaar maken van nutriënten

Protozoën hebben een belangrijke rol in het vrijmaken van nutriënten voor de plant door het opeten van bacteriën, schimmels en andere protozoën. Aangezien protozoën minder stikstof in het dieet nodig hebben dan ze opnemen komt er bij dit proces onder anderen stikstof vrij. Deze overmaat aan stikstof wordt uitgescheiden in de vorm van ammonium (NH_4^+) en komt vaak vlak bij de wortels van de plant beschikbaar. Vergelijk het met een melkkoe die theoretisch ook maar 35% van de opgenomen stikstof kan omzetten in melk en waar de rest wordt uitgescheiden in de vorm van mest en urine. Wat voor stikstof gebeurt, gaat ook op voor fosfor. Omdat bacteriën fosfor kunnen opslaan in de cel, kunnen protozoën een hoofdrol spelen bij de mineralisatie van fosfor (Bloem e.a., 1997).

De C/N-verhouding van de bacterie en de protozoën is sterk bepalend voor wat er vrij komt. Ingham (2001) geeft een voorbeeld van een C/N-verhouding bij bacteriën van 5 en bij protozoën van 30. Hierbij wordt door bacterie-etende protozoën duidelijk een overmaat aan stikstof opgenomen. Griffiths (1994) geeft aan dat een C/N-verhouding van 5 voor protozoën en bacteriën het meest realistisch is. Hierbij komt de overmaat aan stikstof voort uit het gebruik van koolstof voor onderhoud waardoor de opgenomen stikstof resteert en weer wordt uitgescheiden. De stikstofmineralisatie door protozoën in verschillende landbouwgronden varieert van 10 tot 150 kg N per ha per jaar (Bloem e.a., 1997). Een belangrijk deel van de totale N-mineralisatie (20-40%) komt voor rekening van de protozoën (Foissner, 1999). In een onderzoek van Griffiths (1989) steeg het ruw eiwitgehalte van Engels raaigras met 14% wanneer ciliaten werden toegevoegd aan een bodem met alleen bacteriën.

Reguleren van bacteriën en schimmelpopulaties

Protozoën reguleren de populatie van micro-organismen door ze te eten. Bij een hoog aanbod aan bacteriën worden er veel bacteriën door protozoën gegeten. Bij een laag voedselaanbod kunnen protozoën overleven door zich in te kapselen.

Ziektewering

Protozoën kunnen door competitie en selectieve predatie, een ziekteverende rol spelen tegen bacterie- en schimmelinfecties van planten. Praktische voorbeelden hiervan voor de veehouderij zijn niet bekend (Foissner, 1987).

10.4 Managementinvloed

Beregenen

Zoals al aangegeven is de activiteit van protozoën afhankelijk van het vochtgehalte in de bodem. Bij droogte kan door regen of beregenen de activiteit van protozoën sterk laten toenemen. Protozoën hebben een vloeistoffilm nodig om zich te kunnen bewegen. De grond moet dus vochtig zijn voor een goede groei. Wanneer door regen of beregening een droge grond vochtig wordt, stimuleert dit de stikstofmineralisatie. Dit proces wordt voor een groot deel aangejaagd door protozoën die op dat moment weer beginnen met het consumeren van andere micro-organismen.

Bemesting en mestsoort

Over het algemeen nemen het aantal protozoën bij een toenemende bemesting op korte termijn toe (Foissner, 1987). Op de lange termijn zijn op alpenweiden negatieve effecten van bemesting gevonden op met name geschaalde amoëbe. In een andere proef op een alpenweide werd een positief effect gevonden van Thomasslakkenmeel op geschaalde amoëben maar een negatief effect op ciliaten (Foissner, 1987).

Op een bemestingsproef op Aver Heino (zandgrond) zijn vanaf 1993 drie mestsoorten (drijfmest, vaste mest en een P+K-bemesting) op gras/klover onder maai- en maai/weidebeheer vergeleken. In augustus 2000 zijn deze behandelingen bemonsterd in de laag 0-20 cm en geanalyseerd door het SFI (zie tabel 10.2). De amoëben en flagellaten vallen voor de drie mestsoorten allemaal binnen de streefwaarde.

Tabel 10.2: Protozoënsamenstelling bij 3 mestsoorten op gras/klover (gemiddelde over maai- en maai/weidebeheer).

Protozoën	Streefwaarde SFI	Drijfmest	Vaste mest	P+K
Flagellaten (aantal/g grond)	10.000+	24.884	33.045	27.049
Amoëbe (aantal/g grond)	10.000+	16.685	16.966	11.003
Ciliaten (aantal/g grond)	50-100	81	200	40

Grondbewerking en vruchtwisseling

In Oostenrijks onderzoek is gekeken naar geschaalde amoëbe en ciliaten in graslanden waarvan een gedeelte 10-15 jaar geleden is omgezet in bouwland. In vergelijking met het grasland had het bouwland minder ciliaten maar bleef het aantal geschaalde amoëben gelijk.

Tabel 10.3: Protozoënsamenstelling bij maai- en maai/weidebeheer van gras/klover (gemiddelde over 3 mestsoorten)

Protozoën	Streefwaarde SFI	Maaien/weiden	Maaien
Flagellaten (aantal/g grond)	10.000+	15.572	41.080
Amoëbe (aantal/g grond)	10.000+	16.752	13.017
Ciliaten (aantal/g grond)	50-100	134	80

Vertrapping- of rijschade

In bodemverdichtingsproeven op alpenweiden bleken protozoën sterk af te nemen bij verdichting. Ciliaten namen daarbij nog sneller af dan geschaalde amoëben. De beperkende groeifactoren door compactie zijn met name poriëngrootte en watergehalte van de bodem. Aangezien ciliaten over het algemeen groter zijn dan geschaalde amoëben was het effect het sterkst op de ciliaten (Foissner, 1999).

Toedienen van glucose

In verschillende onderzoeken wordt gekeken hoe de combinatie van het toedienen van glucose en nitraatstikstof van invloed is op de groei van gras. Het idee is dat door het toedienen van glucose, de bacterie- en schimmelpopulatie sterker gaat groeien waardoor de nitraatstikstof tijdelijk wordt vastgelegd in de microbiële biomassa (zie ook paragraaf 8.4). Door deze tijdelijke immobilisatie kan de nitraatstikstof moeilijker uitspoelen. Na begrazing van de microbiële biomassa door protozoën en nematoden komt deze stikstof dan weer langzaam vrij. In een experiment waar Engels raaigras de tijd kreeg om een redelijk wortelstelsel te vormen leidden het tegelijkertijd toedienen van glucose en nitraatstikstof na 28 dagen tot een hoger ruw eiwitgehalte in het gewas. Deze hogere stikstofopname door het gewas viel samen met een sterke toename van de amoebe populatie (Ritz en Griffiths, 1987).

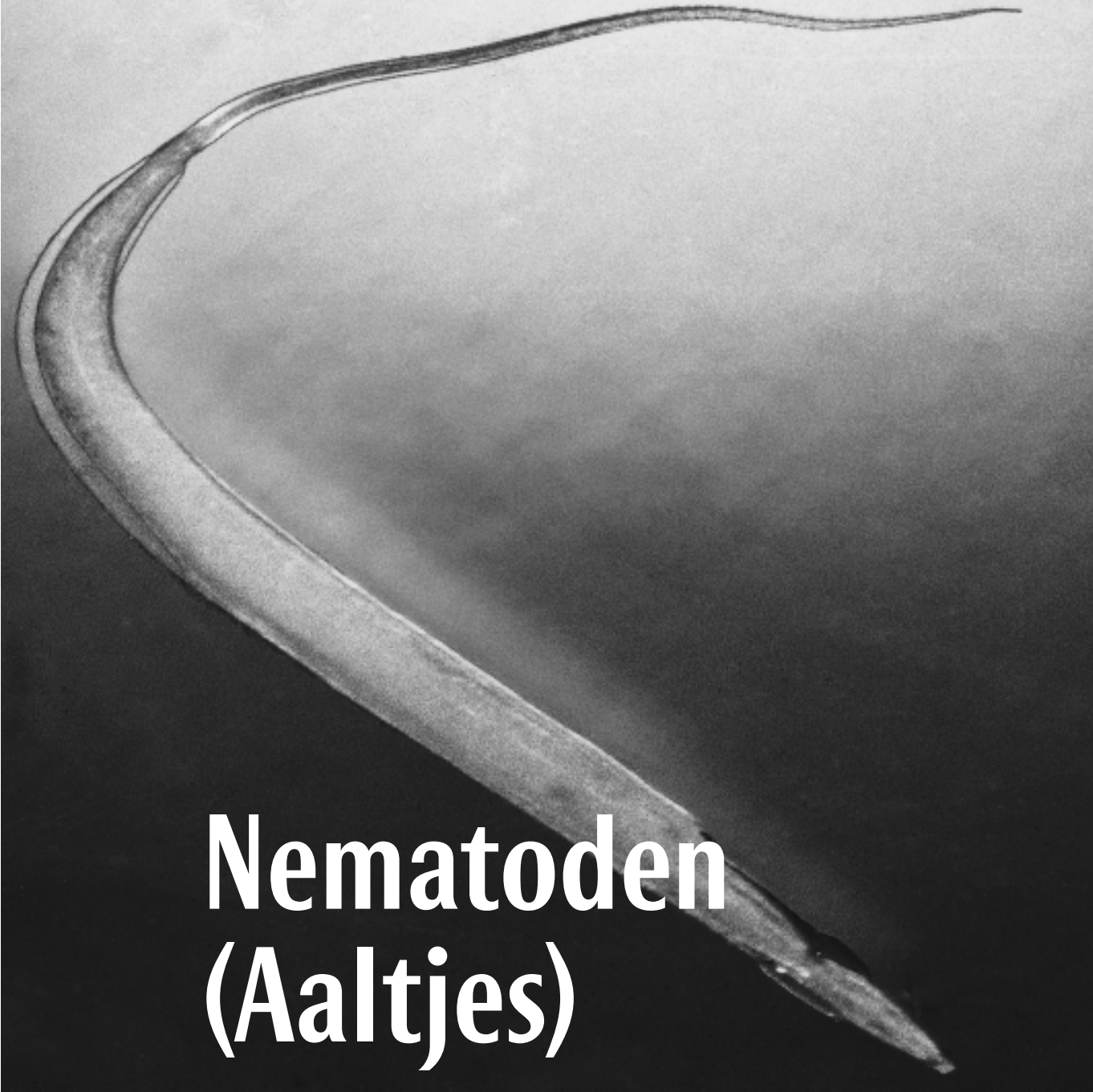
10.5 Meten en indicatorwaarde

Meten

Protozoën en cysten worden over het algemeen middels kweektechnieken geteld. Foissner (1999) benadrukt dat met deze kweektechniek de actieve protozoën worden overschat. Voor de actieve protozoën zijn volgens hem directe tellingen het meest betrouwbaar. Deze methode is echter niet bruikbaar voor naakte amoebe en flagellaten. Hiervoor dienen nog nieuwe methodes te worden ontwikkeld. Door het SFI worden metingen gedaan aan protozoën uitgedrukt in aantallen flagellaten, amoeben en ciliaten per gram grond.

Indicatorwaarde

Protozoën dragen circa 80% bij aan de totale begrazing van bacteriën en zijn en in die hoedanigheid essentieel voor het functioneren van het voedselweb. Daarnaast laten ze door hun snelle reactie op veranderingen in het systeem snel resultaat zien. Dit laatste is ook direct een beperking omdat de aantallen protozoën ook weinig constant zijn. Daarnaast is het moeilijk de verschillende soorten te identificeren en is over de identificatie weinig literatuur die toegankelijk is (Foissner, 1999). Voor een praktijk indicator lijken protozoën daarom minder geschikt.



Nematoden (Aaltjes)

- 11.1 Algemene beschrijving**
- 11.2 Diversiteit**
- 11.3 Functionaliteit**
- 11.4 Managementinvloed**
- 11.5 Meten en indicatorwaarde**
- 11.5 Meten en indicatorwaarde**
- 11.6 Onderzoeksvragen nematoden**

De functies van nematoden zijn:

1. Beschikbaar maken van nutriënten;
2. Regulatie van andere bodemorganismen met name bacteriën en schimmels;
3. Ziektevering.

11.2 Diversiteit

Aantallen

Door het BLGG is, in het zogenaamde BoBi-project, de nematodensamenstelling op verschillende biologische- en gangbare melkveebedrijven bepaald. In tabel 11.1 is te zien dat biologische melkveebedrijven op zowel zand als klei meer nematoden herbergen. Ook op biologische graslanden in Wales zijn hogere aantallen nematoden gevonden in vergelijking met gangbare percelen: 4369 nematoden/100 g grond tegen 2940 nematoden/100 g grond (Yeates e.a., 1997).

Soorten

In tabel 11.1 zijn de verschillende soorten ingedeeld in functionele groepen. Biologische bedrijven hebben meer nematoden, meer plantenetende nematoden en minder bacterie-etende nematoden dan gangbare bedrijven. Van Esbroek e.a. (1995) relateren dit voor een groot deel aan de intensiteit van bedrijven. In figuur 11.1 is een gegeneraliseerd beeld gemaakt van de waargenomen trends. Hoewel dit een aardig beeld geeft van het verloop van functionele groepen met intensiteit van de veebezetting moet hierbij in het achterhoofd worden gehouden dat intensiteit van bedrijven verweven is met verschillende andere bedrijfsomstandigheden. Zo hebben extensieve bedrijven op zand bijvoorbeeld minder bouwland of scheuren het grasland minder intensief. De invloed van deze factoren is nog niet ontfaeld.

Deze verschillen komen ook naar voren als bedrijven verder worden getypeerd in noordelijke extensieve bedrijven en zuid-oostelijke intensieve melkveebedrijven (zie tabel 11.2). In beide groepen hebben de biologische bedrijven een groter aandeel plantenetende nematoden en een lager aandeel bacterie-etende nematoden.

In het volgende zal meer specifiek worden ingegaan op verdeling van de functionele groepen over de verschillende melkveesystemen.

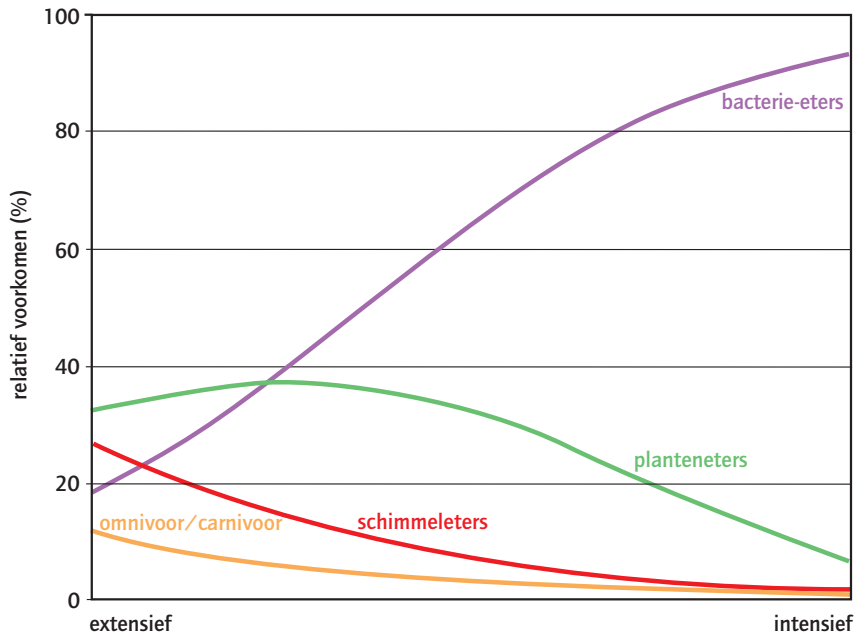
Tabel 11.1: Aantal nematoden en functionele groepen (excl. dauerlarven) op biologische- en gangbare melkveebedrijven (Schouten e.a., 2000; Schouten, 2000; Schouten e.a., 2002; Van Esbroek 1995).

Vrijlevende nematoden	Melkveehouderij Zandgrond				Melkveehouderij Zeeklei	
	Biologisch (n=10)	Gangbaar extensief (n=20)	Gangbaar intensief (n=20)	Gangbaar intensief + (n=20)	Biologisch (n=1)	Gangbaar (n=20)
Totaal per 100 g grond 0-10 cm	6061	5464	4487	4075	7570	4629
Plantenetende nematoden %	52	34 (42)	29 (28)	32 (22)	--	--
Bacterie-etende nematoden %	37	55 (53)	60 (70)	58 (74)	--	--
Schimmel-etende nematoden %	4	3 (3)	2 (2)	4 (2)	--	--
Roof nematoden %	1	2 (2)	2 (1)	2 (1)	--	--
Allesetende nematoden %	6	6 (0)	7 (0)	3 (0)	--	--
Totaal aantal soorten	36	34	32	31	36	26
Maturity Index	2,32	2,03	2,02	1,8	2,17	1,77

(...) Metingen landelijk meetnet 1993-94

n = aantal bedrijven bemonsterd

NB Het monster is een steekproef van gras- en bouwland op bedrijfsniveau.



Figuur 11.1: Verschuiving van de verdeling tussen voedselgroepen naar een monocultuur van bacterie-etters bij een toename van bemestingsintensiteit (Van Esbroek e.a., 1995).

