



***Regenwormen
op het melkveebedrijf***

*Handreiking voor herkennen,
benutten en managen*

Nick van Eekeren,

Jan Bokhorst,

Joachim Deru,

Jan de Wit

Verantwoording

Deze brochure is onderdeel van het project *Levende waterbenutting grasland: Gebruik en behoud van pendelende regenwormen in grasland op zandgrond*. Dit onderzoeksproject is gefinancierd door het Productschap Zuivel met co-financiering van het project Boeren en Agro-biodiversiteit Noord-Brabant (BAB).

Doel van het project (2011-2013) is het behoud van de specifieke water-regulerende functie van de pendelende regenworm voor melkveebedrijven. In het project is het voorkomen van pendelaars in Noord-Brabant geïnventariseerd, het verlies aan pendelaars in een korte termijn vruchtwisseling onderzocht, een literatuurstudie gedaan naar maatregelen om pendelaars te stimuleren en onderzoek gedaan naar de introductie van pendelaars onder praktijkomstandigheden.

In deze brochure worden handreikingen gegeven voor de praktijk, waarbij zowel strooiselbewonende, bodembewonende en pendelende regenwormen aan bod komen.



Nick van Eekeren, Jan Bokhorst, Joachim Deru, Jan de Wit

www.louisbolk.nl
info@louisbolk.nl
T 0343 523 860
F 0343 515 611
Hoofdstraat 24
3972 LA Driebergen

© Louis Bolk Instituut 2014

Foto's: Johannes Bauchhenß (p 11, 13, 14, 16, 20, 21, 24L, 26),
Herman de Boer (p 35), Jan Bokhorst (p 6, 9, 10, 15, 20, 21),
Erik Brouwer (p 34), Lijbert Brussaard (p 37), Nick van Eekeren
(p 1, 10, 17, 24R, 36), GAW (p 19L), Goaitske Iepema
(p 4, p 40), Piet de Poorter (p 19R).

Ontwerp: Fingerprint Eindredactie: Lidwien Daniels
Druk: Drukkerij Kerckebosch

Deze uitgave is per mail of website te bestellen
onder nummer 2014-004 LbD

Inhoud

- 1 Inleiding en leeswijzer - 5
- 2 Wormen als onderdeel van bodemkwaliteit en bodemleven - 6
 - 2.1 Wormen en bodemkwaliteit
 - 2.2 Wormen als onderdeel van het bodemleven
 - 2.3 Soorten regenwormen
- 3 Regenwormen zijn belangrijk voor? - 10
 - 3.1 Afbraak van organisch materiaal
 - 3.2 Beschikbaar maken van nutriënten
 - 3.3 Behoud van bodemstructuur
 - 3.4 Menging van gronddeeltjes
 - 3.5 Waterinfiltratie
 - 3.6 Beworteling
 - 3.7 Verspreiding van ander bodemleven
 - 3.8 Botanische samenstelling
 - 3.9 Gewasopbrengst
 - 3.10 Voedsel voor weidevogels en andere dieren
- 4 Meten en beoordelen van regenwormen - 20
 - 4.1 Bovengrondse sporen van wormen
 - 4.2 Ondergrondse sporen van regenwormen
 - 4.3 Aantallen wormen
 - 4.4 Wormensoorten en -groepen
- 5 Factoren en maatregelen die regenwormen beïnvloeden - 24
 - 5.1 Inleiding
 - 5.2 Landgebruik
 - 5.3 pH en bekalken
 - 5.4 Gewaskeuze
 - 5.5 Graslandmanagement
 - 5.6 Landschapselementen
 - 5.7 Introductie door enten

Maatregelen op een rij - 39





1. Inleiding en leeswijzer

Op een melkveebedrijf zijn regenwormen belangrijk voor de afbraak van organische stof, het beschikbaar maken van nutriënten, behoud van bodemstructuur, menging van gronddeeltjes, waterinfiltratie, beworteling en uiteindelijk voor gewasopbrengst. Ook zijn wormen voedsel voor bovengrondse fauna. Pas als regenwormen door omstandigheden plotseling wegvallen, worden we ons bewust van de functies. Bijvoorbeeld nadat het grasland werd gediepploegd, kwam een melkveebedrijf erachter dat door de verstoring van gangen van de pendelende regenworm de drainage op dit perceel sterk was verslechterd (zie ook kader Unieke functie van pendelaars). In deze brochure willen we "het paard voor de wagen spannen" en aangeven hoe melkveehouders de regenworm beter kunnen benutten door meer inzicht in:

- Groepen wormen als onderdeel van bodemkwaliteit (Hoofdstuk 2)
- Waar regenwormen belangrijk voor zijn? (Hoofdstuk 3)
- Herkennen van regenwormen (Hoofdstuk 4)
- Factoren en maatregelen die regenwormen beïnvloeden (Hoofdstuk 5)

Unieke functie van pendelaars

De groep van de pendelaars is in Nederland vertegenwoordigd door twee soorten: de Lumbricus terrestris en Aporrectodea longa. Deze groep wormen is uniek in zijn functie in de bodem. Pendelaars leven in gangen tot wel drie meter diep. Deze gangen hebben belangrijke functies in de bodem. De aanwezigheid van pendelaars kan de waterinfiltratie verdubbelen en wortels gebruiken de gangen om tot diepere lagen te komen. Hierdoor kunnen het beschikbare water en de nutriënten beter benut worden. Deze functies kunnen niet door andere onderdelen van het bodemleven worden overgenomen. Door het meerjarige karakter van grasland zijn dit ook geen functies die makkelijk door mechanische grondbewerking kunnen worden overgenomen. Gezien de veranderende klimaatomstandigheden (periodes met hevige regenval maar ook langere periodes van droogte) zijn dit net wel de diensten van het bodemleven die de melkveehouderij steeds meer nodig heeft.

