



# 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

(grauwe 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/m<sup>2</sup> (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 <sup>2</sup>	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/m<sup>2</sup>. 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/m<sup>2</sup>. Op bedrijven met grondwatertrappen VI en VII kwamen respectievelijk 403 en 490 regenwormen per m<sup>2</sup> 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/m<sup>2</sup> 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.

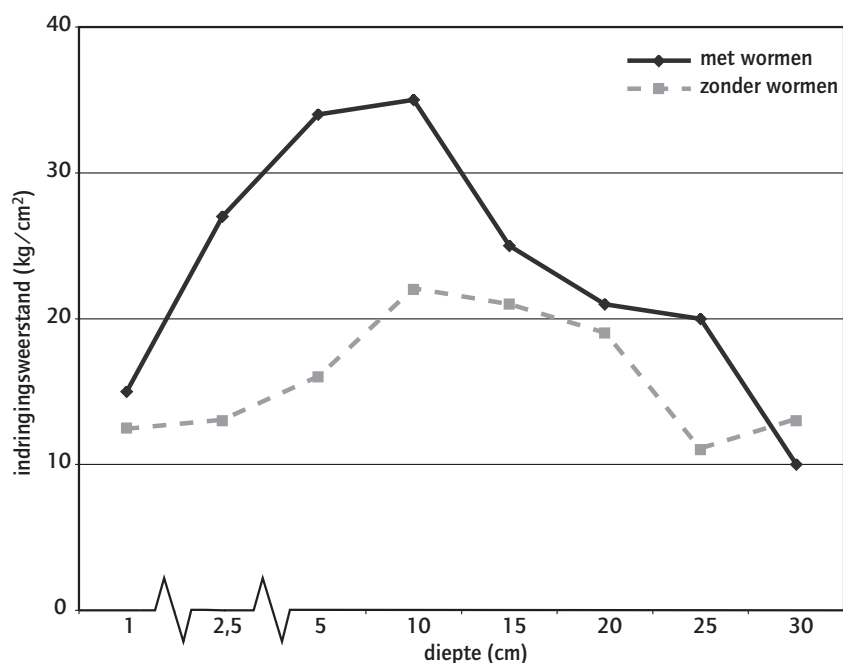
#### *Bodemstructuurverbetering door aggregaatvorming*

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.

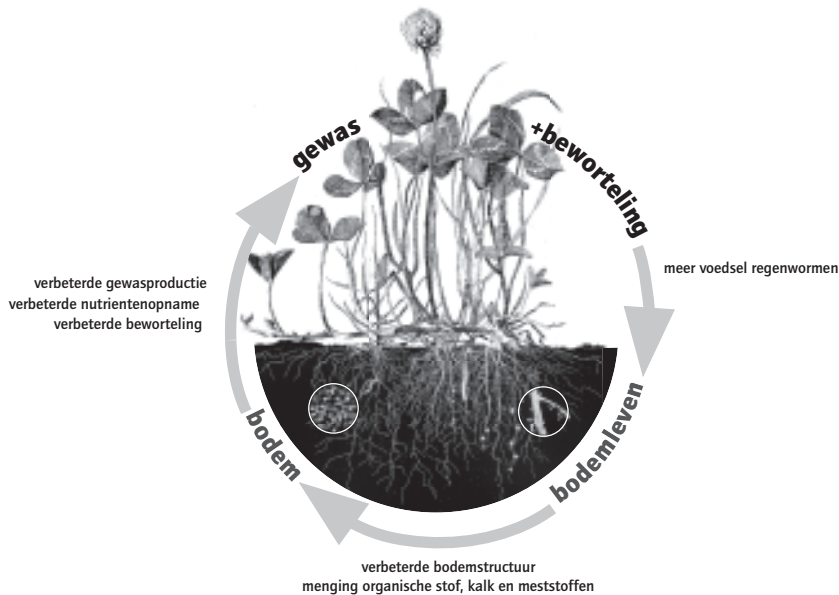
### *Beworteling*

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 kolonisationsnelheid 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 <sup>2</sup>	478	642
Strooisel bewoners <sup>1)</sup> %	14	5
Bodem bewoners <sup>1)</sup> %	82	83
Pendelaars <sup>1)</sup> %	4	12