Plantenetende nematoden

De hogere dichtheid aan planten-etende aaltjes op biologische bedrijven is in eerste instantie niet geheel in de lijn der verwachting. Intensievere veehouderijbedrijven hebben hoog productief grasland en zouden daarmee logischerwijs meer planten-etende nematoden kunnen herbergen. Er zijn de volgende verklaringen voor meer planten-etende nematoden op biologische bedrijven:

1. Monstername: De monsters zijn genomen uit een steekproef van gras- en bouwland op bedrijfsniveau. Intensieve bedrijven hebben hoogstwaarschijnlijk meer bouwland waar het aantal plantenetende nematoden lager is (zie tabel 11.6). Aan de andere kant laat de indeling in noordelijke- en zuidelijke bedrijven nog steeds hetzelfde beeld zien (zie tabel 11.2);
2. Wortelbiomassa: Op biologische- en extensieve bedrijven zijn er wellicht meer plantenparasieten-aaltjes omdat er meer wortelbiomassa is. Immers, hoe lager de stikstofbemesting, hoe meer wortelbiomassa (zie hoofdstuk 7: Beworteling);

Tabel 11.2: Aantal nematoden en functionele groepen (excl. dauerlarven) op biologische- en gangbare melkveebedrijven in Noord- en Zuid-Oost Nederland (gegevens uit Schouten 2002 en Schouten e.a. 2002).

Parameter	Noord extensief melkvee 100% grasland		Zuid-Oost intensief melkvee 75% grasland/25% bouwland	
	Biologisch (n=2)	VEL/VANLA (n=2)	Biologisch (n=4)	Koeien en Kansen (n=5)
Org. Stof %	11,5	7,9	5,2	4,9
P-AI	33	32	55	60
Nematoden per 100 g grond 0-10 cm	5621	6637	5875	3905
Plantenetende nematoden %	61	42	40	35
Bacterie-etende nematoden %	25	44	50	55
Schimmel-etende nematoden %	3	2	4	3
Roof nematoden %	3	4	1	3
Alles etende nematoden %	9	8	5	3

n = aantal bedrijven bemonsterd

NB Het monster is een steekproef van gras- en bouwland op bedrijfsniveau.

3. Botanische samenstelling: Door een bredere botanische samenstelling hebben biologische bedrijven een heterogener voedselaanbod (locatie en soort) voor planteneters (Schouten en Cook, mondelinge mededeling);
4. Klaver: De teelt van gras/klaver zou een verklaring kunnen zijn. Resultaten van een proef op Aver Heino laten echter het tegendeel zien (zie tabel 11.3). In vergelijking tot gras heeft gras/klaver bij gelijkblijvende bemesting significant minder plantenetende aaltjes (Van Baal en Bezooijen, 2000). Dit zou juist een gevolg kunnen zijn van de kleinere wortelmasse van klaver (Tisdal en Oades, 1979). De toepassing van klaver is dus geen verklaring voor het hogere aantal plantenetende nematoden op biologische bedrijven. Het gras/klaver-systeem is mogelijk wel van invloed op de totale dichtheid aan nematoden. In dezelfde proef op Aver Heino is het totale aantal nematoden juist hoger bij gras/klaver. Dit is echter niet significant.
5. Soorten: De laatste verklaring voor het grotere aandeel plantenetende aaltjes zit hem vooral in de voorkomende soorten. Op biologische bedrijven zijn ectoparasieten aaltjes (o.a. *Dolichodoridae*) en 'wortelhaar-prikkers' (o.a. *Tylenchidae*) het meest dominant. *Tylenchidae* worden gedeeltelijk onterecht tot de planteneters gerekend omdat ze naast wortelharen hoogstwaarschijnlijk ook schimmeldraden eten. In werkelijkheid zou het aantal schimmeletende aaltjes op biologische bedrijven dus groter kunnen zijn en het aantal plantenetende aaltjes lager (Schouten e.a., 2002).

Tabel 11.3: Vrijlevende nematoden en klavercysten onder gras en gras/klaver (Van Baal en Bezooijen, 2000)

Nematoden	Parameter	Gras/klaver	Gras
Vrijlevende nematoden	Totaal aantal/100 g grond	8707	7548
	Plantenetende nematoden	970 (11%)	1345 (18%)
Klavercystenaaltje	Klavercysten/100 g grond	55	20
	Larven/eieren per cyst	37	46

Bacterie-etende aaltjes

Meer bacterie-eters op gangbare bedrijven is op zich logisch. Een groot deel van de bacterie-etende nematoden vallen onder de zogenaamde vermestingindicator (cp-1). Dit zijn bacterie-etende nematoden met een zeer korte generatietijd (ca 3-5 dagen). Ze vormen alleen hoge aantallen in aanwezigheid van zeer hoge dichtheden van bacteriën. Een hoge veedichtheid betekent meer mest, meer makkelijk afbreekbare organische stof, meer bacteriën en daardoor een reactie van bacterie-etende nematoden. Het aantal bacterie-etende aaltjes (excl. dauerlarve), die tot de vermestingindicator worden gerekend, waren op biologische melkveebedrijven op zand 382 nematoden/100 g grond tegen 927 en 730 nematoden/100 g grond op gangbare extensieve- en intensieve bedrijven (Schouten e.a., 2002). De lagere vermestingindicator voor biologisch grasland kan indicatief zijn voor een hogere efficiëntie van het nutriëntengebruik van deze bodems (Ettema en Bongers, 1993).

Schimmeletende aaltjes

In absolute zin is het aantal schimmeletende nematoden, in het BoBi-project, hoger op biologische bedrijven. Met een andere onderverdeling van de *Tylenchidea* in plantparasieten- en schimmeletende nematoden zou dit verschil nog groter zijn. Yeates e.a. (1997) laten in hun vergelijking van biologische- en gangbare graslanden in Wales ook een stijging van het aantal schimmeletende nematoden zien (tabel 11.4).

Maturity Index

In de tabellen 11.1 en 11.4 is naast het aantal soorten nematoden ook de "Maturity Index" weergegeven. Dit is een bodemkwaliteitsindex die wordt bepaald op basis van de overlevingsstrategieën van de niet-plantenetende nematoden. Het kan worden gezien als een maat voor de stabiliteit van het systeem. Des te hoger de "Maturity Index" des te stabiel het systeem. In zowel het onderzoek in Wales als van het BoBi-project is de "Maturity Index" hoger op de biologische bedrijven. Een mogelijke verklaring hiervoor is het hogere organische stofgehalte op de biologische bedrijven in het BoBi-project. De

Tabel 11.4: Aantal nematoden en functionele groepen onder biologisch- en gangbaar grasland (Yeates e.a., 1997).

Vrijlevende nematoden	Biologisch (n=3)	Gangbaar (n=3)
Totaal per 100 g grond 0-7,5 cm	4360	2940
Bacterie-etende nematoden %	25	27
Plantenetende nematoden %	58	59
Schimmeletende nematoden %	13	8
Roof nematoden %	0	2
Allesetende nematoden %	4	4
Totaal aantal soorten	29	27
Maturity Index	2,6	2,4

Goede en Brussaard (2001b) vonden in het VEL/VANLA-project op zandgrond een relatie tussen "Maturity Index" en organische stofgehalte. Een hoger organische stofgehalte kan weer wijzen op ouder grasland of in ieder geval minder verstoorde gronden.

11.3 Functionaliteit

11.3.1 Positief

Regulatie bodemvoedselweb

Voor de meeste bodemdieren is er een expliciete functie te omschrijven. Voor nematoden ligt dit echter anders. Behalve talrijk zijn ze ook soortenrijk en spelen ze op een aantal plekken in het bodemvoedselweb een rol (zie figuur 2.2 in hoofdstuk 2). Hiermee hebben nematoden een belangrijke regulerende functie in het bodemecosysteem.

Beschikbaar maken van nutriënten

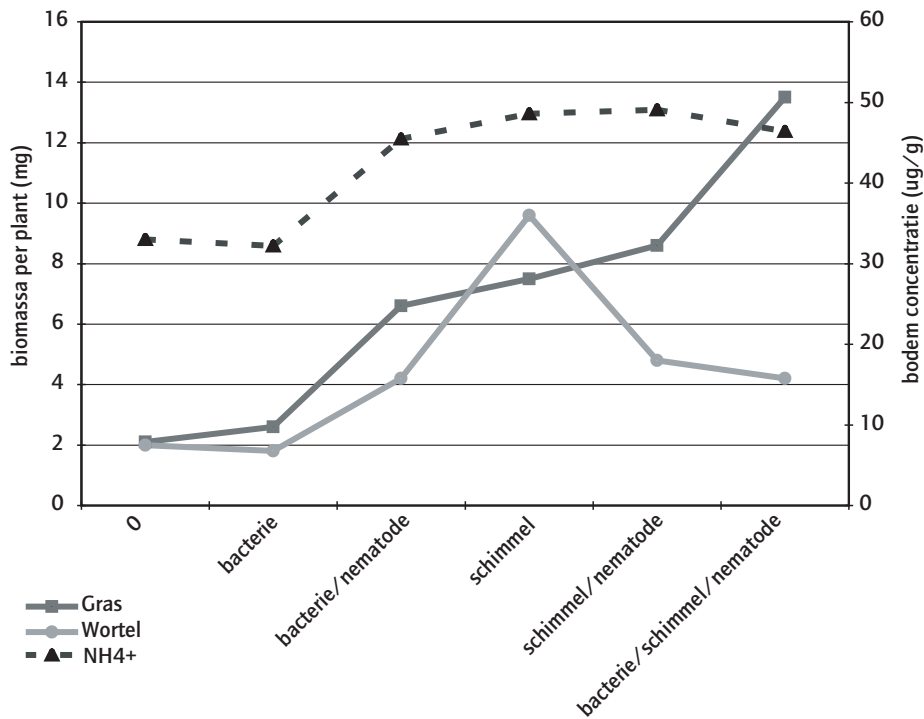
Net als protozoën spelen nematoden een belangrijke rol in het vrijmaken van nutriënten zoals stikstof en fosfor. Nutriënten komen bijvoorbeeld vrij als "afvalstoffen" bij het grazen van nematoden op bacteriën. De geconsumeerde koolstof en stikstof van de gegeten bacteriën wordt door de nematoden gebruikt voor onderhoud en groei. De rest wordt gebruikt voor de stofwisseling en komt als "afvalstof" c.q. voedingsstof vrij voor de plant. Hetzelfde gebeurt bij schimmeletende nematoden en roofaaltjes. Baars (2000) geeft aan dat de stikstofvoorziening van landbouwgewassen voor 30-50% uit deze interactie afkomstig is. In figuur 11.2 is het effect te zien van bacterie- of schimmeletende nematoden op de ammoniumconcentratie in de bodem en de groeisnelheid van een gewas. Het zijn de resultaten van een potproef met gras, waarbij onderscheid is gemaakt in behandelingen met en zonder inoculum van bacteriën en schimmels.

Ziektewering

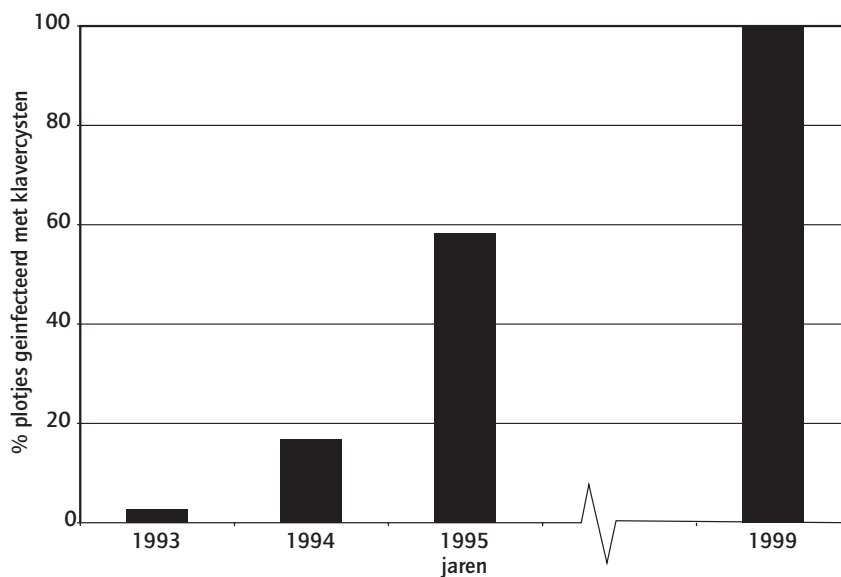
Behalve voedingsbron voor andere bodembewoners zijn nematoden ook consumenten van ziekteverwekkers. Schimmeletende nematoden worden bijvoorbeeld ingezet om parasitaire schimmels te bestrijden (Bongers, 1988). Het product "Nemaslug" is misschien in potentie interessant voor de veehouderij. In dit product zitten aaltjes die een bacterie verspreiden waaraan naaktslakken te gronde gaan (Oogst, 2002). Op golfbanen wordt wel gebruik gemaakt van aaltjes om engerlingen te beheersen. Hier ook verspreidt het aaltje bacteriën waar de engerling aan dood gaat (www.koppert.nl).

11.3.2 Negatief

In een hoofdstuk over de positieve aspecten van nematoden in de bodem moeten ook de plantparasitaire aaltjes aan bod komen. Voor de biologische melkveehouderij is met name het klavercystenaaltje (*Heterodera trifolii*) belangrijk. Baars (2002) heeft aangetoond dat een gras/klaver op zand in de loop van de jaren een besmetting met het klavercystenaaltje opbouwt (zie figuur 9.3).



Figuur 11.2: Ammoniumconcentratie en bovengrondse- en ondergrondse productie met en zonder inoculatie van bacterieën, schimmels en/of nematoden (Ingham e.a., 1985)



Figuur 11.3: Percentage van proefveldjes op zand, geïnfecteerd met klavercystenaaltje (Baars, 2002)

Voor de schade van een klavercystenaaltje aan klaver moet onderscheid worden gemaakt in twee groeifases van klaver:

- 1) Vestigingsfase (van kieming tot de vorming van de eerste stolon);
- 2) Kolonisatie fase (van stolonenvorming tot kolonisatie van het perceel) (Plowright, 1985).

Ad 1) In de vestigingsfase kunnen kiemplantjes grote schade ondervinden. In Engels onderzoek wordt de schadedrempel bij 2000 eieren/100 g grond gelegd. Bij meer dan 4000 eieren/100 g sterven de klaverkiemplantjes af (Plowright, 1985). In onderzoek op Aver Heino varieerde de infectiedruk in gras/klaver van 1200-1700 eieren/100 g grond (Baars, 2002). Bij het scheuren en herinzaaien van een dergelijke gras/klaver zullen de kiemplantjes schade ondervinden maar niet afsterven.

Ad 2) Schade aan een klaver die zich goed gevestigd heeft treedt in het algemeen op bij hoge klaver-aandelen met een goede verdeling over het perceel (Plowright, 1985). Dit wordt ook gevonden door Baars (2002) die een negatieve trend vond tussen de droge stof productie van klaver en het aantal klavercysten/ 100 g grond. Op een praktijkperceel, met al 10 jaar hoge klaveraandelen, kon een abrupte terugval van klaver ook gerelateerd worden aan een hoge klavercystenbesmetting. In oudere graslanden kan schade van het klavercystenaaltje zichtbaar worden aan de zogenaamde heksenkringen van klaver. In het centrum van de heksenkring is de klaver volledig verdwenen door aantasting van het klavercystenaaltje. Op de randen is de klaver nog niet besmet en probeert Witte klaver met stolonen het klavercystenaaltje te ontvluchten.

11.4 Managementinvloed

Bodemvruchtbaarheid

Bongers (1988) geeft aan dat naast voedselaanbod de poriëngrootte in de grond sterk bepalend is voor het al dan niet voorkomen van nematoden. Er is veel bekend welke nematoden op welke grondsoort voorkomen. Het zou interessant zijn om te kunnen aanwijzen welke nematoden bij een verbetering van de structuur juist toenemen. Naast fysieke bodemvruchtbaarheid worden nematoden beïnvloed door chemische bodemvruchtbaarheidparameters zoals pH (Mulder e.a., 2003).

Intensiteit grasland en botanische samenstelling

In paragraaf 11.2 is al uitgebreid ingegaan op de verschuiving van functionele groepen bij intensief- en extensief grasland. Algemeen kan er gesteld worden dat het aandeel bacterie-etters en opportunistische soorten toeneemt bij intensiever grasland en planteters toenemen bij extensief grasland. Het aandeel van de schimmeleters is zowel bij intensief als extensief grasland laag maar neemt iets toe bij extensivering.

De nematodensamenstelling wordt ook direct en indirect beïnvloed door de botanische samenstelling. Direct, doordat de verschillende plantetende nematoden zich met specifieke planten voeden. Indirect, doordat de botanische samenstelling een invloed heeft op bacteriën en schimmels, die het voedsel vormen voor nematoden (zie hoofdstuk 8: Bacteriën en schimmels). Daarnaast hebben plantenetende nematoden ook weer invloed op de botanische samenstelling. In Nederland wordt in natuurgebieden veel onderzoek gedaan naar de interactie tussen botanische samenstelling en nematoden. In onderzoek van Verschoor, in het natuurgebied de Drentse Aa, bleken aaltjes de concurrentiepositie van Witbol te verzwakken ten opzichte van Reukgras. Korthals en Van der Putten (2001) relateerden in potproeven met landbouwgrond, het terugvallen van plantensoorten (waaronder Engels raaigras) aan relatief hoge aantallen plantparasitaire nematoden, met name *Paratylenchus*.

Het al dan niet aanwezig zijn van plantenetende aaltjes of klavercysten kan een verklaring zijn voor de verstoring van het evenwicht tussen gras en klaver bij een herinzaai na een gras of gras/klaverzode.

Bemesting en mestsoort

In een bemestingsproef op Aver Heino zijn drie mestsoorten met elkaar vergeleken op gras en gras/klaver (Baars, 2002). De resultaten van het aaltjesonderzoek in deze proef laten zien dat 7 jaar bemesting met vaste mest het hoogste totaal aantal vrijlevende aaltjes geeft (zie tabel 11.5). Over het algemeen is het aandeel plantenetters opvallend klein in vergelijking met gegevens over andere graslanden (zie tabel 11.1). In deze proef is het percentage plantenetters gemiddeld het hoogst bij vaste mest. Van de plantenetende aaltjes is bovendien het aandeel van de schadelijke soorten zoals *Pratylenchus* en *Paratylenchus* laag, maar er komen juist veel *Tylenchidae* voor. Deze *Tylenchidae* zijn gedeeltelijk onterecht bij de plantenetters gerekend en zouden hoogstwaarschijnlijk beter passen bij de schimmeleters (zie ook paragraaf 11.2).