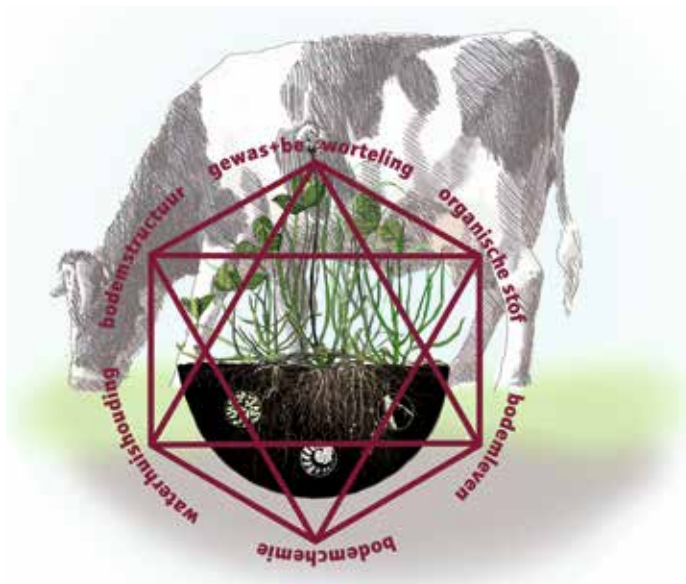
< Een pendelaar kruipt uit zijn permanente gang.

2. Wormen als onderdeel van bodemkwaliteit en bodemleven

2.1 Wormen en bodemkwaliteit

Bodemkwaliteit in samenhang

Regenwormen maken een belangrijk deel uit van het bodemleven. Bodemleven is één van de zes elementen die de bodemkwaliteit bepaalt, zie figuur 2.1.



Figuur 2.1: De samenhang van deze elementen bepaalt de bodemkwaliteit.



Bodemkwaliteit in samenhang. Bovenste foto: een rivierklei met een slechte ontwatering en daardoor geen bodemleven (o.a. wormen) en slechte structuur. Onderste foto: hetzelfde perceel met goede ontwatering, wormen, wortels en een kruimelstructuur.



Voor achtergronden over beworteling, het beoordelen van beworteling, en maatregelen die beworteling beïnvloeden, raadpleeg de brochure **Terug naar de graswortel**.