<sup>1)</sup> 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 <sup>2</sup>	672	478	572
Strooisel bewoners <sup>1)</sup> %	4	15	6
Bodem bewoners <sup>1)</sup> %	86	82	85
Pendelaars <sup>1)</sup> %	10	3	9

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

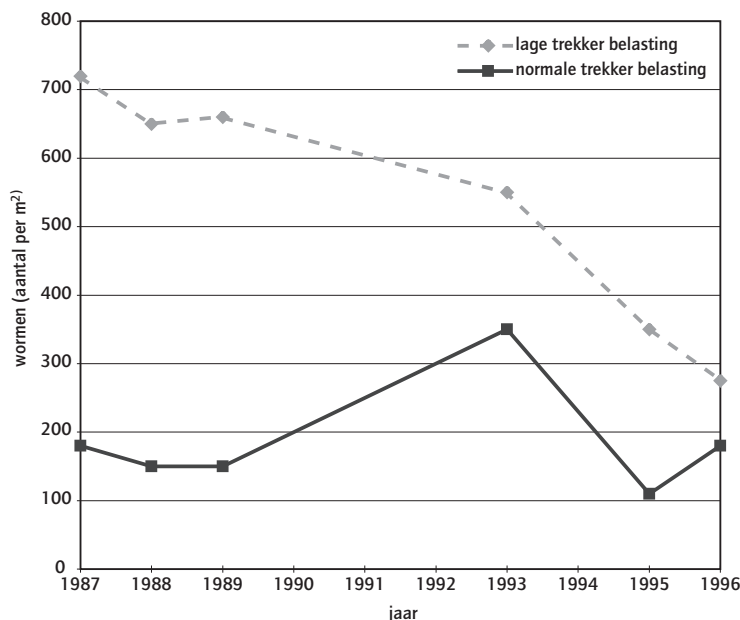
<sup>1)</sup> % van totaal aantal wormen

#### *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 <sup>2</sup>	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. Discustabel 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 m<sup>2</sup> 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/m<sup>2</sup> 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/m<sup>2</sup> beter is dan 100 wormen/m<sup>2</sup>. 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 m<sup>2</sup>). 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 <sup>2</sup>	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