Het aantal klavercysten ligt ver beneden de schadedrempel en is het laagste bij het gebruik van organische mest (drijfmest en vaste mest). Het aantal larven/eieren per cyst is daarentegen bij organische

mest weer hoger, zodat het totaal aantal eieren bij drijfmest uiteindelijk het laagste is. Dit is logisch omdat deze behandeling ook het laagste klaveraandeel heeft en geeft daarmee het minst bestaansrecht voor het klavercystenaaltje.

Tabel 11.5: Effect van mestsoort op vrijlevende nematoden en klavercystenpopulatie (Van Baal en Bezooijen, 2000)

Nematoden	Parameter	P+K	Drijfmest	Vaste Mest
Vrijlevende nematoden	Totaal aantal/100g	8960	10048	10675
	Plantenetende nematoden	923 (10%)	998 (10%)	1442 (14%)
	Rest post plantenetende nematoden met name <i>Tylenchidae</i>	245	448	593
	<i>Pratylenchus</i>	16	15	5
	<i>Paratylenchus</i>	103	85	45
	Klavercystenaaltje	Totaal aantal/100 g	58	31
	Larven/eieren per cyst	31	41	51

Toevoegmiddelen en mesttoedieningstechniek

Onderzoek naar toevoegmiddelen en bemestingsystemen op 12 VEL/VANLA-bedrijven heeft laten zien dat de vermestingsindicator (cp-1) van nematoden lager is op bedrijven die Euromestmix gebruiken. De vermestingsindicator voor de bedrijven met Euromestmix was 331 aaltjes/ 100 g grond, tegen 835 aaltjes/100 g grond op bedrijven zonder toevoegmiddelen. Aangezien de vier bedrijven die Euromestmix gebruiken bovengronds uitrijden kan dat gerelateerd zijn aan mesttoedieningstechniek. Het lijkt logisch dat er met bovengronds uitrijden minder minerale stikstof in de bodem terecht komt en er dus minder voedsel beschikbaar is voor bacteriën en daarmee voor bacterie-etende nematoden. Ook werden bij de bedrijven die bovengronds uitrijden meer plantenetende aaltjes gevonden. Onder de plantenetende aaltjes werd de grootste dichtheid wortelhaarzuigers (waaronder de *Tylenchidae*) gevonden bij bedrijven met de laagste stikstofgift (De Goede en Brussaard, 2001b). Hier lijkt zich een parallel af te tekenen met het onderzoek op biologische bedrijven en het gebruik van vaste mest.

In een bemestingsproef van VEL/VANLA naar toevoegmiddelen en bemestingsystemen op twee bedrijven, was de vermestingsindicator (cp1-groep) in de velden met zodebemesting en Effectieve Micro-organisme (EM) het hoogste. Ook had EM een positief effect op het totale aantal bacterie-etende nematoden. Kunstmest en mestaanwending hadden dit effect niet. Bovengronds uitrijden zonder EM gaf de laagste indicatie voor effecten van vermesting in de bodem (De Goede en Brussaard, 2001a).

Graslandgebruik

In verschillende onderzoeken wordt aangegeven dat het stoppen van begrazing leidt tot lagere aantallen nematoden en met name lagere aantallen bacterie-etende nematoden (Bardgett e.a., 1997; Freckman e.a., 1979). Verklaringen hiervoor zijn veranderingen in het voedselaanbod voor nematoden uit micro-organismen, minder wortelbiomassa en geen mest- en urineplekken. Onderzoek aan prairiegraslanden in Noord-Amerika toonde een relatie aan tussen het herstel van wortelreserves van grassen en het aantal worletekende nematoden (Ingham en Detling, 1984). Zonder begrazing (maaien of weiden) sterft het wortelstelsel van prairiegrassen simpelweg af door een suboptimale fotosynthese. Minder wortelbiomassa betekent een lager voedselaanbod voor plantenetende nematoden. Hiermee lijkt zich de trend af te tekenen dat het aantal plantenetende nematoden toeneemt bij een hogere wortelbiomassa. Dat zou kortweg kunnen betekenen dat een hoog aandeel worletekende aaltjes een indicator is voor een hogere wortelbiomassa.

Grondbewerking en vruchtwisseling

Grondbewerking heeft indirect invloed op aaltjes door veranderingen in bodemtemperatuur en vocht. In ongestoorde bodems worden de meeste aaltjes in de bovenste 10 cm gevonden, waar ook het meeste voedsel is (wortelharen, wortellexudaten en dood organisch materiaal). In tabel 11.6 is het verschil te zien tussen het aantal vrijlevende aaltjes bij 3 landgebruikssystemen, namelijk; 36 jaar oud grasland, vruchtwisseling van 3 jaar gras/klaver → 3 jaar voedergewassen, en 36 jaar continueelt bouwland. Het is duidelijk te zien dat de aantallen nematoden onder het 36 jaar oud grasland het hoogste zijn en op het 36 jaar bouwland het laagste. De percelen met vruchtwisseling zitten hier tussen in. Daarnaast is te zien dat plantenetende nematoden zich concentreren op grasland en de bacterie-etende nematoden op bouwland.

In deze proef is klavercystenpopulatie gemiddeld genomen laag (zie tabel 11.6). Logischerwijs zijn op het 36 jaar oude bouwland geen klavercysten aanwezig. Op het 36 jaar oude grasland met een laag klaveraandeel is de besmetting ook laag. Interessant zijn de percelen in vruchtwisseling. Cook (mondelinge mededeling) geeft aan dat een aantal maanden braak of een voedergewas, een klavercystenpopulatie terug kunnen brengen tot een veilige waarde. Op beide vruchtwisselingspercelen in België is de besmetting weliswaar laag maar is de besmetting het hoogste in de behandeling waarbij het 1^e jaar bouwland is na 3 jaar gras/klaver. In deze behandeling is 6 maanden voor monsternamen de gras/klaver gefreesd en is 1 seizoen snijmaïs geteeld. Schijnbaar is 6 maanden niet genoeg om de besmetting tot 0 te reduceren. De tegengestelde behandeling waar juist sinds 6 maanden weer gras/klaver groeit na 3 jaar snijmaïs heeft wel een klavercystenpopulatie die tot bijna 0 is teruggebracht. Hieruit kan geconcludeerd worden dat 6 maanden tussenteelt nog niet genoeg is om de klavercystenpopulatie tot 0 te reduceren maar 3 jaar wel.

Tabel 11.6: Vrijlevende nematoden, functionele groepen (excl.dauerlarven) en klavercystenaaltjes in de laag 0-10 cm op een zanderige-leemgrond onder drie landgebruiktypes (Reheul, Nevens en Bommelé, ongepubliceerde data Universiteit van Gent).

Nematoden	Parameter	36 jaar oud grasland	1 ^e jaar gras/klaver na 3 jaar	1 ^e jaar bouwland na 3 jaar gras/klaver	36 jaar oud bouwland
Vrijlevende nematoden	Totaal aantal/100 g grond	6278	5007	5248	3648
	Plantenetende nematoden %	63	59	34	40%
	Bacterie-etende nematoden %	26	32	64	50%
Klavercystenaaltje	Klavercysten/100 g grond	3	3	41	0
	Aantal levende cysten	1	2	12	0
	Aantal larven	20	55	355	0
	Besmetting gemeten op wortels	Geen/Licht	Licht/Geen	Licht/Matig	Geen

Klaversoort en klaverras keuze

In principe zijn Witte- en Rode klaver gastheer voor hetzelfde klavercystenaaltje. Rode klaver heeft van nature wel meer de mogelijkheid om een resistentie te ontwikkelen tegen het klavercystenaaltje. Een verklaring hiervoor kan zijn dat Witte klaver door de vorming van stolonen makkelijker kan ontsnappen aan een klavercystenbesmetting dan Rode klaver (Plowright, 1985). Zowel van Rode- en Witte klaver bestaan rassen die meer resistent zijn tegen klavercystenaaltje. Er zijn echter geen resistente rassen commercieel beschikbaar (Cook, mondelinge mededeling). Blijkbaar is het probleem niet zo groot dat hiervoor een noodzaak bestaat.



Foto: Rode klaver heeft van nature meer de mogelijkheid een resistentie te ontwikkelen tegen het klavercystenaaltje.

11.5 Meten en indicatorwaarde

Metten vrijlevende nematoden

Het aantal vrijlevende nematoden kan standaard bij verschillende commerciële laboratoria worden bepaald. Daarnaast kunnen ze worden gedetermineerd tot geslacht of soort. In de procedure van determinatie kunnen de laboratoria verschillen. BLGG determineert bijvoorbeeld 100 nematoden per monster terwijl het Soil Foodweb Inc. er maar 40 determineert. Bemonstering van nematoden kan eventueel gecombineerd worden met de monsternamen voor een standaard chemische analyse voor grasland (0-10 cm).

Metten klavercystenaaltje

Onderzoek naar klavercysten kan ook in grondmonsters worden uitgevoerd. Bij een goede verdeling van de klaver zal dit een goed beeld geven van de klavercystenbezetting omdat zich overal wel wortels van klaver bevinden met de klavercystenaaltjes er omheen. De vraag is of dit ook een betrouwbaar beeld geeft bij een lager klaveraandeel of een onevenwichtige verdeling van de klaver. In dat geval zou het gericht bemonsteren van de wortels van klaverplantjes een betere indruk kunnen geven van de besmetting. Bij de Plantenziektkundige Dienst kunnen klaverwortels worden onderzocht op klavercystenbesmetting, uitgedrukt in larven, volwassen vrouwtjes en eieren per gram wortels. Yeates (1976) kleurde in zijn onderzoek klaverwortels met gekookt 0,1% lactophenol blue. Hierna werden de klavercysten, larven en witte vrouwtjes in de wortels geteld en uitgedrukt per 10 g wortels.

Indicatorwaarde

Door hun nauwe verstrengeling met het overige bodemvoedselweb kunnen nematoden een goede indicator zijn voor de bodemkwaliteit. Doordat het primaire- of secundaire consumenten zijn in het voedselweb reageren ze net iets minder gevoelig op veranderingen dan bijvoorbeeld bacterie- en schimmelpopulaties (Baars, 2000). Voor de interpretatie zijn allerlei indelingen te maken naar voedselbehoefte, "colonizer-persister (cp) scale" en afgeleiden zoals de "Maturity Index". Interessant zijn ook de laatste ontwikkelingen van de indeling in functionele groepen die iets zeggen over voedselrijkdom en structuur van het voedselweb (Ferris e.a., 2001). Voor een indicatie van het functioneren van het bodemvoedselweb lijkt de analyse van nematoden dan ook het meest praktijkrijp en betaalbaar. Naast de analyse zouden commerciële labs zich ook verder moeten verdiepen in de interpretatie van de gegevens zodat op het uitslagformulier bijvoorbeeld de index van de structuur en voedselrijkdom van het voedselweb al zijn weergegeven.

11.6 Onderzoeksvragen nematoden

Met betrekking tot onderzoek liggen er drie vragen:

1. In de volgende situaties gaat een hoger totaal aantal nematoden samen met een hogere "Maturity Index", een hoger aantal plantenetende nematoden en een hoger aantal wortelhaarprikkers (o.a. *Tylenchidae*); biologische bedrijven, gras/klaverpercelen bemest met vaste mest en gangbare melkveebedrijven met specifieke technieken om mest te gebruiken (Euromestmix en bovengronds uitrijden). Dit zou er op kunnen wijzen dat de 'schimmel-afbraakroute' zich beter ontwikkelt in deze bodems of simpelweg een relatie aangeven met wortelmassa. Het hoe en waarom achter dit fenomeen moet verder worden onderzocht.
2. Daarnaast is het noodzakelijk om het verschil in vrijlevende nematoden onder gras en gras/klaver verder te onderzoeken. Bioveembedrijven en de bemestingsproef op Aver Heino lenen zich er goed voor om de relatie tussen botanische samenstelling en de nematodensamenstelling verder uit te diepen.
3. De schade van het klavercystenaaltje valt vooralsnog mee op de onderzochte bedrijven en veldproeven. Het is echter wel belangrijk om een algemene indruk te krijgen van de besmetting op gras/klaverpercelen en wat hiervan de consequenties kunnen zijn. Het verloop van de klavercystenpopulatie in de vruchtwisselingproef in Gent moet daarvoor verder worden gevolgd.



Regenwormen

- 12.1 Algemene beschrijving**
- 12.2 Diversiteit**
- 12.3 Functionaliteit**
- 12.4 Managementinvloed**
- 12.5 Meten en indicatorwaarde**
- 12.6 Onderzoeksvragen**



12 Regenwormen

12.1 Algemene beschrijving

Regenwormen zijn tweeslachtige dieren die zich door middel van eieren in cocons vermeerderen.

De wormenactiviteit hangt samen met vocht en temperatuur, waarbij de activiteit bij 10-20 °C maximaal is. Wormen bestaan voor 65 tot 90 % uit water en houden van een vochtige bodem. Als de grond droger wordt zoekt de worm diepere grondlagen op, gaat in rustperiode/winterslaap of gaat dood. In het voor- en najaar is er de meeste wormenactiviteit.

De belangrijkste vijanden van regenwormen zijn mollen en vogels. Een mol vangt per jaar 45-50 kg wormen voor zijn levensonderhoud (Doeksen, 1957). Vogels als meeuwen en merels maken stampende bewegingen om wormen naar boven te krijgen.

In Nederland komen 18 soorten wormen voor waarvan er 5 het meeste voorkomen onder grasland (zie kader). Wormen laten zich onderverdelen in 3 groepen (zie tabel 12.1).

Tabel 12.1: Onderverdeling van regenwormen in 3 groepen

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

Herkenning

De strooiselbewoners leven in de bovenste laag van de zode. Doordat ze veel boven de grond komen en in contact met zonlicht staan, zijn ze door pigmentvorming rood van kleur. Ze zijn zeer beweeglijk - om te kunnen ontsnappen aan gevaren in de bovenste grondlaag - en kunnen zich snel vermeerderen. Tegenover de strooiselbewoners staan de bodembewoners die juist onder de grond leven, geen pigment nodig hebben en grauw van kleur zijn. Dieper in de grond zijn deze wormen minder gevoelig voor gevaren waardoor ze minder beweeglijk zijn en zich minder snel voortplanten. Pendelaars zijn de grootste wormen. Deze hebben vaak een rode kop (waarmee ze boven komen), zijn roze van kleur aan de achterkant en hebben vaak een platte staart. Ze leven in verticale gangen tot wel 3 meter diep. Vooral de grondwaterstand bepaalt de diepte waarin ze voorkomen (*Lumbricus terrestris*).

Voedselbehoefte

Strooiselbewoners leven van grof, vers, organisch materiaal (mest en plantenresten). Bodembewoners leven van het kleiner en makkelijk verteerbaar organisch materiaal (dat al meer verteerd is) en eten zich als het ware door de grond. Pendelaars trekken grof organisch materiaal hun verticale gang in waarin het door slijmuitscheiding nat wordt gemaakt. Hierdoor is het een makkelijke energiebron voor bacteriën en schimmels, die het als het ware voorverteren. Vergelijk het met de pens van de koe maar dan buiten de worm (Schouten e.a., 2000).

Functie van de groepen

Iedere groep heeft weer een andere invloed op de bodem. De strooiselbewoners en pendelaars (rood/roze wormen) breken mest en plantenresten af en produceren daarbij voedingsstoffen. Ook voorkomen ze ophoping van organisch materiaal, zoals bij vervilting van de graszode. De bodembewoners



Foto: Pendelaar trekt bladeren, bladstengels en zaadlobben zijn verticale gang in

(grijsbruine wormen) mengen al etend de bodemdeeltjes en bevorderen zo de bodemstructuur. Doordat ze humus aan klei binden en daarmee stabiele humus vormen bevorderen ze de bodemvruchtbaarheid ook op lange termijn. De pendelaars dragen met hun verticale gangen bij aan een goede bodemstructuur. Wanneer er een verdichte laag onder de bouwvoor aanwezig is kunnen zij deze doorbreken. Enerzijds kunnen de wortels door deze gangen weer naar diepere lagen, anderzijds kan er zo ook lucht in de ondergrond komen en kan overtollig regenwater snel afgevoerd worden zonder daarbij veel voedingsstoffen mee te nemen.

Meest voorkomende wormensoorten onder grasland in Nederland

Strooiselbewoners

Lumbricus rubellus

Deze worm komt samen met de bodembewoner, *Aporrectodea calliginosa*, onder praktisch alle omstandigheden voor. Hij heeft voorkeur voor met name vochtige gronden met een hoog organische stofgehalte en een pH van 3,5-8,4. Gewoonlijk hopen deze wormen zich op onder mestplekken in weilanden.



Bodembewoners

Aporrectodea calliginosa (grijs van kleur)

Deze worm komt in alle cultuurgronden voor, uitgezonderd droge zandgronden. Het is bij uitstek een structuurverbeteraar en door zijn veelvuldig voorkomen één van de belangrijkste soorten. Kleine individuen komen voor in de bovenste 7 cm van de bodem, grotere individuen tot 40 cm diepte. *Aporrectodea* heeft een snelle reproductie en een gevarieerde voedselkeuze. Hij is hiermee een opportunist die zich snel aan situaties kan aanpassen. Dit is dan ook de soort die problemen veroorzaakt met kluitvorming op aardappelland in onder meer de Flevopolder.