www.louisbol.nl

LbD2011-023

2.2 Wormen als onderdeel van het bodemleven

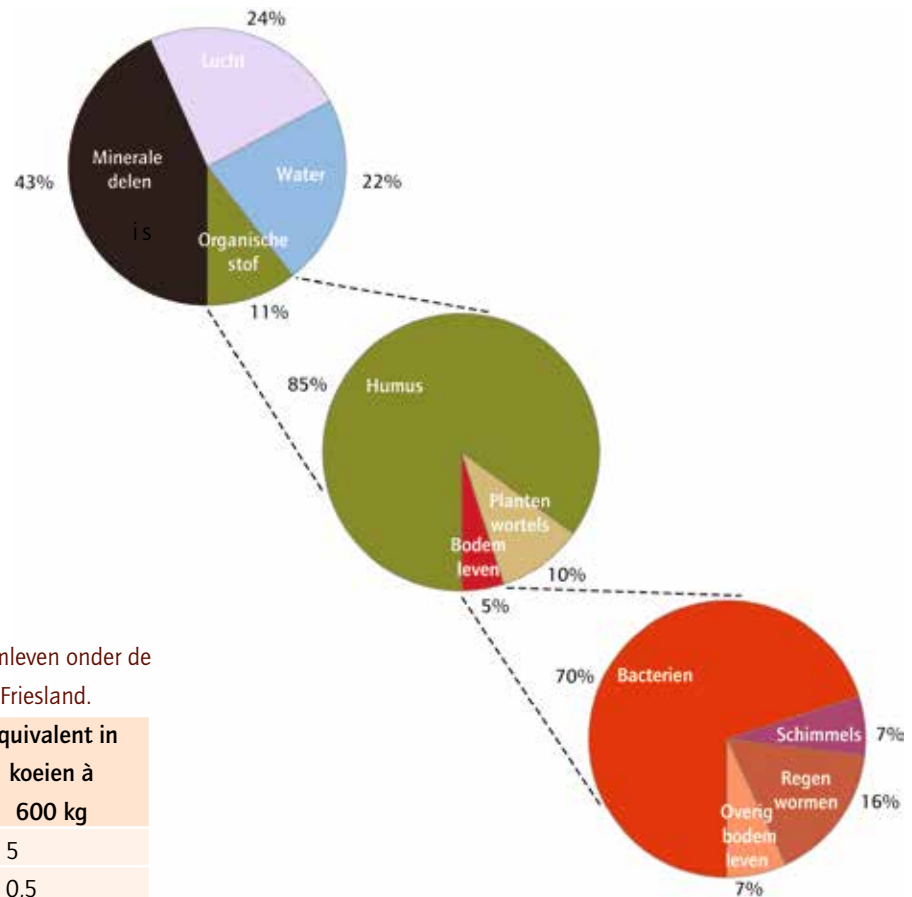
Onderverdeling bodemleven

In de bodem maakt het bodemleven ongeveer 5% van de organische stof uit (figuur 2.2). De graszode van een melkveehouder in Drachten bevat ongeveer 4500 kg levend gewicht aan bodemleven per hectare. Dat is gelijk aan het gewicht van 7 melkkoeien boven de grond (zie tabel 2.1). Het grootste deel van het bodemleven bestaat uit bacteriën (70%). Ook schimmels maken een substantieel deel uit, afhankelijk van de bodem en omstandigheden. Wormen maken op een melkveebedrijf plus minus 15% van het bodemleven uit.

Tabel 2.1: Onderverdeling en levend gewicht van bodemleven onder de graszode (laag 0-10/15 cm) van een melkveebedrijf in Friesland.

Bodemleven	Levend gewicht kg/ha ¹⁾	Equivalent in koeien à 600 kg
Bacteriën	3000	5
Schimmels	300	0,5
Protozoën	100	0,17
Nematoden	10	0,02
Springstaarten/Mijten	20	0,03
Potwormen	200	0,33
Regenwormen	700	1,17
Totaal	4330	7,22

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



Figuur 2.2: Samenstelling van bodem en bodemleven.

2.3 Soorten regenwormen

Voor veel mensen is een regenworm een regenworm. De ene worm is echter de andere niet, in Nederland komen namelijk 18 soorten regenwormen voor. Deze zijn onder te verdelen in 3 groepen; strooiselbewonende wormen, bodembewonende wormen en pendelaars (tabel 2.2).

Diepte

In tabel 2.2 en figuur 2.3 is de diepte aangegeven waarop deze groepen wormen voorkomen. De diepte heeft consequenties voor bescherming tegen zonlicht en predators. Zie ook kleur en beweeglijkheid.

Kleur

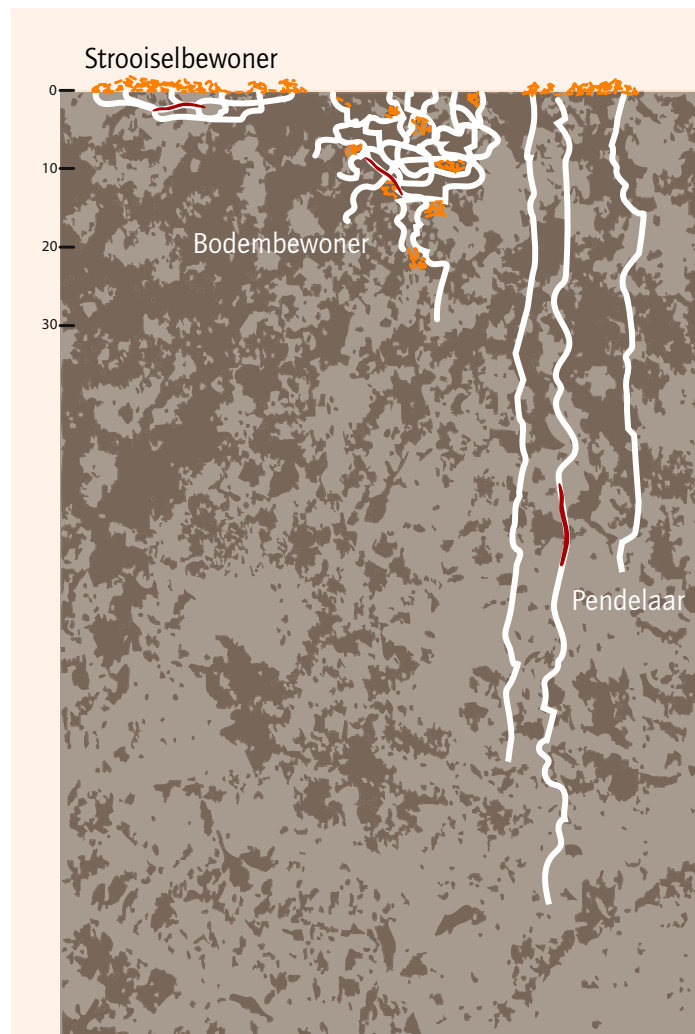
De kleur van wormen heeft met het al dan niet in contact komen van zonlicht te maken. Strooiselbewoners leven in de bovenlaag en komen het meest in contact met zonlicht en zijn daarom rood gekleurd. Doordat een bodembewoner juist dieper in de grond leeft heeft hij deze bescherming niet nodig en is deze grijs (grijs/roze) van kleur. Een pendelaar komt voornamelijk met zijn kop boven de grond; een pendelaar heeft dus een rood gekleurde kop en is verder grijs/roze.

Beweeglijkheid

Strooiselbewoners moeten kunnen vluchten voor predators waardoor ze beweeglijker zijn dan een bodembewoner die dieper in de bodem leeft.