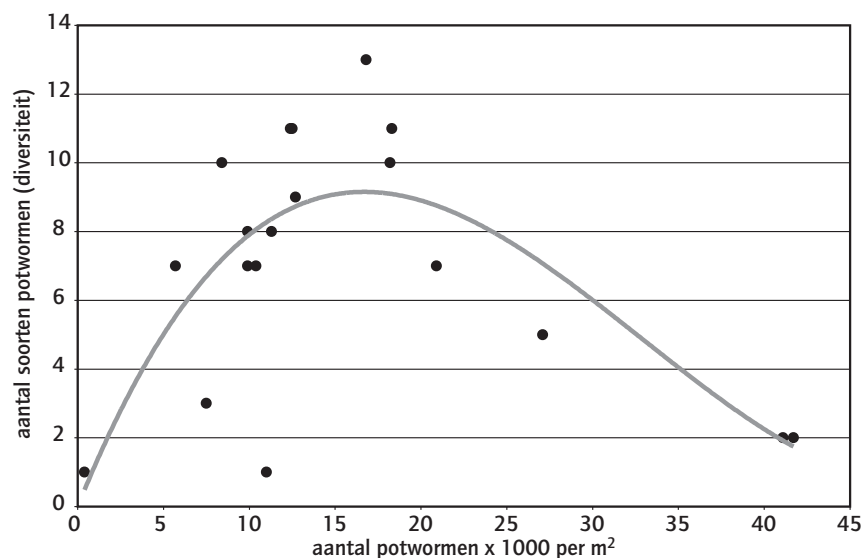
### 13.3 Functionaliteit

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



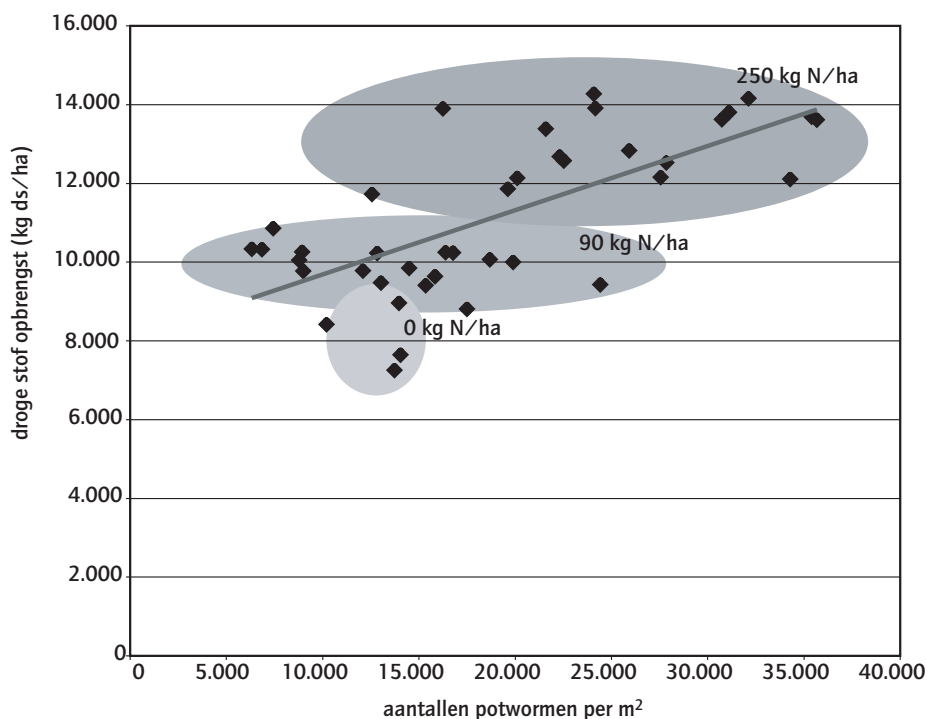
Figuur 13.1: Relatie tussen aantallen potwormen per m<sup>2</sup> en aantal soorten (Standen, 1982)

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 m<sup>2</sup> (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 <sup>2</sup> 0-15 cm	7097	10802	9336
Aantal per m <sup>2</sup> 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 sprieten 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 sprieten 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/m<sup>2</sup>) in vergelijking met intensief grasland (33.600/m<sup>2</sup>) (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 <sup>2</sup> 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

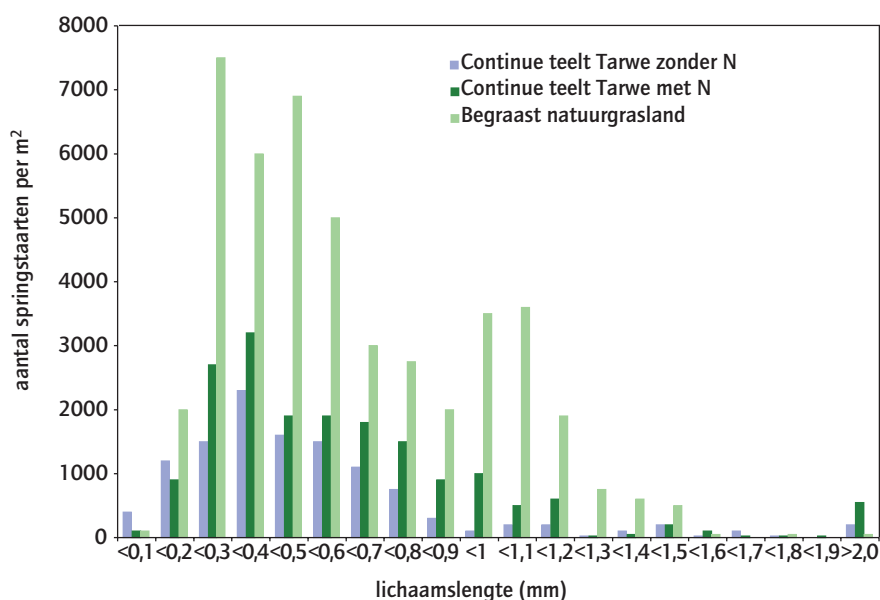
In *Natuurlijk in balans* (2002) staat de volgende handleiding beschreven om zelf springstaarten en mijten te meten: Vul een beker met ongeveer 1 cm ethanol. Zet hierop een trechter waarover een stuk gaas is gespannen met een maaswijdte van 1-2 mm. Leg op de gaas 20 gram grond van de bovenste 2-3 cm 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 Praktijonderzoek 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 Praktijonderzoek 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, Ziemsen 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](http://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. Dalmanndóttir (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](http://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). Ziekteverendheid 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. *Ecologia* 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](http://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.