Allolobophora chlorotica (groen/bruin)

Deze worm komt voor in alle vochtige cultuurgronden (bovenste 40 cm). Als bodembewoner is het een structuurverbeteraar. In de bodem is hij meestal binnen 40 cm van de bodemoppervlakte aanwezig of in de buurt van plantenwortels. De gewenste pH is 4,5-8,2.

Pendelaars

Lumbricus terrestris

Dit is in ons land de grootste en sterkste worm, die verticale gangen graaft in gronden met een ongestoord profiel en lage grondwaterstand tot 3 m diepte. Hij begunstigt de drainage en de luchtcirculatie, komt onder vochtige omstandigheden 's nachts aan de oppervlakte, waar hij zich over grote afstanden kan verplaatsen (circa 10 meter). Hij komt voor op zand, zavel en kleigronden, eet vooral plantenresten en staat bekend om zijn half in de grond getrokken bladeren.



Aporrectodea longa

Deze worm staat bij hengelaars ook wel bekend als blauwkop. Hij komt vooral in grasland voor met een lage grondwaterstand, speciaal met leemachtige of kalkhoudende bodems. De dieren kunnen permanente gangen graven tot een diepte van 40-60 cm en hun aanwezigheid wordt aangeduid door stevige hoopjes uitwerpselen die bestaan uit afvalvoedsel en grond, die opgehoopt wordt rond de ingang van de gangen (Doeksen, 1957). De *Aporrectodea longa* komt over het algemeen minder voor dan de *Lumbricus terrestris*.

12.2 Diversiteit

Aantallen

Cijfers van wormenaantallen in een graszode variëren van 0-900 wormen/m² (Doeksen, 1957; Van Rhee, 1970). Recentere cijfers van wormenaantallen onder graslanden op melkveebedrijven zijn op een rij gezet in tabel 12.2. Metingen zijn gedaan in het kader van het BoBi-project door middel van het steken van plaggen tot een diepte van 15 cm.

Tabel 12.2: Aantal en soorten regenwormen op biologische- en gangbare melkveebedrijven (Schouten e.a., 2000; Schouten, 2000; Schouten e.a., 2002; Schouten, 2002)

	Melkveebedrijven	n=.	Datum	Soorten	Aantal ../m ²	Strooisel bewoners %	Bodem bewoners %	Gewicht kg/ha
Klei	Biologisch	1	11-97	5	1123	--	--	1770
	Gangbaar	20	06-97	3,2	318	--	--	700
	Gangbaar FIR	3	05-00	4,7	709	--	--	930
Zand	Biologisch	10	06-99	3,1	246	48	52	420
	Gangbaar ext.	19	06-99	2,5	148	45	55	380
	Gangbaar int.	20	06-99	2,2	130	38	62	430
	Gangbaar int+	20	05-00	2,9	182	--	--	460
	Koeien en Kansen	5	05-00	2,4	201	--	--	560
	VEL/VANLA	2	05-00	4	287	--	--	550
	Bos	20	06-99	0,7	9	--	--	10

n= aantal bedrijven

NB Het monster is een steekproef van het grasland op bedrijfsniveau.

Het aantal wormen in het BoBi-project fluctueert van 130-1123 wormen/m². De aantallen wormen gevonden op klei waren hoger in vergelijking met zandgrond. Van Rhee (1970) geeft ook aan dat op zandgrond over het algemeen minder wormen worden gevonden. In het VEL/VANLA-project is op lemige zandgrond het aantal wormen over het algemeen hoger dan in leemarme grond. Dit geldt met name voor de groep van de bodembewoners. Binnen elke leemklasse werd vastgesteld dat het aantal regenwormen afneemt als de grondwatertrap hoger wordt en de grond droger. Het hoogste aantal wormen werd aangetroffen op bedrijven met grondwatertrap V, 778/m². Op bedrijven met grondwatertrappen VI en VII kwamen respectievelijk 403 en 490 regenwormen per m² voor (De Goede en Brussaard, 2001b).

Soorten

In tabel 12.2 is het aantal soorten wormen aangegeven. Gemiddeld komen er op een melkveebedrijf 2 tot 5 soorten wormen voor. Net zoals bij aantallen regenwormen komen op klei meer soorten wormen voor in vergelijking met zand. Zowel op klei als zand scoren de biologische bedrijven hoger. In een vergelijking van het aantal regenwormen op een proefbedrijf in Schotland tussen een biologisch- en een gangbaar veehouderijsysteem werd na 8 jaar alleen een significant verschil gevonden in het aantal jonge *Lumbricus* soorten (Younie en Armstrong, ongepubliceerde data).

12.3 Functionaliteit

Afbraak organisch materiaal

In de eerste plaats hebben strooiselbewoners en pendelaars de functie om grof organisch materiaal in de grond te trekken, te verkleinen en bloot te stellen aan vertering door schimmels en bacteriën. Indirect dragen wormen ook bij aan een betere vertering van organisch materiaal door de beluchting van de bodem. Specifiek voor grasland hebben ze een belangrijke functie om te voorkomen dat er in de grasmat een viltlaag ontstaat van dood organisch materiaal. Door deze viltlaag kan de groei van jonge

gras- en klaverplanten worden geremd. In de Flevopolder is na de introductie van wormen gekeken naar het aantal dode plukjes gras op plekken waar wormen wel en niet aanwezig zijn. Op plekken zonder wormen was er 709 kg/ha dood gras tegen 37 kg/ha op plekken met wormen (Hoogerkamp e.a., 1983). Een ander onderzoek laat zien dat ook de snelheid waarmee dit oppervlakkig organisch materiaal verdwijnt, hoger is bij een grotere wormen populatie (Raw, 1962). In Deens onderzoek is er een rechtlijnig verband aangetoond tussen de snelheid van afbraak van mestflatten en het aantal wormen in de mestflatten (Holter, 1983).

Beschikbaar maken van nutriënten

Door uitwerpselen, slijmproductie maar ook door de dood van regenwormen (anders dan predatie) komt stikstof vrij in het systeem. Uit diverse onderzoeken blijkt dat 70% van de stikstof uit dode regenwormen en 50% van de stikstof in wormenuitwerpselen en slijm door de plant wordt opgenomen. In akkerbouwsystemen variëren de jaarlijkse stikstofstromen door wormen van 10-74 kg N/ha (Whalen en Parmelee, 2000). Voor VEL/VANLA-bedrijven is de berekende N-mineralisatie van regenwormen 145 kg N/ha. Bij deze berekening is uitgegaan van 600 wormen/m² en een C/N-verhouding van 7 in de drijfmest (De Goede en Brussaard, 2001 b).

Concentratie van nutriënten

In onderzoek in de Noordoost polder bleken de uitwerpselen van wormen 10% meer fosfaat te bevatten dan de grond er omheen. Daarnaast was de beschikbaarheid van fosfaat 7 keer hoger in de uitwerpselen dan de grond er omheen (Van der Werff e.a., 1993). Wortels volgen vaak wormengangen en vinden hier uitwerpselen met een hoge concentratie van beschikbare mineralen. Volgens Latei Landbouw bevatten wormuitwerpselen in vergelijking met grond de volgende mineralen: 5 maal meer stikstof (N), 7 maal meer fosfor (P), 11 maal meer kalium (K), 2,5 maal meer magnesium (Mg) en 2 maal meer calcium (Ca).



Foto: Uitwerpselen van regenwormen.

Menging van gronddeeltjes

Per jaar kunnen wormen ongeveer 250 keer hun eigen gewicht omzetten. Dit betekent dat de bovenste 20 cm van de grond, afhankelijk van het aantal wormen, gemiddeld per 5 à 10 jaar in zijn geheel de ingewanden van wormen passeert. Dit resulteert in een betere verdeling en menging van organische stof waardoor onder andere de droogtegevoeligheid vermindert (Doeksen, 1957). Ook zorgen wormen ervoor dat bij bekalking van grasland, de kalk verder in de bouwvoor wordt verdeeld. Hetzelfde geldt voor de bemesting met ruwfosfaat. Naast een betere verdeling in de bouwvoor zorgen wormen hier ook voor het sneller beschikbaar maken van ruwfosfaat. In onderzoek van Mackay e.a. (1982) was ruwfosfaat 15-30% sneller beschikbaar bij de aanwezigheid van wormen en gaf het een stijging van productie van Engels raaigras ten opzichte van de bemesting met ruwfosfaat zonder aanwezigheid van wormen.

In het bodemprofiel is een goede indicator van de mengactiviteit van wormen het geleidelijk in elkaar overlopen van de kleuren.

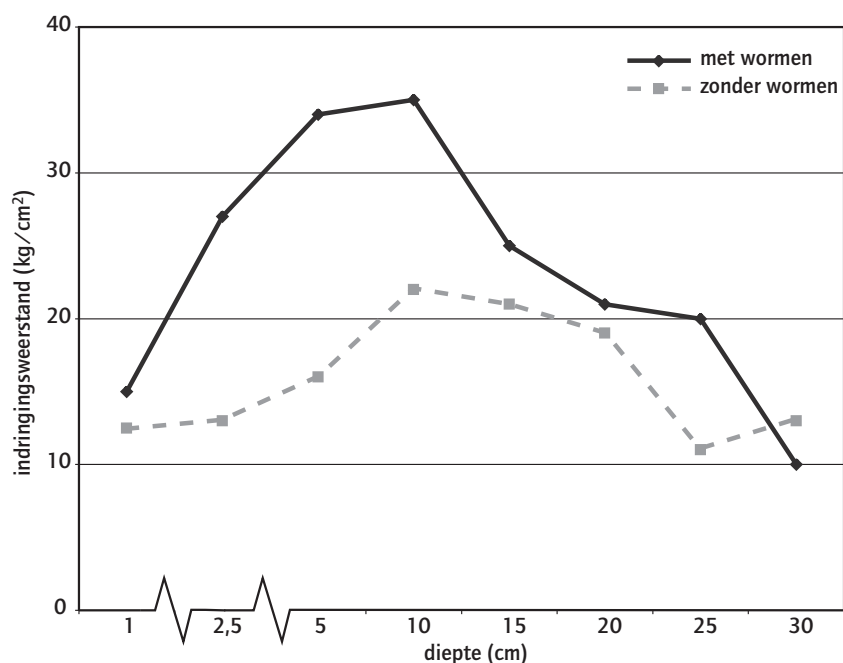
Bodemstructuurverbetering door aggregaatvorming

In een onderzoek van Marinissen (1995) was er een duidelijk positieve relatie tussen de regenwormactiviteit en de stabiliteit van macroaggregaten. Deze stabiliteit wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van kleine partikels organische stof. De stabiele aggregaten die door wormen worden gevormd beschermen de erin opgeslagen organische stof beter dan anders gevormde aggregaten. Hierdoor is grond met veel wormen beter in staat om organische stof in de bodem vast te houden (Marinissen, 1995). Ook in

Zwitsers onderzoek werd een positieve relatie gevonden tussen aggregaatstabiliteit en regenwormbiomassa (Mäder e.a., 2002).

Poriënvolume

Dit volume is gerelateerd aan de vorming van stabiele macro- en microaggregaten. Als alle vaste deeltjes van de grond worden samengepakt, dan bestaat het bodemvolume voor slechts 40% uit fijne poriën. Deze zouden zo fijn zijn dat na een regenbui alle poriën met water gevuld zouden zijn en de grond zou verslepen. Om lucht in de grond te hebben is het noodzakelijk, dat een aantal poriën zo wijd zijn dat er geen water in kan blijven hangen en er van beneden geen water in kan opstijgen. In onderzoek naar de introductie van wormen in de Flevopolder werd een toename van 40% in luchtvolume gemeten. In hetzelfde onderzoek werd op grasland een totaal verschillende indringingsweerstand gemeten op plekken met of zonder wormen (zie figuur 12.1) (Hoogerkamp e.a., 1983).



Figuur 12.1: Indringingsweerstand op plekken met of zonder wormen (Hoogerkamp e.a., 1983)

Drainage

De verticale gangen van wormen zijn belangrijke afvoerkanalen van water. Wormen zetten in deze gangen een vetachtig laagje af waardoor het water snel doorstroomt, de gangen niet kapot gaan en voorkomen wordt dat nutriënten uitspoelen.

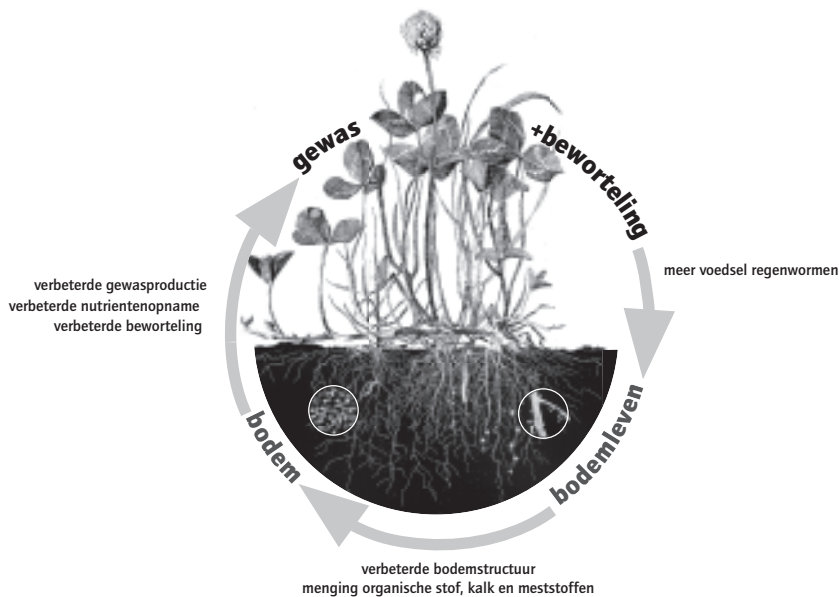
Beworteling

Doordat wormen zorgen voor een lossere bodem en wormengangen, wordt de bodem beter bewortelbaar (zie tabel 12.3). Dit trekt micro-organismen aan en komt meer organisch materiaal in de bodem. Hierdoor gaat het gewas beter groeien. Meer gewasproductie betekent meer gewasresten waardoor er weer meer organisch materiaal is voor wormen. Dit is een duidelijk voorbeeld van de cyclus: gewas/beworteling → regenwormen → bodem (zie figuur 12.2).

Op grasland in Biddinghuizen waar wormen na de inpoldering zijn geïntroduceerd was het volgende verloop van de beworteling te zien (zie tabel 12.3).

Verhoging gewasopbrengst

In Nieuw Zeeland steeg de graslandopbrengst in veldproeven met 70% na de introductie van wormen. Deze initiële opbrengstverhoging kwam vooral door de afbraak van de opgebouwde viltlaag. In de jaren die volgden was de opbrengstverhoging 25-30% (Syers en Springett, 1983). In Nederlands onder-



Figuur 12.2: Cyclus van gewas/beworteling -> regenwormen -> bodem (Syers en Springett, 1983).

Tabel 12.3: Verloop van beworteling na de introductie van regenwormen (Hoogerkamp e.a., 1983).

Jaren na introductie wormen	Beworteling gras kg ds/ha in de laag 0-15 cm
0	570
1	570
4	750
6	1875
8	1965

zoek van Hoogerkamp e.a. (1983) werd een opbrengstverhoging gevonden van 1,5 ton ds/ha door de introductie van wormen (14,7 ton ds/ha zonder wormen en 16,2 ton ds/ha met wormen). Op jaarbasis was deze opbrengstverhoging 10% maar vooral in de eerste- en laatste snede werd een opbrengstverhoging gevonden van ongeveer 20%.

12.4 Managementinvloed

In het verleden zijn na de inpoldering van Flevoland wormen geïntroduceerd door het opbrengen van grasplaggen met wormen. Onderzoek geeft aan dat de kolonisatiesnelheid van de meeste wormen ongeveer 10 m per jaar is (Kloen, 1983). Uit de gegevens van het BoBi-project blijken er op de meeste veehouderijbedrijven wel wormen aanwezig te zijn. Het lijkt dus meer een zaak van het managen van de bestaande populatie dan introductie van wormen middels plaggen. In deze paragraaf wordt de invloed van enkele managementfactoren op wormen besproken.

Bemesting

Wormen voeden zich vooral met organisch materiaal. Uit diverse proeven is gebleken dat vrijwel elke toediening van organisch materiaal leidt tot toename van het aantal wormen en met name het aandeel jonge wormen (Kloen, 1983). In een bemestingsproef met mestgiften van 50, 100, 200 en 400 ton/ha stalmest en drijfmest nam het aantal wormen tot een gift van 200 ton/ha toe en was er alleen een licht dalende trend bij 400 ton stalmest en drijfmest (Andersen, 1983). Ook de gift van kunstmeststikstof bevordert de wormenstand. Dat komt door een versnelde afbraak van organische stof of door een verhoogde gewasproductie, die uiteindelijk weer tot een toename van gewasresten leidt. Kloen (1983) ziet in zijn literatuuranalyse echter geen verhoogde wormenstand bij meer dan 100 kg N/ha uit kunstmest. Bij giften hoger dan 200 kg N/ha is er zelfs sprake van een afname. In een proef op 2

VEL/VANLA-bedrijven werd bij een hoger bemestingsniveau uit NPK (250 kg N/ha versus 90 kg N/ha) een lagere wormendichtheid gevonden (De Goede en Brussaard, 2001a). In hoeverre zouten van kunstmeststoffen een rol spelen is onbekend. Het lijkt echter geen verklaring omdat proeven in de Flevopolder aangeven dat 2000 kg/ha landbouwsout nodig is om de actuele extreem hoge populatie van wormen uit te dunnen. Eventueel kan de verzurende werking van sommige kunstmeststoffen hier een rol spelen.