Voedsel en functie

Strooiselbewoners leven van grof, vers, organisch materiaal (mest en plantenresten). Pendelaars trekken grof organisch materiaal hun verticale gang in, waar bacteriën en schimmels het als het ware voorverteren. De worm gebruikt eigenlijk de bodem als zijn pens, de zogenaamde "uitwendige pens" van de regenworm. Bodembewoners mengen al etend de bodemdeeltjes en bevorderen zo de bodemstructuur. De pendelaars dragen met hun verticale gangen bij aan waterinfiltratie en de verbinding van de bovengrond met de ondergrond.



Figuur 2.3: De verdeling van 3 groepen wormen over de bodem.

Tabel 2.2: Onderverdeling van regenwormen in 3 groepen en enkele belangrijke kenmerken

Groep	Diepte	Kleur	Beweeglijkheid	Voedsel	Hoofdfunctie
Strooiselbewoners	0- 20 cm	Rood	Snel	Plantenresten/Mest	Vertering organisch materiaal
Bodembewoners	0- 40 cm	Grauw	Zwak	Voorverteerde plantenresten	Structuurverbeteraar
Pendelaars	0-300 cm	Rood/Roze	Matig	Plantenresten	Waterinfiltratie, beworteling, vertering organisch materiaal

Meest voorkomende wormensoort per hoofdgroep op een melkveebedrijf in Nederland.



Strooiselbewoners (*Lumbricus rubellus*)

Deze strooiselbewonende worm komt praktisch onder alle graslanden voor. Het is de snel bewegende rode worm die je bovenin een kluit grasland ziet. Hij is belangrijk voor de afbraak van gewasresten en mestflatten, waaronder je deze soort vaak massaal kan vinden. Soms komen van deze soort grotere exemplaren voor die je kunt verwarren met een *Lumbricus terrestris*.



Bodembewoners (*Aporrectodea calliginosa*)

Deze worm komt in alle cultuurgronden voor, en is vaak de enige worm die zich handhaaft in continu bouwland. Het is de grauwe, trage worm die in een kluit zit. Hij eet zich door de grond heen en is daarmee bij uitstek een structuurverbeteraar.



Pendelaars (*Lumbricus terrestris*)

Dit is in ons land de grootste regenworm, die verticale gangen graaft (tot 3 m diepte) in gronden met een ongestoord profiel en een lage grondwaterstand (niet op veen). Zijn aanwezigheid is vaak te zien in een kluit aan de verticale wormengangen van 5-10 mm. De worm zelf heeft een rode kop (waarmee ze boven komen), zijn roze van kleur aan de achterkant en hebben vaak een platte staart. Hij is vrij honkvast aan zijn permanente gang en komt 's nachts aan de oppervlakte om plantenresten te zoeken. Naast vertering van organisch materiaal verbetert hij de waterinfiltratie en diepere beworteling.

3 Regenwormen zijn belangrijk voor?

3.1 Afbraak van organisch materiaal

Strooiselbewoners en pendelaars trekken grof organisch materiaal de grond in, verkleinen het en stellen het bloot aan vertering door ander bodemleven zoals schimmels en bacteriën. Deze twee groepen wormen zorgen ervoor dat er in grasland geen viltlaag ontstaat van dood organisch materiaal, welke de grasgroei kan remmen. 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 per ha dood gras tegen 37 kg per ha op plekken met wormen (Hoogerkamp e.a., 1983).

Strooiselbewonende wormen hebben ook een belangrijke rol in de afbraak van mestflatten. Bodembewoners leven van kleiner en makkelijk verteerbaar organisch materiaal (dat al meer verteerd is) en eten zich als het ware door de grond.



Een vervilte grasmat door weinig wormen.

Pendelaars maken geen onderscheid tussen dode en levende bladeren

Als levende bladeren op de grond liggen maken pendelaars geen onderscheid tussen dode en levende bladeren die ze de grond in trekken. Robert Strikkers (tuinder in Biezenmortel) heeft de ervaring dat de populatie pendelaars op zijn land de groene blaadjes van veldsla, die op de grond liggen, ook opeten. In eerste instantie leek het op slakkenvraat maar later linkte hij het aan de pendelende regenwormen. De winterpostelein laten ze echter ongemoeid. Mogelijk ligt dit aan de hogere groeiwijze van winterpostelein en/of de smaak. Herbivoor gedrag van Lumbricus terrestris is ook geobserveerd door Griffiths e.a. (2012).



Een pendelaar trekt organisch materiaal de grond in, maar eet ook de algen en het mos rond zijn gang op.

3.2 Beschikbaar maken van nutriënten

Stikstofbeschikbaarheid

Nutriënten komen beschikbaar doordat wormen organische stof eten en via de uitwerpselen en slijm weer als nutriënten uitgescheiden. Ook door de dood van regenwormen (anders dan predatie) komen stikstof en andere nutriënten 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. Op bouwland variëren de jaarlijkse stikstofstromen door wormen van 10-74 kg N per ha (Whalen en Parmelee, 2000). Voor grasland in Friesland was de berekende N-mineralisatie door wormen 70-230 kg N per ha (de Goede e.a., 2003).

Concentratie van nutriënten

In onderzoek in de Noordoostpolder bleken de wormenhoopjes van wormen 10% meer fosfaat te bevatten dan de grond er omheen. Daarnaast was de beschikbaarheid van fosfaat 7 keer hoger in de wormenhoopjes dan de grond er omheen (van der Werff e.a., 1993). In ander onderzoek wordt aangegeven dat wormenhoopjes in vergelijking met grond de volgende mineralen bevatten: 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).

Nutriënten in de plant

Het beschikbaar maken en concentreren van nutriënten heeft effect op de gewasproductie, de botanische samenstelling maar uiteindelijk ook de mineralensamenstelling van het gewas.

Toename broeikasgassen door regenwormen

Naast het feit dat regenwormen organische stof beschermen tegen afbraak door stabiele bodemaggregaten te vormen, stimuleren de verschillende activiteiten van wormen ook de afbraak van organische stof. Bij deze processen, zoals bij alle processen waarbij organische stof betrokken is, komen ook broeikasgassen zoals CO_2 en N_2O (lachgas) vrij. Een zogenaamde meta-analyse over met name lab-proeven heeft aangetoond dat regenwormen een netto toename geven van broeikasgassen (Lubbers e.a., 2013). Lange termijn veldexperimenten, waarbij broeikasgasemissies en productie van wormen-vrije grond vergeleken worden met een levende bodem, zijn nodig om de relevantie en de omvang (en eventueel onderliggende mechanismes) verder te duiden.



De hoeveelheid wormenhoopjes kan oplopen tot 10-50 ton per ha per jaar. Dit komt in de buurt van de totale drijfmestgift per jaar op een hectare grasland (Edwards en Bohlen, 1996).

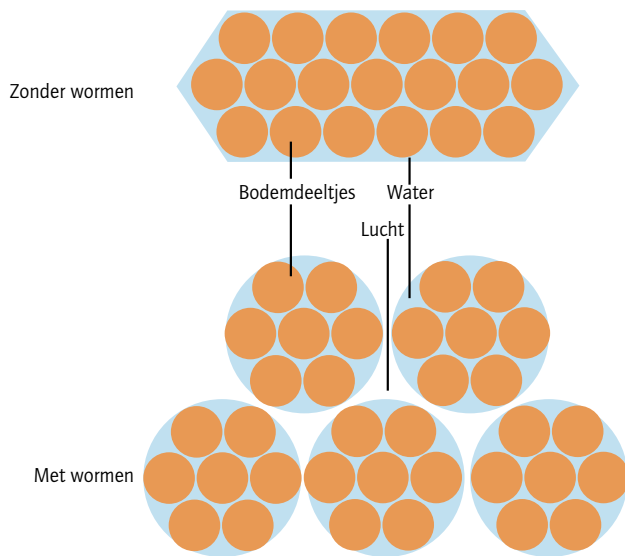
3.3 Behoud van bodemstructuur

Stabiliteit aggregaten

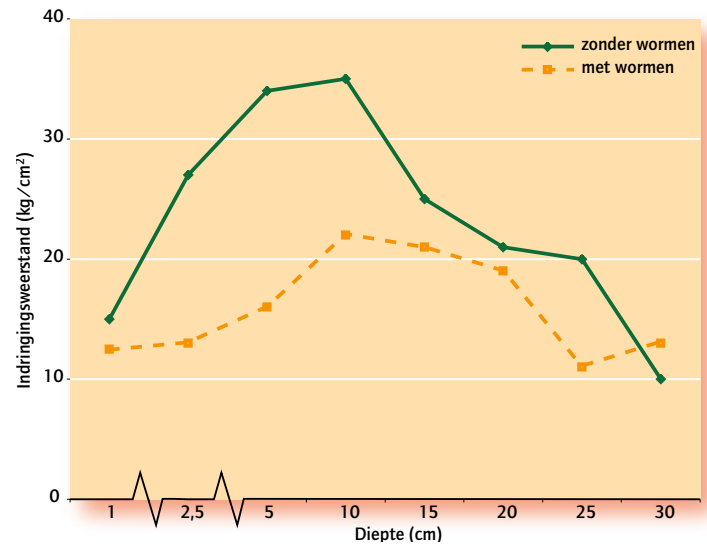
Door regenwormactiviteit wordt de stabiliteit van bodemaggregaten verhoogd, waardoor de organische stof in de bodem beter beschermd wordt tegen afbraak (Marinissen, 1995).

Poriënvolume

Als alle vaste deeltjes van de grond worden samengepakt, bestaat het bodemvolume voor slechts 40% uit fijne poriën. Deze poriën zouden zo fijn zijn dat na een regenbui alle poriën met water gevuld worden en de grond zou verslempen. Om lucht in de grond te houden is het noodzakelijk dat een aantal poriën zo wijd is dat er geen water in kan blijven hangen en er geen water in kan opstijgen (zie figuur 3.1). In onderzoek naar de introductie van wormen in de Flevopolder nam het luchtvolume met 40% toe en verbeterde de indringingsweerstand (zie figuur 3.2) (Hoogerkamp e.a., 1983).



Figuur 3.1: Wormenactiviteit zorgt voor grotere bodemdeeltjes met poriën die meer ruimte geven voor lucht in de bodem.



Figuur 3.2: In onderzoek in de Flevopolder werd op grasland een totaal verschillende indringingsweerstand gemeten op plekken met en zonder wormen: 'de grond met wormen was losser' (Hoogerkamp e.a., 1983).