Mestsoort

Bij de methoeveelheid is al aangegeven dat het aantal wormen tot een bepaald bemestingsniveau van organische stof en stikstof stijgt. In Engels onderzoek was de toename van het aantal wormen bij organische meststoffen hoger in vergelijking met kunstmeststoffen. Dit is logisch want in organische mest is organische stof en stikstof gecombineerd. In het zelfde onderzoek wordt aangegeven dat vaste meststoffen tot meer wormen leiden dan drijfmest. Effecten van organische meststoffen zijn echter minder groot op graslanden dan op akkers. De verklaring hiervoor wordt gegeven door de hoge toevoer van organische stof uit een graszode. In dit onderzoek nam het aantal wormen onder grasland maar met 11% toe bij het gebruik van vaste mest. Interessant was wel de toename van 184% in het aantal pendelaars bij het gebruik van vaste mest (Edwards en Lofty, 1982).

Mesttoedieningstechniek

Er wordt vaak gesproken over schade aan wormen door zodebemesten. Deze schade zou door de volgende mechanismen en combinaties daarvan kunnen optreden:

- Snijdende werking bij zodebemesten waardoor wormen worden doorgesneden;
- Giftige stoffen in drijfmest zoals ammoniak, fenolen of sulfaatverbindingen die wormen ondergronds doden;
- Tijdelijke zuurstofarme omstandigheden in de grond door ondergrondse mesttoediening;
- Trillingen van de machine waardoor wormen naar boven worden gedreven en daardoor bloot staan aan licht, predatoren en/of giftige stoffen in drijfmest;
- Berijdingschade en structuurbederf waardoor wormen worden gedood.

In verschillende onderzoeken is naar de schade van zodenbemesten op wormen gekeken. In een onderzoek in het veenweidegebied werd geen effect gevonden van mesttoedingstechniek op het aantal emelten en regenwormen (Kruk 1994). In een vergelijkend onderzoek op 12 melkveebedrijven in het VEL/VANLA-gebied hadden bedrijven met zodenbemesting significant minder strooiselbewoners, maar juist meer pendelaars in vergelijking tot bedrijven die bovengronds uitrijden (zie tabel 12.4). Dat er met zodenbemesten minder strooiselbewoners zijn lijkt logisch omdat die het meest boven in de grond zitten en het meest gevoelig zijn voor bijvoorbeeld de snijdende werking van de zodenbemester. Een stijging van het aantal pendelaars door zodenbemesting is interessant omdat juist deze wormen door hun verticale gangen voor een diepe beworteling kunnen zorgen. Daarnaast bestond er in het VEL/VANLA-onderzoek een trend dat bedrijven die zodenbemesten meer bodembewoners hebben waardoor het totaal aantal wormen toeneemt. Noors onderzoek liet bij stijging van de drijfmestgift ook een toename van de bodembewoners zien en juist een afname van de strooiselbewoners (Hansen en Engelstad, 1999). Een betere stikstofbenutting van zodenbemesten zou direct en indirect tot een hoger voedselaanbod voor deze groep wormen kunnen leiden. Er dient wel bij vermeld te worden dat de meeste bedrijven, in het VEL/VANLA-onderzoek, die bovengronds mest uitrijden ook allemaal Euromestmix gebruiken. Daardoor is de mesttoedieningstechniek in dit onderzoek moeilijk te scheiden van mesttoevoegmiddelen (De Goede en Brussaard, 2001b). Het is in ieder geval nodig om bij onderzoek naar het effect van mesttoedieningstechniek een onderscheid in soorten wormen te maken. Daarnaast zal de uitgangspositie van een perceel ook een rol spelen. Op percelen waar altijd zodenbemesting heeft plaatsgevonden is de wormenpopulatie hoogstwaarschijnlijk "aangepast" aan zodenbemesten en zal het eventueel effect hiervan op soortensamenstelling minder duidelijk zijn dan in een perceel waar nooit zodenbemesten is toegepast.

Tabel 12.4: Regenwormaantallen en soorten in de laag 0-20 cm bij zodenbemesten en bovengronds mest uitrijden (De Goede en Brussaard, 2001b)

Regenwormen	Bovengronds (5 bedrijven)	Zodenbemesten (9 bedrijven)
Totaal aantal wormen per m ²	478	642
Strooisel bewoners ¹⁾ %	14	5
Bodem bewoners ¹⁾ %	82	83
Pendelaars ¹⁾ %	4	12

¹⁾ Percentage van volwassen wormen

Toevoegmiddelen

In het BoBi-project werden opvallend hoge wormenaantallen gevonden op drie melkveebedrijven op klei waar FIR wordt gebruikt (zie tabel 12.2)(Schouten, 2002). In een vergelijkend experiment op 12 VEL/VANLA-bedrijven is het aantal wormen door de mesttoevoegmiddelen, Euromestmix en Effectieve Micro-organisme, niet toegenomen (zie tabel 12.5). Bij de bedrijven die Euromestmix gebruiken is het percentage strooiselbewoners onder de volwassen regenwormen hoger dan op de controle bedrijven. Voor het aantal pendelaars geldt dat hun aantal juist lager was op de Euromestmix-bedrijven in vergelijking tot de controle bedrijven. Echter op alle bedrijven waar Euromestmix werd toegepast werd de mest bovengronds uitgereden. Het is dus moeilijk om het effect van Euromestmix te scheiden van het effect van de mesttoedieningstechniek. Toepassing van Effectieve Microben (EM) had geen aantoonbaar effect op de regenwormen (De Goede en Brussaard, 2001b).

Tabel 12.5: Regenwormaantallen en soorten in de laag 0-20 cm bij mesttoevoegmiddelen (De Goede en Brussaard, 2001 b)

Regenwormen	Zonder toevoegmiddel (3 bedrijven zodenbemesten, 1 bedrijf bovengronds)	Euromestmix (4 bedrijven bovengronds) (4 bedrijven zodenbemesten)	Effectieve Microben
Totaal aantal wormen per m ²	672	478	572
Strooisel bewoners ¹⁾ %	4	15	6
Bodem bewoners ¹⁾ %	86	82	85
Pendelaars ¹⁾ %	10	3	9

¹⁾ Percentage van volwassen wormen

Bekalken

Over het algemeen reageren wormen sterk op een verhoging van de pH. Dit is duidelijk te zien in een experiment van Natuurmonumenten op veen (zie tabel 12.6). Na 8 jaar bemesting met verschillende mestsoorten worden er hoge wormenaantallen gevonden bij de varianten van bekalking met Dolokal en Kalkmergel terwijl de gewasproductie laag is. Schijnbaar kunnen de wormen - door de hoge pH - leven van de organische stof en reageren ze sterk op de calcium in de kalksoorten. In de polder worden

Tabel 12.6: Reactie van regenwormenaantallen op verschillende meststoffen op veen, gemeten met de Oktett-methode (vangmethode van wormen op basis van stroom)(Piek e.a., 1998)

Bemesting op jaarbasis	pH	Ds-opbrengst t ds/ha	Totaal aantal wormen per m ²
Onbemest	4,1	1,3	110
200 kg KAS	5,6	2,1	100
280 kg Thomaskali	4,9	3,0	200
200 kg KAS+ 280 kg Thomaskali	6,0	6,0	450
10 ton Stalmest	5,8	5,8	520
1000 kg Kalkmergel	6,4	1,5	620
700 kg Dolokal	6,4	1,5	740

op het moment juist proeven gedaan om wormen te bestrijden met kalkmeststoffen. Volgens PPO-onderzoeker Ester is gebleken dat de activiteit van de wormen stijgt naarmate er meer calcium in de kalkmeststof zit. Bij een hoog niveau van bekalken kan er echter ook een overmaat komen waaraan wormen dood gaan (Oogst, 2002).

Grondbewerking en vruchtwisseling

Over het algemeen komen er in bouwland minder wormen voor dan in grasland. Grasland biedt een stabiele omgeving met een overvloedig en relatief constant aanbod van organisch materiaal. Daarnaast worden in bouwland door grondbewerking wormen gedood. Dit wordt versterkt als de bewerking dieper en intensiever is, en als apparaten met draaiende delen worden gebruikt. Het direct schadelijke effect van grondbewerking wordt over het algemeen minder groot geacht dan het negatieve effect van grondbewerking op het directe leefmilieu, zoals schade aan wormgangen en voedsel (Kloen, 1988). Uit een literatuuranalyse concludeert Kloen (1988) dat 1 tot 2 jaar na scheuren van grasland minstens zoveel wormen voorkomen als in de graslandfase. Dit is op zich niet onlogisch omdat in deze periode een piek aan voedselaanbod is. In deze periode vindt wel een verschuiving plaats in soorten. Op bouwland is er minder voedsel voor de strooiselbewoners en bij langdurige grondbewerking worden ook de gangen van pendelaars keer op keer verstoord. De dominantie van bodembewoners op akkers geeft aan dat deze het beste aangepast zijn aan het leefmilieu in de akkerbouw. In onderzoek in België is duidelijk de dominantie te zien van bodembewoners op bouwland (tabel 12.7). De cijfers laten echter ook zien dat in een situatie van vruchtwisseling van 3 jaar gras/klaver (3 jaar voedergewassen alleen een licht herstel plaatsvindt van de wormenaantallen in vergelijking met oud grasland. Opmerkelijk is hier dat zelfs op oud grasland geen strooiselbewoners voorkwamen. De pendelaars hebben het in de vruchtwisseling-situatie heel moeilijk om stand te houden.

Tabel 12.7: Regenwormenaantallen en soorten in de laag 0-20 cm op een zanderige-leemgrond onder drie landgebruiktypes (Reheul, Nevens en Bommelé, ongepubliceerde gegevens Universiteit van Gent).

Regenwormen	36 jaar oud grasland	1 ^e jaar gras/klaver na 3 jaar bouwland	1 ^e jaar bouwland na 3 jaar gras/klaver	36 jaar oud bouwland
Aantal volwassen per m ²	141	47	66	41
Aantal jonge per m ²	169	3	34	15
Totaal aantal wormen per m ²	310	50	100	56
Strooisel bewoners ¹⁾ %	0	0	0	0
Bodem bewoners ¹⁾ %	63	100	97	100
Pendelaars ¹⁾ %	37	0	3	0

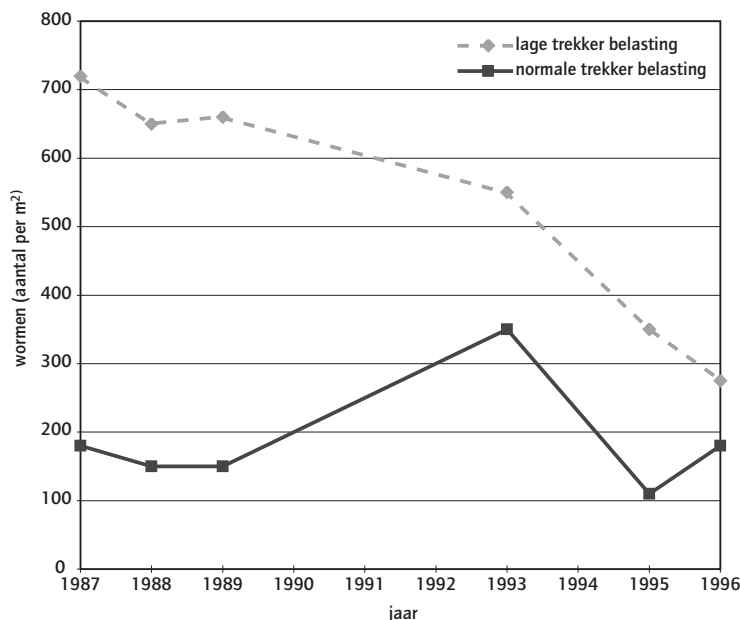
¹⁾ % van totaal aantal wormen

Vertrapping- of rijshade

Op een Noors proefbedrijf is gekeken naar het effect van twee intensiteiten van tractor-verkeer ('laag' en 'normaal') op de regenwormdichtheid. Het onderzoek werd uitgevoerd in een vruchtwisselingsexperiment met akkerbouwgewassen en gras/klaver kunstweiden. Het verschil tussen 'normaal' en 'laag' tractor-verkeer bedroeg op jaarbasis 5x berijden met de trekker. In figuur 12.3 is duidelijk het verschil te zien tussen de twee tractor intensiteiten. Tijdens het experiment over een periode van 9 jaar daalde het aantal wormen. Tegelijkertijd met de proef daalde ook de pH. De dichtheid van regenwormen vertoonde dan ook een sterke relatie met pH en met de beschikbare calcium onder de 'lage' intensiteit van tractor-verkeer. Geconcludeerd werd dat verzuring van de bodem en de verdichting door tractorverkeer oorzaak waren van de teruglopende hoeveelheid regenwormen op deze lemige zandgrond (Hansen en Engelstad, 1999).

Gras versus klaver

Vlinderbloemigen zoals klaver worden vaak als een gunstig gewas voor wormen beschouwd. Met name de stikstofrijke wortel- en gewasresten spelen hierbij een belangrijke rol. Het blijft altijd moeilijk om



Figuur 12.3: Verandering in wormendichtheid bij 2 tractor-verkeersintensiteiten 'laag' en 'normaal' (Hansen en Engelstad, 1999)

wormenaantallen onder gras en gras/klaver te vergelijken omdat er meestal een interactie is met mestsoort, mesthoeveelheid of gewasproductie. In een onderzoek op Aver Heino kan een vergelijking worden gemaakt tussen gras en gras/klaver die met dezelfde hoeveelheid drijfmest is bemest. Alleen de ds-opbrengst is bij het gras 1 ton ds/ha lager, maar het aantal wormen is bij gras 34% lager in vergelijking met gras/klaver (zie tabel 12.8). Naast vlinderbloemigen hebben granen in de akkerbouw een goede naam voor het in stand houden van een wormenpopulatie (Kloen, 1988).

Tabel 12.8: Regenwormenaantallen bij gras en gras/klaver bij eenzelfde hoeveelheid bemesting van drijfmest (Heeres en Baars, ongepubliceerde data)

Parameter	Gras/klaver	Gras
Totaal aantal wormen per m ²	610	417
Ds-opbrengst (t ds/ha)	12,1	11,1

12.5 Meten en indicatorwaarde

Metten

De meest betrouwbare methode om regenwormen te meten is simpelweg een plag uitsteken en daar de wormen uitzoeken. Meestal wordt er 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. Discussabel 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 verzameld worden. Formaline is echter giftig zowel voor de wormen als voor het milieu. Een alternatief voor formaline is mosterd extract. 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). In Nederland zijn er nog geen resultaten van bekend.

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 worden 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 wormen uit plaggen zijn uitgezocht kunnen aantallen per m² worden berekend en het versgewicht bepaald. Bij de bepaling van het versgewicht moet rekening worden gehouden met een grote onnauwkeurigheid omdat wormen grond kunnen bevatten. Voor een nauwkeurige bepaling zouden wormen zich eerst leeg moeten eten door ze 2 dagen op agar- plaatjes te laten eten.

Wormen kunnen worden gedetermineerd op groep- en soortniveau. BGG kan het uitzoeken van plaggen en determineren verzorgen. Vanwege de gunstige vochtomstandigheden en middelmatige temperaturen lijken het voorjaar (april-mei) en najaar (oktober-november) goede momenten om te meten. 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.

Indicatorwaarde

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. Dit betekent dat een uitgestoken graspol minimaal 4 wormen moet bevatten. De vraag is echter of 300 wormen/m² beter is dan 100 wormen/m². Wordt er gekeken naar relaties met drainagesnelheid dan lijken aantallen wel belangrijk, maar over het algemeen kan deze vraag niet worden beantwoord.

Bij een minimum aanwezig aantal wormen wordt de activiteit van wormen en de aanwezigheid van specifieke soorten belangrijker (Al-Bakri 1984, Ter Berg, mondelinge mededeling). Indicatoren voor wormenactiviteit zijn het aantal wormen en de uitwerpselen van wormen (uitgedrukt in uitwerpselen per m²). Daarnaast kunnen in een profielkuil waarnemingen worden gedaan aan wormenactiviteit. Sporen van pendelaars zijn bijvoorbeeld een goede indicator voor het herstellend vermogen van de grond. Daarnaast zijn overgangen in kleur en patronen in de bodem een indicatie van de mengactiviteit van regenwormen.

Niet onbelangrijk voor een praktijk indicator is de zichtbaarheid en "aibaarheid" van de regenwormen.

12.6 Onderzoeksvragen

Vooraf voor grasland hebben wormen een extra belangrijke functie omdat ze de jaarlijkse grondbewerking kunnen doen die onder bouwland mechanisch gebeurt. Ze spelen daarbij een belangrijke rol in het herstellend vermogen en de bijna letterlijke veerkracht van een graszode na vertrapping- en rijschade.

De belangrijkste algemene vraag voor de toekomst blijft; Hoe kunnen regenwormen onder grasland optimaal gestimuleerd worden, in aantallen, soorten en activiteit? Meer specifiek:

1. Met welke maatregelen in de bouwlandfase, is de uitgangspositie van regenwormen bij herinzaai optimaal?
2. Welke maatregelen kunnen bij herinzaai nog extra worden genomen om de activiteit van wormen te stimuleren om daarmee de cyclus gewas/beworteling → bodemleven → bodem een extra impuls te geven en zoveel mogelijk een "sukkelperiode" te voorkomen?
3. Met welke maatregelen kunnen de groep van pendelaars optimaal worden gestimuleerd?
4. Welk organisch materiaal qua consistentie en samenstelling past het beste bij het voedingspatroon van de groep van pendelaars?



Potwormen

- 13.1 Algemene beschrijving**
- 13.2 Diversiteit**
- 13.3 Functionaliteit**
- 13.4 Managementinvloeden**
- 13.5 Meten en indicatorwaarde**
- 13.6 Onderzoeksvragen**



13 Potwormen

13.1 Algemene beschrijving

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 humusrijk delen 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 aggregaatforming.

13.2 Diversiteit

Aantallen

Door de WUR en het BLGG zijn in het BoBi-project metingen gedaan aan potwormen (zie tabel 13.1). In dit project zijn de aantallen en biomassa hoger op biologische bedrijven en lager op intensievere gangbare bedrijven. Dit is tegenstrijdig met een bemestingsproef van VEL/VANLA, waar juist meer potwormen voorkomen bij een hoger bemestingsniveau (zie ook paragraaf 13.4) (De Goede en Brussaard, 2001a).

In het BoBi-project zijn het aantal potwormen op zeeklei positief gerelateerd aan het aantal regenwormen ($\text{potwormen} = 81 * \text{regenwormen} - 399$ $R^2 = 0,62$). Op zandgrond werd deze relatie niet gevonden.

Soorten

Het aantal soorten potwormen is duidelijk hoger op klei dan op zand (tabel 13.1). Engels onderzoek laat zien dat het aantal soorten sterk wordt beïnvloed door grondsoort en pH van de grond (zie paragraaf 13.4). Het effect van de grondsoort in dit onderzoek is weer terug te voeren op het waterhoudend vermogen van de grond en het organisch stofgehalte (Standen, 1982).

Op grond van de gegevens over de biologie van potwormen worden de soorten in het BoBi-project onderverdeeld in drie functionele groepen (Schouten e.a., 2002):

1. De *Fridericia*-groep die vers strooisel als voedsel hebben
2. De *Marionina*-groep die verder afgebroken organisch materiaal verteren
3. De *Enchytraeus*-groep, die mineraal en ouder organisch materiaal als voedsel hebben

In tabel 13.1 is te zien dat de verdeling in soorten, procentueel niet veel verschil laat zien voor de drie bedrijfssystemen op zandgrond.

Tabel 13.1: Aantal en soorten potwormen op biologische- en gangbare melkveebedrijven in de laag 0-15 cm (Schouten e.a., 2000; Schouten e.a., 2002).

Potwormen	Melkveehouderij Zandgrond			Melkveehouderij Zeeklei	
	Biologisch (n=10)	Gangbaar extensief (n=19)	Gangbaar intensief (n=20)	Biologisch (n=1)	Gangbaar (n=20)
Aantal per m ²	40751	17877	21333	34837	24908
Biomassa kg/ha	54	21	24	124	56
Aantal soorten	5,2	5,6	5,1	13	8,2
<i>Fridericia</i> -groep %	11	9	11	74	35
<i>Marionina</i> -groep %	21	29	14	--	--
<i>Enchytraeus</i> -groep %	68	62	75	--	--

n=aantal bedrijven

NB Het monster is een steekproef van enkel het grasland op bedrijfsniveau

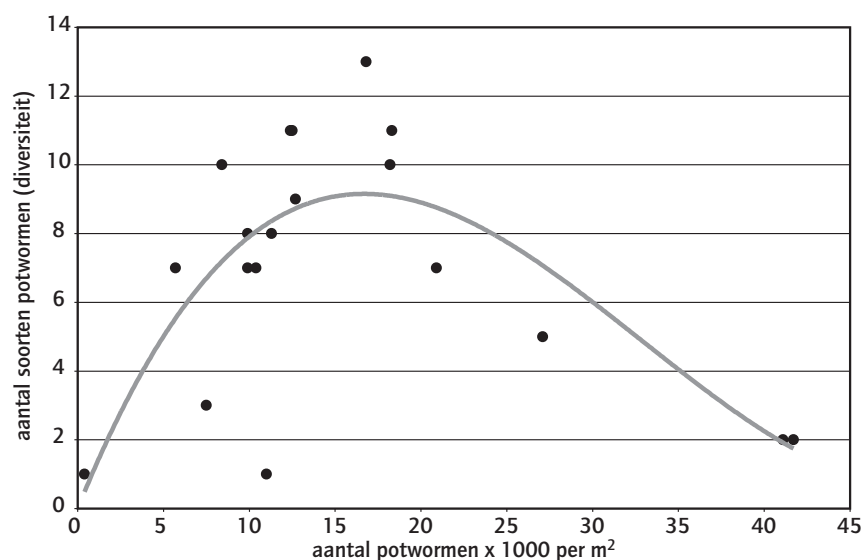
13.3 Functionaliteit

Wat betreft functies sluiten potwormen en regenwormen bij elkaar aan. Met name in zware en dichte grond hebben regenwormen het zwaar, maar kunnen potwormen nog goed leven. Ook kunnen ze goed tegen grondbewerking, terwijl regenwormen daar juist niets van moeten weten (Boerderij 2000). Wat de levensomstandigheden betreft is het van belang dat sommige soorten potwormen bij een veel lagere pH-waarde kunnen leven dan regenwormen. De rol die regenwormen bij hogere pH-waarde spelen wordt door de potwormen bij lagere pH-waarde ingenomen (Bokhorst en Ter Berg, 2001).

13.4 Managementinvloeden

Bekalken en pH

In Engels onderzoek zijn potwormen bemonsterd in 4 graslandproeven met verschillende behandelingen. De resultaten laten een duidelijk effect zien van pH en bekalken op de soortensamenstelling van potwormen. De hoogste aantallen potwormen werden gevonden op graslanden met een pH van 3,8. De soortensamenstelling van de potwormen op deze graslanden was echter zeer beperkt en werd gedomineerd door één soort (Standen, 1982). In figuur 13.2 is een relatie te zien tussen het aantal potwormen en de verschillende soorten die voorkomen in de Cockle Park graslandproef. Er is duidelijk een



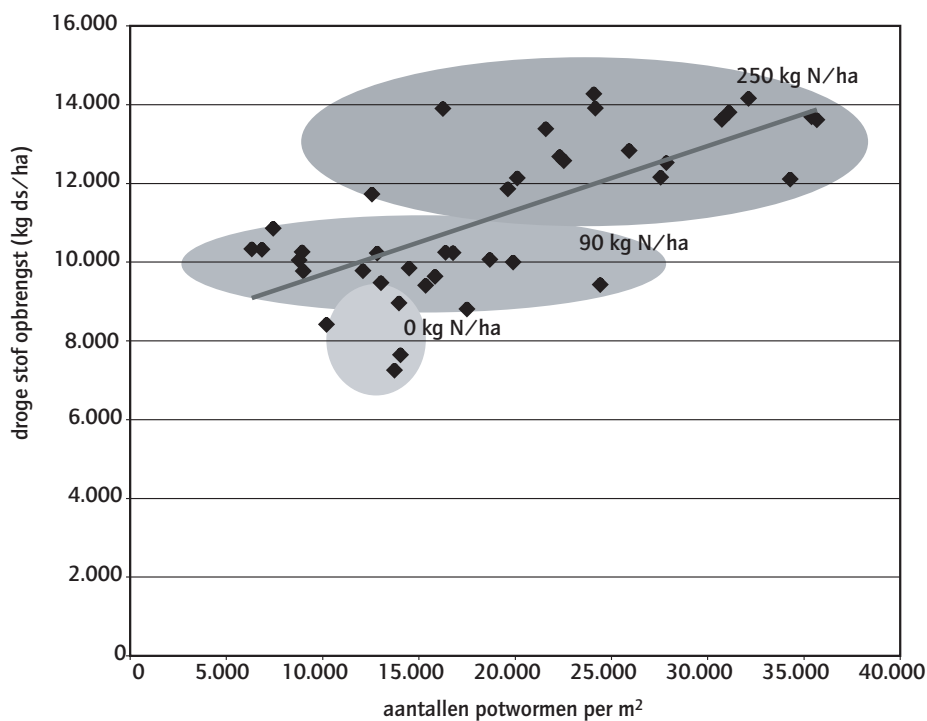
Figuur 13.1: Relatie tussen aantallen potwormen per m² en aantal soorten (Standen, 1982)

optimum te zien tussen aantallen en soorten. Bij zeer hoge aantallen potwormen wordt het aantal soorten beperkt. Hierbij is de pH van de grond gedeeltelijk de verklarende factor.

Bemesting en mestsoort

In een bemestingsproef in het VEL/VANLA-project worden op 3 bemestingsniveaus (0, 90 en 250 kg N/ha) verschillende bemestingsystemen vergeleken. Bij de bemestingsniveaus 90 en 250 kg N/ha is de hoeveelheid organische mest hetzelfde. Bij het niveau van 250 kg N/ha wordt nog aanvullend bemest met kunstmest (NPK). Het aantal potwormen was bij 250 kg N/ha significant hoger (De Goede en Brussaard, 2001a). Op zich is dit niet onlogisch want een hoger bemestingsniveau kan direct en indirect meer voedsel voor potwormen betekenen. Dit uit zich ook in een positieve relatie tussen het aantal potwormen in oktober 2000 en de ds-opbrengst in het seizoen 2000 (zie figuur 13.2). In de figuur zijn ook de resultaten van de verschillende bemestingsniveaus gegroepeerd. In een vergelijkende proef op 12 melkveebedrijven in het VEL/VANLA-gebied kon er geen relatie tussen het bemestingsniveau en het aantal potwormen worden gelegd.

In Engels onderzoek werd een positieve relatie gemeten tussen de diversiteit van soorten en het gebruik van vaste mest (Standen, 1982).



Figuur 13.2: Relatie ds-opbrengst (kg ds/ha) en aantal potwormen per m² (Kok e.a., 2002; De Goede en Brussaard, 2001a)

Toevoegmiddelen

In het VEL/VANLA-project wordt op 12 melkveebedrijven de effecten van mesttoevoegmiddelen onderzocht. Het aantal potwormen op de bedrijven die Euromestmix gebruiken was hoger dan op de controle bedrijven (zie tabel 13.2). Dit verschil werd met name veroorzaakt door significant hogere aantallen in de bovenste 2,5 cm van de grasmat. Hierbij moet vermeld worden dat de Euromestmixbedrijven allemaal bovengronds uitrijden en de EM- en controlebedrijven in de meeste gevallen niet. Hoewel de resultaten geen significant effect van bovengronds uitrijden op het aantal potwormen laten zien, kan dit meegespeeld hebben (De Goede en Brussaard, 2001b).

Tabel 13.2: Aantallen potwormen met of zonder het gebruik van mesttoevoegmiddelen (De Goede en Brussaard, 2001b)

Potwormen	Zonder toevoegmiddel	Euromestmix	Effectieve Microben
Aantal per m ² 0-15 cm	7097	10802	9336
Aantal per m ² 0-2,5 cm	4258	7065	4936

13.5 Meten en indicatorwaarde

Meten

In het BoBi-project worden potwormen verzameld in 6 steekmonsters per 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 extractie-methode (Didden, 1991). De extractie, tellingen en determinatie worden uitgevoerd door BLGG. De determinatie van potwormen kan in Nederland maar door enkele personen worden uitgevoerd.

Indicatorwaarde

Potwormen zijn opgenomen in het indicatorsysteem van het BoBi-project, vanwege hun algemene voorkomen en diversiteit. Daarnaast zijn ze door middel van een beperkt aantal steekmonsters makkelijk te verzamelen (Schouten e.a., 2000). Aan de andere kant is de soortendeterminatie van potwormen moeilijk, tijdrovend en nog niet toegankelijk voor de praktijk. Wat dat betreft lijkt het geen indicator die bruikbaar is voor de praktijk of praktijkonderzoek.

13.6 Onderzoeksvragen

De verhouding tussen regenwormen en potwormen is mogelijk voor de toekomst een interessante indicator. In de literatuur wordt aangegeven dat potwormen onder omstandigheden met stress (bijvoorbeeld lage pH of bodemverdichting) de functie van regenwormen kunnen overnemen. Het moet worden onderzocht of bestaande data daartoe aanknopingspunten bieden.



Springstaarten en mijten

- 14.1 Algemene beschrijving**
- 14.2 Diversiteit**
- 14.3 Functionaliteit**
- 14.4 Managementinvloed**
- 14.5 Meten en indicatorwaarde**
- 14.6 Onderzoeksvragen**



14 Springstaarten en mijten

Springstaarten en mijten hebben een overeenkomstige levenswijze en worden daarom in één hoofdstuk besproken.

14.1 Algemene beschrijving

14.1.1 Springstaarten

Springstaarten (*Collembola*) zijn vleugelloze insectachtigen. De meeste hebben een springvork. Wanneer ze aangevallen worden laten ze razendsnel lichaamsvocht in de staart lopen waardoor deze met een vaart uitklapt en de springstaart hiermee kan wegspringen. De meest bekende springstaart is de soort die in bloempotten opspringt. 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. Ondanks deze aantallen is hun totale biomassa veel kleiner dan die van bacteriën, protozoën en wormen. De meeste zijn 0,2-2 mm groot. Een kleinere groep is groter (tot 6 mm) en leeft bovengronds in strooisellagen of in planten. 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. Daarnaast zorgen springstaarten voor een zekere ziekteonderdrukking door het eten van (schadelijke) schimmels (Baars, 2000).

Springstaarten en mijten maken zelden eigen gangen, maar verwijden bestaande holten om zich te kunnen bewegen en voedsel op te slaan. Hierdoor zijn ze echter erg gevoelig voor grondbewerking. Daarnaast geven ze een voorkeur aan zandgrond boven kleigrond vanwege het vette karakter en het krimp- en scheureffect van klei (Van Amelsvoort en Van Dongen, 1986).

Op grond van uiterlijke kenmerken kunnen springstaarten - net als bij wormen - worden ingedeeld in 3 groepen. Deze indeling op uiterlijk is gerelateerd aan de leefomgeving:

- a: De oppervlakkig levende springstaarten. Ze zijn behaard, hebben een grijze of bruine kleur, lange spriet en goed ontwikkelde springstaart. Deze groep eet plantenresten en mest. Bij afbraak komen koolzuur, water en mineralen (onder meer stikstof en fosfor) vrij.
- b: De bewoners van de bovenste bodem- en strooisellaag. Deze zijn minder behaard, minder gekleurd en hebben kortere spriet dan de oppervlakkige levende springstaarten.
- c: De echte bodembewoners. Ze zijn blind en pigmentloos omdat ze onder de grond leven en zijn kleiner dan de twee groepen springstaarten die aan de oppervlakte leven. Typisch is dat ze naast plantenresten en mest ook minerale delen (klei en zand) tot zich nemen. In de darmen kunnen ze daarvoor humus aan klei binden en zo stabiele humus vormen (Van Amelsvoort en Van Dongen, 1986).

De functies van springstaarten zijn:

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

14.1.2 Mijten

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. Hun grootte varieert van 0,2 tot 5 mm en ze zijn dus ten dele met het blote oog

waar te nemen. 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. Een aspect hiervan is ook dat mijten van belang zijn voor het transport van bacteriën, nematoden en schimmels door de grond (Rusek, 1975). Net als de springstaarten maken mijten zelden eigen gangen en maken ze gebruik van bestaande holten en gangen.

Functies:

1. Beschikbaar maken van nutriënten door verkleinen en afbraak van organisch materiaal;
2. Regulatie van schimmel- en bacteriepopulaties;
3. Verspreiden van micro-organismen;
4. Humusvorming, door uitwerpselen die in losse clusters voorkomen en moeilijk afbreekbaar zijn en zo positief bijdragen aan de bodemstructuur.

14.2 Diversiteit

Aantallen

Springstaarten en mijten komen het meeste voor in onbewerkte bodems die het hele jaar door bedekt zijn met plantengroei en strooisel, dus bossen en permanent grasland. De aantallen springstaarten en mijten gemeten op melkveebedrijven in het BoBi-project zijn weergegeven in tabel 14.1. In dit onderzoek is op biologische bedrijven het aantal springstaarten en mijten lager dan op gangbare bedrijven. Dit is tegenstrijdig met onderzoek van Siepel (1996), die juist meer mijten en springstaarten vond op extensief grasland (66.000/m²) in vergelijking met intensief grasland (33.600/m²) (Siepel, 1996). Een mogelijke verklaring geeft Moldenke (2001) die aangeeft dat het aantal springstaarten en mijten lager is in graslanden met meer wormen. Dit laatste was het geval bij de biologische bedrijven in het BoBi-project.

Tabel 14.1: Aantal springstaarten/mijten en functionele groepen op gangbare- en biologische melkveebedrijven (Schouten e.a. 2000, Schouten e.a. 2002).

Springstaarten en mijten	Melkveehouderij Zandgrond			Melkveehouderij Zeeklei	
	Biologisch (n=10)	Gangbaar extensief (n=19)	Gangbaar intensief (n=20)	Biologisch (n=1)	Gangbaar (n=20)
Aantal/m ² 0-5 cm	29674	39722	47188	26875	37900
Plantenetende %	32	20	16	14	12
Bacterie-etende %	0	0	0	0	0
Schimmel-etende %	36	57	50	38	71
Roof %	19	18	28	21	15
Alles etende %	13	6	7	21	2
Gemiddeld aantal soorten	22	19	20	19	23

n=aantal bedrijven

NB Het monster is een steekproef van enkel het grasland op bedrijfsniveau

Soorten

Vanwege de grote aantallen soorten is net zoals bij nematoden een indeling gemaakt naar voedselgroepen (tabel 14.1). Uit deze indeling komt naar voren dat de grootste groep van mijten en springstaarten zich voedt met plantmateriaal en schimmels. Bacterie-etters komen zelfs helemaal niet voor. Het percentage schimmel-etende springstaarten en mijten is het laagste op biologische bedrijven en duidt op een lage actieve schimmeldraden populatie. Op zandgrond is het aantal plantenetende springstaar-

14.4 Managementinvloed

Bemesting

Uit onderzoek op graslanden met verschillende bemestingsniveaus (geen, laag en hoog) wordt geconcludeerd dat bij een hoger bemestingsniveau het aantal springstaarten en mijten afneemt. Het effect van bemestingsniveau is belangrijker dan bijvoorbeeld de pH (Siepel en Van de Bund, 1988). In hetzelfde onderzoek werden op het onbemest grasland met name de soorten springstaarten en mijten gevonden die in een constant milieu voorkomen. Op grasland met een bemesting van 400 kg N/ha kwamen duidelijk veel meer soorten voor die op een onstabiele voedselsituatie kunnen reageren (Siepel, 1994). Zoals te zien in tabel 14.1 stroken deze resultaten niet met het BoBi-onderzoek omdat daar het aantal springstaarten en mijten op intensievere bedrijven juist toenemen. Blijkbaar zijn er nog andere factoren van invloed op springstaarten en mijten, die in het BoBi-onderzoek wellicht verweven zijn met veebezetting en bemestingsniveau.