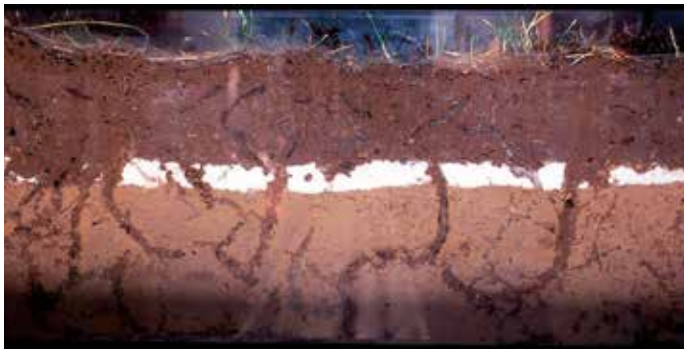
Versmeren

Bij akkerbouwpercelen op kleigronden, met name in Flevoland, worden soms extreem veel regenwormen gevonden, vooral bodembewonende wormen. De oogst van bijvoorbeeld aardappelen kan daardoor in gevaar komen. De wormen vormen in de grond te veel verse uitwerpselen die de grond versmeren en bij de oogst tot harde kluiten leiden. De oorzaak van dit verschijnsel is nog niet geheel duidelijk. Mogelijk heeft het met verdichting te maken waardoor de wormen op zoek gaan naar betere omstandigheden. Ook een hoog voedselaanbod door bemesting en gewasresten speelt waarschijnlijk een rol. Gips of brandkalk kunnen de problemen soms verminderen, maar beter is het om te zoeken naar meer structurele oplossingen gericht op bodemverbetering.

3.4 Menging van gronddeeltjes

Menging

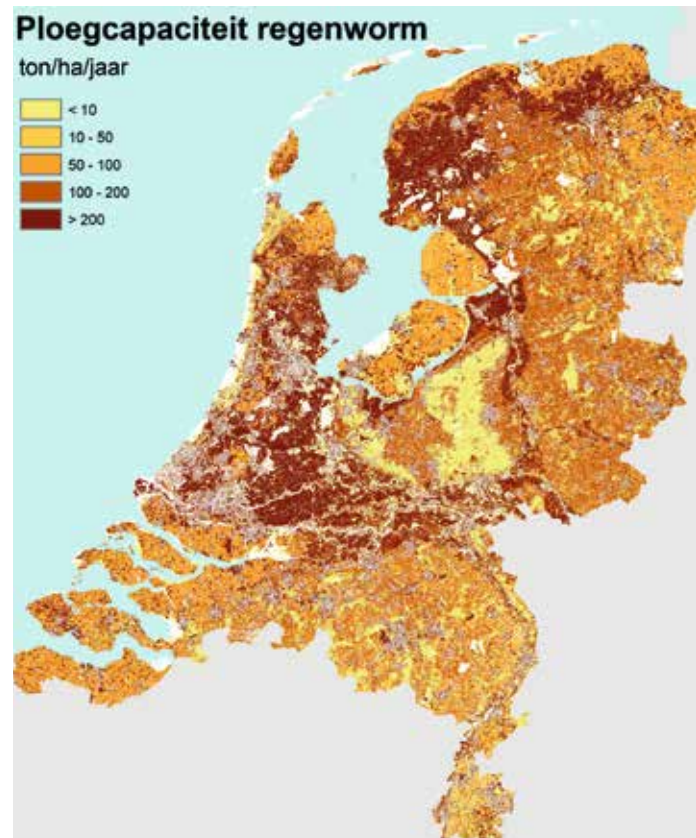
Wormen eten elke dag hun lichaamsgewicht aan grond. Bodembewonende wormen, die zich door de grond heen eten, doen dit vanzelfsprekend meer dan strooiselbewonende en pendelende wormen. Dit betekent dat de bouwvoor, afhankelijk van het aantal wormen, gemiddeld één keer per 5 tot 15 jaar in zijn geheel de ingewanden van wormen passeert.



Wormen mengen bodemdeeltjes van boven naar beneden en vice versa, en verjongen daarmee de bodem.

Effect van menging

Door het mengen wordt de organische stof beter verdeeld in de bewortelbare zone, waardoor onder andere de droogtegevoeligheid vermindert. Daarnaast zorgen wormen ervoor dat, bij bekalken van grasland, de kalk verder in de bouwvoor wordt verdeeld. Hetzelfde geldt voor bemesting. Naast een betere verdeling in de bouwvoor zorgen wormen hier ook voor het sneller beschikbaar maken van nutriënten. In onderzoek van Mackay e.a. (1982) was ruwfosfaat 15-30% sneller beschikbaar dankzij de aanwezigheid van wormen en gaf het een stijging van productie van Engels raaigras ten opzichte van de bemesting met ruwfosfaat zonder wormen.



De kaart met de ploegcapaciteit (bodemmenging) van wormen heeft grote overeenkomst met de kaart van het aantal wormen (zie § 4.4) (Bobi-data verwerkt in Dank-project).

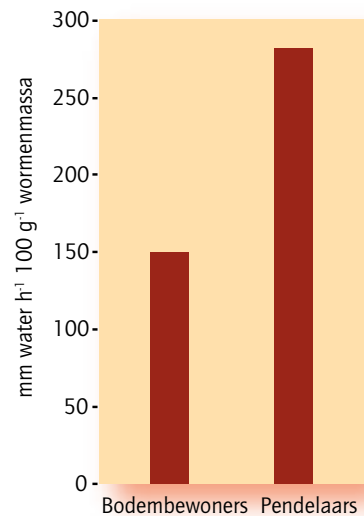
3.5 Waterinfiltratie

Waterinfiltratie in het algemeen

Wormengangen zijn belangrijke afvoerkanalen van water. Na introductie van wormen op net ingepolderd land nam de waterinfiltratie met een factor 6 toe (Van Rhee, 1969). In Schotland is wateroverlast ontstaan doordat het aantal regenwormen is gereduceerd door de invasie van exotische platwormen (Haria, 1998).

Waterinfiltratie specifiek door pendelaars

De verticale gangen van pendelaars zijn extra belangrijk voor de waterinfiltratie (zie figuur 3.3). In een proef met jong en oud grasland in België was hierdoor de waterinfiltratie van oud grasland 2 maal hoger dan jong grasland, terwijl de indringingsweerstand van oud grasland toch hoger was (van Eekeren e.a., 2008).



Figuur 3.3: De waterinfiltratie per 100 g wormen neemt toe van 150 mm water per m² bij bodembewonende wormen naar 282 mm water per m² per uur bij pendelende wormen (Bouché en Al-Addan, 1997).



De verticale wormengangen van pendelaars (op de foto gevuld met gipswater) zijn heel belangrijk voor waterinfiltratie.

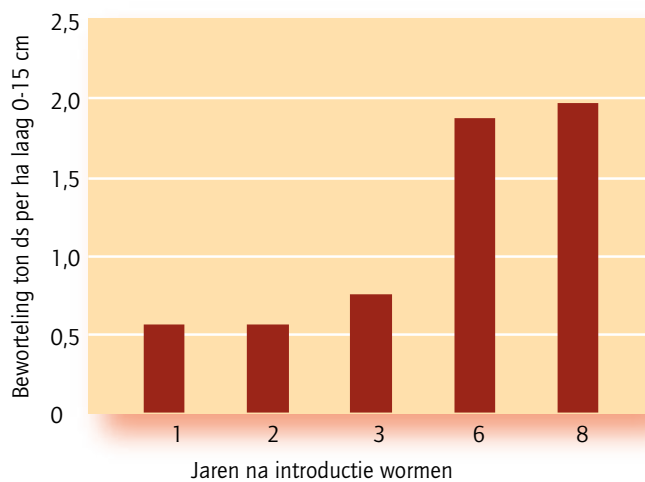
Afspoeling en uitspoeling

Door de wormenactiviteit en hogere waterinfiltratie neemt de oppervlakkige afspoeling van overtollig regenwater af (Edwards en Bohlen, 1996). Oppervlakkige afspoeling is een belangrijke bron van nutriëntenverlies naar oppervlaktewater. Versnelde afvoer van water door wormengangen kan juist wel de uitspoeling van nutriënten naar diepere bodemlagen versnellen (Dominiguez e.a., 2004).

3.6 Beworteling

Beworteling algemeen

Doordat wormen zorgen voor een lossere bodem met een lagere indringingsweerstand, wordt de bodem beter bewortelbaar. Op grasland in Biddinghuizen waar wormen na de inpoldering zijn geïntroduceerd was er over de jaren een duidelijke toename van beworteling te zien (zie figuur 3.4).



Figuur 3.4: Verloop van beworteling na de introductie van regenwormen (Hoogerkamp e.a., 1983).

Pendelaars voor profielontsluiting

Bij verdichting van de ondergrond is de beworteling van grasland vaak geconcentreerd in de bovenste 10 cm van de bodem, waardoor het gras stressgevoeliger is. Vooral pendelaars staan er om bekend dat zij verdichte lagen (inclusief ploegzolen) kunnen doorboren. Met hun verticale gangen zorgen zij zo voor de ontsluiting van het diepere bodemprofiel: wortels kunnen zo door verdichte lagen heen groeien.

Waterinfiltratie en beworteling

Een te natte grond in de winter verdroogt meestal in de zomer doordat wortels onder de zuurstofarme condities in de winter afsterven. In een proef in Nieuw-Zeeland leidde de introductie van pendelaars in grasland tot een betere waterinfiltratie in de winter, een betere beworteling in de zomer en uiteindelijk een hogere grasopbrengst (Springett, 1985).



Wormengang van een pendelaar in de gele grond op zandgrond waarin wortels hun weg vinden naar diepere bodemlagen.

3.7 Verspreiding van ander bodemleven

Wormen verbinden letterlijk en figuurlijk de verschillende onderdelen van de bodem. Veel ander bodemleven gebruikt de ruimte of gangen die wormen maken om zich te verspreiden (zie foto van springstaarten in wormengang). Kleiner bodemleven, zoals bacteriën en schimmels, worden met de organische stof waarop ze leven door wormen genuttigd en weer in wormenhoopjes op andere plekken uitgescheiden. Wormen zijn hiermee de hoge snelheidstrein van de bodem. Zonder wormen zou dit transport veel langzamer gaan.