Graslandgebruik

In Siepel (1988) worden diverse onderzoeken besproken waarin het aantal springstaarten en mijten lager is bij een hogere intensiteit van beweiden. Dat beweiden een minder constant milieu geeft voor springstaarten en mijten wordt bevestigd door de soortensamenstelling. Op licht bemest grasland (50 kg N/ha) was bij beweiden het aantal soorten springstaarten en mijten dat op een tijdelijke voedselsituatie kan reageren hoger dan bij maaien. Bij maaien was het aantal soorten dat overleeft in een constant milieu iets hoger (Siepel, 1994). Een verklaring voor het constante milieu is het staande gewas met een constanter vochtgehalte in de bodem en een constanter voedselaanbod. In hoeverre hier structuurbederf en daarmee de woonruimte voor springstaarten en mijten een rol speelt is niet bekend. In de onderzoeken wordt niet aangegeven of bij begrazen juist kleinere soorten voorkomen.

Op graslandpercelen waar twee jaar geleden gestopt was met begrazen werd door Bardgett e.a. (1993) minder springstaarten gevonden dan op percelen waar het begrazen werd voortgezet. Hier nam ook het aantal schimmelende springstaarten door het stoppen met grazen af.

14.5 Meten en indicatorwaarde

Meten

In het BoBi-project worden per bemonsterde locatie, 5 steekmonsters van de bovenste bodemlaag 0-5 cm genomen met een diameter van 5,8 cm. Mijten en springstaarten worden in een Tullgren-apparaat uit de monsters geëxtraheerd door geleidelijke uitdroging gedurende een week. De in alcohol (70%) opgevangen springstaarten en mijten worden vervolgens overgebracht op objectglazen met 10% melkzuur en na opheldering tot op soortsniveau 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.

Zelf meten springstaarten en mijten

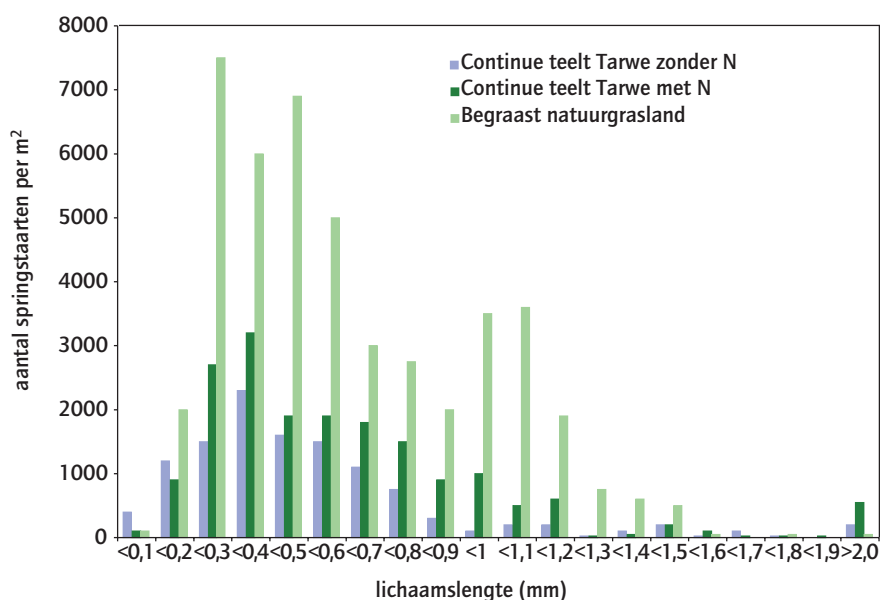
In *Natuurlijk in balans* (2002) staat de volgende handleiding beschreven om zelf springstaarten en mijten te meten: Vul een beker met ongeveer 1 cm ethanol. Zet hierop een trechter waarover een stuk gaas is gespannen met een maaswijdte van 1-2 mm. Leg op de gaas 20 gram grond van de bovenste 2-3 cm van de zode. De grond moet in het midden van de gaas liggen zodat de springstaarten niet van het gaas af kunnen springen. Laat een lamp boven op de grond schijnen. Springstaarten en mijten kruipen weg van de warme en droge lucht waardoor ze door het gaas in dat eronder geplaatste beker met ethanol vallen. Laat de lamp 24 uur staan. Leeg de inhoud van de beker daarna op een donker gekleurd bord en tel het aantal springstaarten en mijten met een vergrootglas. 20 g grond moet ongeveer 20-30 springstaarten en mijten bevatten.



Foto: Opstelling om zelf springstaarten en mijten te meten (Natuurlijk in Balans, 2002)

Indicatorwaarde

Springstaarten en mijten zijn wat betreft biomassa minder belangrijk dan andere onderdelen van het bodemleven maar komen op verschillende plaatsten terug in het bodemvoedselweb. Ze staan vaak bovenaan in de bodemvoedselketen en hebben in die zin een sturing op het functioneren van het web. De verdeling van springstaarten en mijten over voedselgroepen en overlevingsstrategieën geeft informatie over de actuele omstandigheden en zegt iets over de mogelijkheid om op veranderingen in het milieu te reageren (Schouten e.a., 2000). Daarnaast zijn de springstaarten die in een bodem aanwezig zijn, een goede indicator voor de microstructuur: grote soorten wijzen op ruime poriën en kleinere soorten kunnen wijzen op bodemverdichting. In een experiment op Rothamstaedt is het aantal mijten en springstaarten met een bepaalde lichaamsgrootte gemeten (zie figuur 14.1). De verdeling naar



Figuur 14.1: Verdeling van mijten en springstaarten op lichaamsgrootte in 3 gewassystemen op één experimentele locatie (Park en Cousins, 1995)

lichaamsgrootte zou naast een indicator voor microstructuur mogelijk een maat kunnen zijn voor de functionele biodiversiteit.

Het bovenstaande maakt springstaarten en mijten een interessante indicator voor het functioneren van het bodemvoedselweb. Echter met de huidige meetmethode, zoals uitgevoerd in het BoBi-project, lijken springstaarten en mijten als indicator maar voor een beperkte groep onderzoeken geschikt vanwege de kosten en de tijdsduur van de analyse. Zowel voor de praktijk als voor het praktijkonderzoek is het belangrijk dat er een procedure komt om springstaarten en mijten gemakkelijk te kunnen indelen in voedselgroepen en eventueel in grootte. De vraag blijft of een grove indeling van springstaarten op uiterlijke kenmerken en leefomgeving bruikbaar is (zie paragraaf 14.1.1). Daarnaast is het de vraag of deze indicatorfunctie niet uitgebreid moet worden naar andere geleedpotigen, zoals kevers, mieren, spinnen, duizendpoten en miljoenpoten. Deze geleedpotigen vormen gedeeltelijk de link tussen het ondergronds- en bovengronds voedselweb. Voor natuurbeheerders is een monitoringsysteem ontwikkeld bestaande uit 44 soorten insecten en spinnen waarmee de natuurwaarde in graslanden kan worden bepaald (Wingerder e.a., 1990).

14.6 Onderzoeksvragen

In paragraaf 14.3 zijn tijdreeksen besproken van het verloop van springstaarten op bouwland. Voor de biologische melkveehouderij is het belangrijk meer inzicht te krijgen in het seizoensverloop van soorten springstaarten en mijten op gras en gras/klaver. Hierbij is het verschil tussen gras en gras/klaver belangrijk, om te zien welke rol springstaarten en mijten in het najaar kunnen spelen bij het vastleggen van de door klaver gebonden stikstof. Daarnaast zou het effect van beweiding op springstaarten en mijten meer uitgewerkt moeten worden.

Literatuur

Anonymous (2002). IFOAM-standards.

Andersen N.C. (1983). Nitrogen turnover by earthworms in arable plots treated with farmyard manure and slurry. In: Earthworm ecology: from Darwin to vermiculture. Satchell, J.E (ed). Chapman and Hall. London: pp 67-105.

Al-Baakri K.H. (1984). Biological influences in the development of soil structure. PhD Thesis University College of Wales, Aberystwyth.

Baar J. (1995). Ectomycorrhizal fungi of scots pine as affected by litter and humus. Proefschrift Landbouw Universiteit, Wageningen.

Baars T. (2002). Reconciling scientific approaches for organic farming research. Part II. Effects of manure types and white clover cultivars on the productivity of grass-clover mixtures grown on a humid sandy soil. Proefschrift Wageningen Universiteit. pp 346.

Baars B. (2000). Micro-Farming: oud nieuws in een nieuw jasje. Stichting Weg Raap.

Bardgett R.D., J.L. Mawdsley, S. Edwards, P.J. Hobbs, J.S. Rodwell & W.J. Davies (1999). Plant species and nitrogen effect on soil biological properties of temperate upland grasslands. *Functional Ecology* 13, 650-660.

Bardgett R.D. & E. McAlister (1999). The measurement of soil fungal:bacterial biomass ratios as an indicator of ecosystem self-regulation in temperate meadow grasslands. *Biology and Fertility of Soils* 29, 282-290.

Bardgett R.D. & R. Cook (1998). Functional aspects of soil animal diversity in agricultural grasslands. *Applied Soil Ecology* 10, 263-276.

Bardgett R.D. & E. McAlister (1998). The measurement of soil fungal: bacterial biomass ratios as an indicator of ecosystem self-regulation in temperate meadow grasslands. *Biol. Fertil. Soils* 29, 282-290.

Bardgett R.D., R.D. Lovell, P.J. Hobbs, S.C. Jarvis (1998). Seasonal changes in soil microbial communities along a fertility gradient of temperate grasslands. *Soil Biology and Biochemistry* 31, 1021-1030.

Bardgett R.D., J.C. Frankland & J.B. Whitaker (1993). The effects of agricultural management on the soil biota of some upland grasslands. *Agricultural, Ecosystems and Environment* 45, 25-45.

Beare M.H., P.H. Williams & K.C. Cameron (1999). On-farm monitoring of soil quality for sustainable crop production. Proceedings of the Fertilizer and Lim Research Centre Conference, Massey University, New Zealand. pp 81-90.

Beare M.H., D.C. Coleman, D.A. Crossley Jr., P.F. Hendrix & E.P. Odum (1995). A hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling. *Plant Soil* 170, 5-22

Beck, Th. (1968). *Mikrobiologie des Bodens*. Bayer. Landw. Verlag. Munchen

Bingham S., E. Lee, J. Rex. Lee & the Rock Point Range Management Project (1984). Living from livestock: Range management and ranch planning for Navajo Country.

Bloem J. & A.M. Breure (2003) Microbial indicators. In: Bioindicators/Biomonitoring-Principles, Assessment, Concepts. Markert B.A., A.M. Breure & Zechmeister (ed.). Elsevier, Amsterdam.

Bloem J., T. Schouten, W.A.M. Didden, G. Jagers op Akkerhuis, H. Keidel, M. Rutgers & A.M. Breure (2003). Measuring soil biodiversity: experiences, impediments and research needs. OECD expert meeting on soil erosion and soil biodiversity indicators. Rome, Italy.

Bloem J., P.C. de Ruiter & L.A. Bouwman (1997). Food webs and nutrient cycling in agro-ecosystems. In: Modern Soil Microbiology. Van Elsas J.D., J.T. Trevors and E. Wellington (ed.). pp 245-278. Marcel Dekker Inc. New York.

Bloem J., M. Veninga & J. Shepherd (1995). Fully automatic determination of soil bacterium number, cell volumes and frequencies of dividing cells by confocal laser scanning microscopy and image analysis. *Appl. Environ. Microbiol.* 61, 926-936.

Bokhorst J. & E. Heeres (2003). *Cursusmateriaal Bodem in zicht: kijken, oordelen en handelen*. Louis Bolk instituut, Driebergen.

Bokhorst J. & C. ter Berg (2001). *Cursusmateriaal Kijken naar grond*. Gaia en Coen ter Berg Advies, Driebergen.

Bokhorst J. & C. Koopmans (2001). *Bemesting en bodemgebruik in de biologische landbouw. Stand van zaken en knelpuntenanalyse*. Louis Bolk Instituut, Driebergen. pp 81.

Boerderij (2000). Regenwormen veroorzaken versmering kleigrond. *Boerderij/akkerbouw* 16.

Boerderij (2001). Vinasse is goedkope bodemverbeteraar. *Boerderij/akkerbouw* 16.

Boerderij (2002). Aardappelen op probleempercelen niet meer te rooien wegens wormenplaag. *Boerderij/akkerbouw* 7.

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

Bongers, T., (1988). *De Nematoden van Nederland*. Natuurhistorische Bibliotheek van de KNNV, nr. 46. Pirola, Schoorl.

Brussaard L. (1998). Soil fauna, functional groups and ecosystem processes. *Applied soil ecology* 9, 123-135.

Brussaard L. & J. Bloem (2002). *Veranderend bodemleven in een veranderende landbouw. Oorzaken en gevolgen van een verandering in schimmel/bacterie verhouding in grasland agro-ecosystemen*. Promotie voorstel, Wageningen Universiteit.

Brussaard L., Behan-Pelletier, V.M., Bignell, D.E., Brown, V.K., Didden, W.A.M., Folgarait, P.J., Fragoso, C., Freckman, D.W., Gupta, V.V.S.R., Hattori, T., Hawksworth, D.L., Klopatek, C., Lavelle, P., Walloch, D., Rusek, J., Söderström, B., Tiedje, J.M., Virginia, R.A., 1997. Biodiversity and ecosystem functioning in soil. *Ambio* 26(8), 563-570.

Chan K. & K. Munro. (2001). Evaluating mustard extracts for earthworm sampling. *Pedobiologia* 45, 272-278.

- Curl M. & R.T. Wilkins (1983). The comparative effects of defoliation, treading and excreta on a *Lolium perenne*-*Trifolium repens* pasture grazed by sheep. *Journal of Agricultural Science* 100, 451-460.
- Curry J.P. (1994). *Grasland Invertebrates. Ecology influence on soil fertility and effects on plant growth.* Chapman & Hall.
- Curry J.P. (1987). The invertebrate fauna of grassland and its influence on productivity. II. Factors affecting the abundance and composition of the fauna. *Grass and Forage Science* 42, 197-212.
- Darbyshire J.F. & Greaves, M.P. (1967). Protozoa and bacteria in the rhizosphere of *Sinapis alba* L., *Trifolium repens* L. and *Lolium perenne* L. *Canadian Journal of Microbiology* 13, 1057-1068.
- De Goede R. & L. Brussaard (2001 a). Voorlopige resultaten van het bodembologisch onderzoek binnen de veldproef van het Mineralenproject VEL en VANLA: Effecten van toevoegmiddelen en mestaanwending op de bodemfauna en bodemrespiratie. In: Een nieuw milieuspoor: Tussenrapportage mineralenproject VEL en VANLA 1998-2000. Verhoeven F. (ed.). Wageningen Universiteit en Praktijkonderzoek veehouderij. pp 21.
- De Goede R. & L Brussaard. (2001 b). Bodembologische onderzoek op 12 melkveebedrijven binnen het Mineralenproject VEL en VANLA: Effecten van toevoegmiddelen op de bodemfauna en mycorrhiza's. In: Een nieuw milieuspoor: Tussenrapportage mineralenproject VEL en VANLA 1998-2000. Verhoeven F. (ed.). Wageningen Universiteit en Praktijkonderzoek veehouderij. pp 27.
- De Ruiter P.C., J.A. Ven Veen, J.C. Moore, L. Brussaard & H.W. Hunt (1993). Simulation of nitrogen mineralization in soil food webs. *Plant and Soil* 157, 263-273.
- De Ruiter P.C., A.M. Neutel & J.C. Moore (1995). Energetics, patterns of interaction strengths and stability in real ecosystems. *Science* 269, 1257-1260.
- Deinum B. (1985). Root mass of grass swards in different grazing systems. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 33, 377-384.
- Didden W.A.M. (1991) Population ecology and functioning of Enchytraeidae in some arable farming systems. Preofschrift Wageningen Universiteit. pp 116.
- Doeksen J., (1957). Regenwormen, bemesting en grondbewerking. *Stikstof* 16, 123-135.
- Donnison L.M., G.S. Griffith, J. Hedger, P.J. Hobbs & R.D. Bardgett (2000). Management influences on soil microbial communities and their function in botanically diverse haymeadows of northern England and Wales. *Soil Biology & Biochemistry* 32, 253-263.
- Dunger, W. (1964). *Tiere in bodem, Ziemen verslag, Wittenberg.*
- Edwards C.A. & J.R. Lofty, (1982). Nitrogenous Fertilizers and earthworm populations in agricultural soils.
- Egeraat A.W.S.M. (1998). Micro-organismen in EM1. Op: www.agriton.nl.
- Emmerling C. & U. Hampl (2002). Wie sich reduzierte Bodembearbeitung auswirkt. *Okologie & Landbau* 124, 4/2002.
- Ennik G.C. (1981). *Grasgroei en beworteling. CABO-verslag nr. 38. Centrum voor Agro Biologisch Onderzoek, Wageningen.*

Ennik G.C., M. Gillet & L. Sibma (1980). Effect of high nitrogen supply on sward deterioration and root mass. The role of nitrogen in intensive grassland production. Prins W.H. & G.H. Arnol (ed.). Pudoc, Wageningen. pp 67-76.

Ettema C.H. & T. Bongers, (1992). Characterization of nematode colonization and succession in disturbed soil using the Maturity Index. *Bio. Fertil Soils* 16, 79-85.

Evans P.S. (1977). Comparative root morphology of some pasture grasses and clovers. *N.Z. Journal Agricultural Research* 20, 331-335.

Evans P.S. (1978). Plant root distribution and water use patterns of some pasture and crop species. *N.Z. Journal of Agricultural Research* 21, 261-265.

Frey S.D., E.T. Elliott & K. Paustian (1998). Bacterial and fungal abundance and biomass in conventional and no-tillage agroecosystems along two climatic gradients. *Soil Biology & Biochemistry* 31, 573-585.

Ferris H., T. Bongers & R.G.M. de Goede (2001). A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept. *Applied Soil Ecology* 18, 13-29.

FIBL Dossier, (2003). Inzichten door een 21 jaar durende veldproef. Biologische landbouw bevordert bodemvruchtbaarheid en biodiversiteit. Dossier 1.

Foissner W. (1994). Soil protozoa as bioindicator in ecosystems under human influences. In: *Soil protozoa*. Darbyshire, J.F. (ed). CAB International, Wallingford, UK. pp 147-194.

Foissner W. (1999). Soil protozoa as bioindicators: pros and cons, methods, diversity, representative examples. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74, 95-112

Foissner W. (1987). Soil protozoa: fundamental problems, ecological significance, adaptations in ciliates and testaceans, bioindicators, and guide to literature. *Progress in Protistology* 2, 69-212.

Freckman D.W. (1979). Linking biodiversity and ecosystem functioning of soils and sediments. *Ambio* 26, 556-562.

Frissen P., R. Dubbeldam, M. Bloem & A.J. Rimmelzwaal (1992). De invloed van voorvrucht en bemesting op zomergerst: infectie met V.A. Mycorrhiza en de opname van mineralen. Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat. Directie Flevoland (Werkdocument).

Goedewagen M.A.J. (1954). De oecologie van het wortelstelsel der gewassen. In: *De plantenwortel in de landbouw*. Voordrachten in het kader van het Nederlands Genootschap voor Landbouwwetenschap.

Gollner M. & B. Freyer (2002). The effect of crop rotation on the arbuscular mycorrhiza (AM) in organic farming systems-legumes versus grasses. In: *Quality legume-based forage systems for contrasting environments*. Proceedings of the kick-off meeting Solsona, Spain. Helgadóttir, A. en S. Dalmannsdóttir (ed.). Reykjavik, Iceland.

Griffiths B.S. (1994). Soil Nutrient Flow. In : *Soil Protozoa*. Darbyshire, J.F. (ed.). CAB International, Wallingford, UK, pp. 65-91.

Griffiths B.S. (1989). The role of bacterial feeding nematodes and protozoa in rhizosphere nutrient cycling. *Aspects of Applied Biology* 22, 141-145.

- Grime J.P., Mackey, J.M., Hillier, S.H. & Read, D.J. (1987). Floristic diversity in a model system using experimental microcosms. *Nature* 328, 420-422.
- Hansen S. & F. Engelstad (1999). Earthworm populations in a cool and wet district as affected by tractor traffic and fertilisation. *Applied Soil Ecology* 13, 237-250.
- Hassink J. & J.J. Neeteson (1991). Effect of grassland management on the amounts of soil organic N and C. *Neth. J. Agric. Sci.* 39, 225-236.
- Hawker L. E. & A.H. Linton (1979). *Micro organism: function, form and environment*. 2nd edition, Arnold, London.
- Hendrix R. (2000). *Dictaat Bodemkunde Biologische Landbouw*. Ontwikkelcentrum, Ede.
- Holter P. (1983). Effect of earthworms on the disappearance rate of cattle droppings. In: *Earthworm ecology: from Darwin to vermiculture*. Satchell, J.E (ed.). Chapman and Hall. London: pp 49-57.
- Hoogerkamp M., H. Rogaar & H.J.P. Eysackers (1983). Effects of earthworms on grassland on recently reclaimed polder soils in the Netherlands. In: *Earthworm ecology: from Darwin to vermiculture*. Satchell, J.E (ed.). Chapman and Hall. London: pp 85-105.
- Hoving I.E. & A.P. Philipsen (1999). *Beregen op maat op melkveebedrijven*. Praktijkonderzoek Veehouderij, Publicatie 138, Lelystad.
- Hulscher M & E. Lammerts van Bueren (1999). *Zaadoverdraagbare ziektes. Pilotstudie naar tolerantiedrempels in de biologische zaadvermeerdering – fusarium spp in tarwe*. Louis Bolk Instituut, Driebergen.
- Ingham I. (2001). Workshop "Het bodemvoedselweb onder gras". Georganiseerd door Compara International, Arena, Amsterdam.
- Ingham R.E. & J.K. Detling (1984). Plant-herbivore interactions in a North American mixed-grass prairie. *Oecologia* 63, 307-313.
- Ingham R.E., J.A. Trofymow, E.R. Ingham & D.C. Coleman. (1985). Interactions of bacteria, fungi, and their nematode grazers: effects on nutrient cycling and plant growth. *Ecological monographs* 55(1), 119-140.
- Jørgensen M., M. Vileid, I. Sturite & T. Henriksen. Effect of defoliation regime and climate on dry matter allocation of white clover. In: *Quality legume-based forage systems for contrasting environments*. Proceedings of the kick-off meeting Solsona, Spain. Helgadóttir, A. en S. Dalmannsdóttir (ed.). Reykjavik, Iceland.
- Keltjens W.G. (1999). Verhoogde fosfaatvoeding van planten op P-arme gronden als gevolg van symbiose met Mycorrhiza. *Meststoffen*, 49-56.
- Kloen H. (1988). *Introductie en handhaving van regenwormen in gemengde biologische bedrijven*. Scriptie Landbouw Universiteit Wageningen.
- Koopmans C. & L. Brands. (2003). *Testkit bodemkwaliteit; ondersteuning van duurzaam bodembeheer*. Louis Bolk Instituut, Driebergen.

- Korthals G. & W. van der Putten (2001). Strooien met natuur: de cruciale rol van het bodemleven. *De Levende Natuur*, 3-6.
- Kremer R.J., E.H. Ervin, M.T. Wood & D. Abuchar. (1999). Control of *Sclerotinia homoeocarpa* in Turfgrass using Effective Microorganisms. In: Sixth International conference on Kyusei Nature Farming in Pretoria. Senanayake Y.D.A. & U.R. Sangakkara (ed.). South Africa.
- Kruk M. (1994). Meadow bird conservation on modern commercial dairy farms in the western peat district of the Netherlands: possibilities and limitations. Proefschrift Rijks Universiteit van Leiden.
- Lammerts van Beuren E.T. (2002). Organic plant breeding and propagation: concept and strategies. Proefschrift Wageningen Universiteit. pp 208.
- Lawrence A.P. & M. A. Bowers (2002). A test of 'hot' mustard extraction method of sampling earthworms. *Soil Biology & Biochemistry* 34, 549-552.
- Lee K.E. (1985). Earthworms. Their ecology and relationship with soils and land use. Academic Press, Orlando.
- Mackay A.D., J.K. Syers, J.A. Springett & P.E.H. Gregg (1982). Plant availability of phosphorus in superphosphate and a phosphate rock as influenced by earthworms. *Soil. Biol. Biochem.* 14, 281-287.
- Mäder P., A. Fliessbach, D. Dubois, L. Gunst, P. Fried & U. Niggli. (2002). Soil fertility and biodiversity in Organic farming. *Science* Vol 296, 1694-1697.
- Marinissen J.C.Y. (1995). Earthworms, soil-aggregates and organic matter decomposition in agro-ecosystems in The Netherlands. Proefschrift Wageningen Universiteit.
- Moldenke A.R. (2001) Arthropods. www.statlab.iastate.edu/survey/SQI/Soilbiology/arthropods.htm
- Mulder C., D.D.E. Zwart, H.J. van Wijnen, A.J. Schouten & A.M. Breure (2003). Observational and simulated evidence of ecological shifts within the soil nematode community of agroecosystems under conventional and organic farming. *Functional Ecology* 17.
- Mytton L.R., A. Cresswell & P. Colbourn (1993). Improvement in soil structure associated with white clover. *Grass and Forage Science*, Volume 48, 84-90.
- Noordwijk M. & I.B. Haren (1986). Beworteling en efficiënt gebruik van voedingsstoffen. In: E.T. Lammerts van Bueren & T. Vierhout (red.). *Alternatieve Landbouw. Verslag van een studiedag gehouden op 4 december 1986.*
- Oogst (2002). Lichtpuntjes in wormenstudie. *Oogst landbouw* - 15 maart.
- Oogst (2002). Aaltjes tegen slakken. *Oogst Landbouw* - 1 november.
- Park J. & S.H. Cousins (1995). Soil biological health and agro-ecological change. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 56, 137-148.
- Pfiffner L. & P. Mäder, (1997). Effects of Biodynamic, Organic and Conventional Production Systems on Earthworm Population. *Entomological Research in Organic Agriculture*, 3-10.
- Piek H., H. van Slogteren & N. van Heijst, (1998). Herstel van verzuurde hooilanden in De Wieden. *Levende Natuur* 7, 283-288.

- Plowright R.A. (1985). The host-parasite relationships of clovers and the clover cyst-nematode (*Heterodera trifolii* Goffart). A thesis submitted to the University of Wales Prifysgol Cymru in fulfilment of the requirements for the degree of Philosophiae Doctor. University College of Wales, Welsh Plant Breeding Station, Plas Gogerddan, Aberystwyth, Dyfed.
- Polis G.A. & K.O. Winemiller (1996). Food webs: integration of patterns and dynamics. Chapman & Hall, New York, pp 472.
- Postma J. (2000). Ziektewerendheid van mest en compost. Studiedag Lelystad Project Mest als Kans, Louis Bolk Instituut.
- Powell C. Li. (1977). Mycorrhizas in hill country soils. N.Z. Journal of Agricultural Research 20, 343-354.
- Raw F. (1962). Studies of earthworm population in orchards. Ann. App. Biol. 50, 389-424.
- Ritz K. & B.S. Griffiths (1987). Effects of carbon and nitrate additions to soil upon leaching of nitrate, microbial predators and nitrogen uptake by plants. Plant and Soil 102, 229-237.
- Rusek J. (1975). Die bodembildende funktion van Collembolen und acarinen. Pedobiologia 15, 299-308.
- Rutgers M., Bloem, J. & Groeneveld, K. (2002). Bodemleven, bodemkwaliteit en duurzaam bodemgebruik. RIVM. Report 607604004/2002.
- Ryan M.H. & J.H. Graham (2002). Is there a role for arbuscular mycorrhizal fungi in production agriculture? Plant and soil, 263-271.
- Ryan M.H., D.R. Small & J.E. Ash (2000). Phosphorus controls the level of colonisation by arbuscular mycorrhizal fungi in conventional and biodynamic irrigated dairy pastures. Australian Journal of Experimental Agriculture 40, 663-670.
- Savory A. (1988). Holistic Resource management. Island Press, Washington.
- Schinner F., R. Öhlinger, E. Kandeler & R. Margesin (1993). Bodenbiologische Arbeitsmethoden. Springer Verlag, Berlin.
- Setälä H. (2000). Reciprocal interactions between Scots pine and soil food web structure in the presence and absence of ecto-mycorrhiza. Ecology 125, 109-118.
- Schouten A.J., J. Bloem, A.M. Breure, W.A.M. Didden, M. van Esbroek, P.C. de Rooter, M. Rutgers, H. Siepel & H. Velvis (2000). Pilot project Bodembioologische Indicator voor Life Support Functies van de bodem. RIVM rapport 607604001.
- Schouten A.J. (2000). Bodembioologisch onderzoek op 5 BIOVEEM-bedrijven.
- Schouten A.J. (2002). Voorlopig verslag metingen op FIR-bedrijven uit programma Bodembioologische Indicator 2000
- Schouten A.J., J. Bloem, W. Didden, G. Jagers op Akkerhuis, H. Keidel & M. Rutgers (1999). Bodembioologische Indicator 1999. Ecologische kwaliteit van graslanden op zandgrond. RIVM Report 607604003/2002

Schuurmans J.J. (1954). De bewortelingsproblemen op grasland. In: De plantenwortel in de landbouw. Voordrachten in het kader van het Nederlands Genootschap voor Landbouwwetenschap.

Schuurmans J.J. & M.A.J. Goedewaagen (1971). Methods for examination of rootsystems and roots. Centre for Agriculture publishing and documentation, Wageningen. pp 86.

Siegrist S., D. Schaub, L. Pfiffner & P. Mäder (1998). Does organic agriculture reduce soil erodibility? The results of a long-term field study on loess in Switzerland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 69, 253-264.

Siepel H. (1996). Biodiversity of soil microarthropods: the filtering of species. *Biodiversity and Conservation* 5, 251-260.

Siepel H. (1994). Life history tactics of soil microarthropods. *Biol. Fertil. Soils* 18, 263-78.

Siepel H. & C.F. van de Bund (1988). The influence of management practises on the microarthropod community of grassland. *Pedobiologica* 31, 5/6.

Smeding F.W. en G.R. de Snoo, 2003. A concept of food-web structure in organic arable farming systems. *Landscape and Urban Planning* 65(4), 219-236.

Smith S.E. & D.J. Read (1997). *Mycorrhizal symbiosis*, second edition. The University press, Cambridge.

Sprangers J.T.C.M. & W.J. Arp (1999) Toetsingsparameters dijkgrasland. IBN-rapport. IBN-DLO.

Standen V. (1982). Associations of enchytraeidae (oligochaeta) in experimentally fertilized grasslands. *Journal of Animal Ecology* 51, 501-522.

Syers J.K. & J.A. Springett (1983). Earthworm ecology in grassland soils. In: *Earthworm ecology: from Darwin to vermiculture*. Satchell, J.E (ed.). Chapman and Hall. London: pp 67-105.

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

Tisdall J.M. & J.M. Oades (1979). Stabilisation of soil aggregates by root systems of rygrass. *Australian journal of soil research* 17, 429-441.

Van Amelsvoort P. & M. van Dongen (1986). Inventariserend onderzoek naar humificatie en mineralisatie op een biologisch dynamisch bedrijf. Landbouw Universiteit Wageningen.

Van Baal A.E. & J. van Bezooijen (2000). Rapport van veldproef te Heino. Wageningen UR.

Van Bruggen A.H.C. (1995). Plant Disease Severity in High-Input Compared to Reduced-Input and Organic Farming Systems, *Plant Disease* 79, 976-984.

Van der Heijden M., J.N. Klironomos, M. Ursicvan, P. Moutoglis, R. Streitwolf-Engel, T. Boller, A. Wiemken & I.R. Sanders. (1998). Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* 396, 69-72.

Van der Werff P.A., P. van Amelsvoort, J.C.Y. Marinissen & P. Frissen (1995). The influence of earthworms and Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza on the availability of phosphate in ecological arable farming. *Acta Zool. Fennica* 196, 41-44.

- Van Eekeren N. (2003). Projectrapportage evenwichtige verschraving van natuurgronden: Voordeel voor natuur en landbouw. Pilotstudy bij het Hengstven. Overlegplatform de Duinboeren, Natuurmonumenten en Louis Bolk Instituut. Driebergen.
- Van Erp P.J., G. Velthof & J. Nelemans (1999). Effect of EM present in the soil and soil-plant systems. www.agriton.nl.
- Van Esbroek M.L.P., J.R.M. Alkemade & A.J. Schouten (1995). Landelijk Meetnet Bodemkwaliteit. RIVM.
- Van Liere M. (2000). De visie van Wilfried Holz op Ridderzuring. Vlugschriften Louis Bolk Instituut 43.
- Van Rhee J.A. (1970). De regenwormen van Nederland. KNNV, Hoogwoud.
- Natuurlijk in Balans (2002). Natuurlijk in Balans; Thema bodem. Mineralenproject VEL&VANLA.
- Velvis H. (1997). Evaluation of the selective respiratory inhibition method for measuring the ratio of fungal:bacterial activity in acid agricultural soils. *Biol. Fertil. Soils* 25, 354-360.
- Vertes F., L. Le Corre, J.C. Simon, J.M. Rivière (1988). Effets du piétinement de printemps sur un peuplement de trèfle blanc pur ou en association. *Fourrages* 116, 347-366.
- Vinten J.A., A.P. Whitmore, J.Bloem, R. Howard & F.Wright (2002). Factors affecting N immobilisation/mineralisation kinetics for cellulose, glucose and straw amended sandy soils. For submission to *Biology and Fertility of Soils*.
- Whalen J.K. & R.W. Parmelee (2000). Earthworm secondary production and N flux in agroecosystems: a comparison of two approaches. *Oecologia* 124, 561-573.
- Wingerden K.R.E., F. Maaskamp & H. Siepel (1990). Het grasland aan de monitor: bewaking van stikstofbelasting met behulp van insecten en spinnen. *De Levende Natuur* 5.
- Yeates G.W., R.D. Bardgett, R. Cook, P.J. Hobbs, P.J. Bowling & J.F. Potter (1997). Faunal and microbial diversity in three Welsh grassland soils under conventional and organic management regimes. *Journal of Applied Ecology* 34, 453-470.
- Young D.J.B. (1957). A study of the influence of nitrogen on the root weight and nodulation of white clover in a mixed sward.
- Younie D. & G. Armstrong. Botanical and invertebrate diversity in organic and intensively fertilised grassland.
- Zwart K.B., A.P. Whitmore, & J. Bokhorst. (1999). Beheer van organische stof in open biologische, ecologische en geïntegreerde teeltsystemen. Rapport 102 AB-DLO. pp 88.