Verschiede beestjes uit een wormengang gespoeld. Springstaarten gebruiken onder andere wormengangen om zich te verplaatsen.



Aan voedsel in een wormengang geen gebrek.

3.8 Botanische samenstelling

Wormen hebben via verschillende mechanismen invloed op de botanische samenstelling.

Beschikbaar maken en herverdelen van nutriënten

Doordat stikstof (N-mineralisatie) via wormen beschikbaar komt, was er bijvoorbeeld in proeven in Nieuw-Zeeland een toename van het aandeel Engels raaigras. In Zwitserland is ontdekt dat wormen zorgden voor een toename van witte klaver doordat molybdeen beter beschikbaar was; molybdeen is belangrijk voor de stikstofbinding (Voisin, 1960).

Verspreiden van bodemleven

Door de beweeglijkheid van wormen in de bouwvoor worden ook veel andere soorten bodemleven verspreid die een invloed hebben op de botanische samenstelling. Zo kan de kolonisatie van mycorrhizaschimmels op de wortels van specifieke plantensoorten door wormen sneller plaatsvinden waardoor deze planten bevoordeeld worden ten opzichte van andere planten (Zaller e.a., 2013).

Verspreiden zaden

Wormen beïnvloeden de botanische samenstelling ook door zaden diep in de grond of juist naar boven te brengen.



Kiemende zaden die door wormen de grond in zijn gebracht.

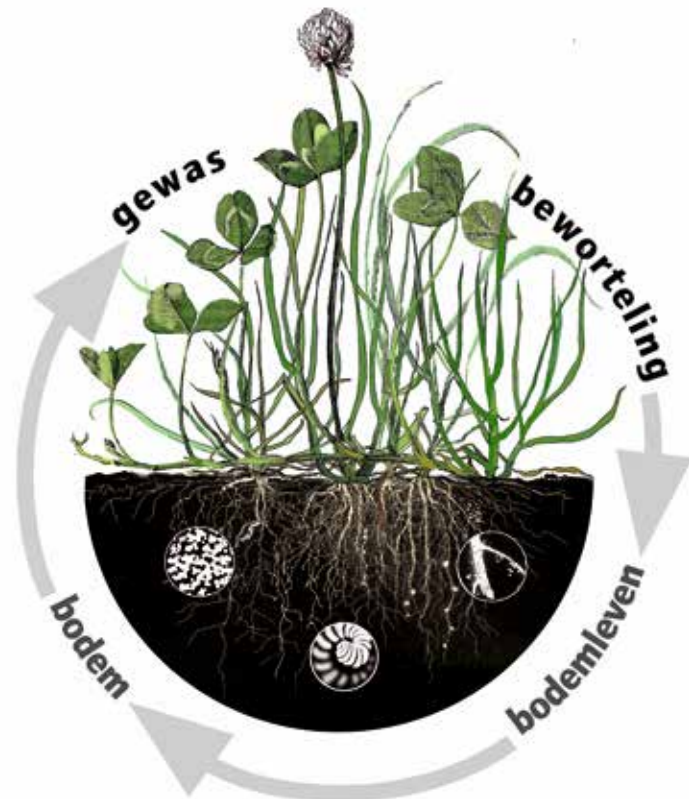
3.9 Gewasopbrengst

Bij introductie van wormen

Alle, in voorgaande paragrafen genoemde effecten van wormen hebben uiteindelijk invloed op de gewasopbrengst. Spectaculaire opbrengstresultaten zijn behaald toen wormen geïntroduceerd werden op plaatsen waar ze voorheen niet aanwezig waren. In Nieuw-Zeeland steeg bijvoorbeeld 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 onderzoek van Hoogerkamp e.a. (1983) werd een opbrengstverhoging gevonden van 1,5 ton ds per ha door de introductie van wormen (14,7 ton ds per ha zonder wormen en 16,2 ton ds per ha met wormen). Deze opbrengstverhoging was vooral in de eerste en laatste snede groot.

Als wormen verdwijnen

Aan de andere kant, als wormen bewust gedood worden met parathion, zoals in een proef in Engeland, duurde het 10 jaar voordat de grasopbrengst in de plots behandeld met parathion minder werd dan de onbehandelde plots. In de met parathion behandelde plots werd namelijk ook al het plant-parasitaire bodemleven gedood, wat in eerste instantie een opleving van de bovengrondse productie liet zien. Echter na 10 jaar was de graszode onder de behandelde plots (= zonder wormen) zo vervilt en verdicht dat de productie lager werd dan van de onbehandelde plots (= met wormen) (Clements e.a., 1991).



Cyclus van gewas/beworteling → bodemleven → bodem (van Eekeren e.a., 2007)

Het effect van wormen op de bodem laat duidelijk een cyclisch patroon zien wat zichzelf kan versterken als het niet door verdichting of iets dergelijks verstoord wordt. Het positieve effect van wormen op de bodem vertaalt zich in een hogere grasopbrengst. Hierdoor nemen de gewasresten weer toe dat weer een positief effect heeft op de wormen, de bodem en de gewasopbrengst. Via deze hogere gewasopbrengst en gewasresten zet deze cyclus zich als opgaande spiraal voort.

3.10 Voedsel voor weidevogels en andere dieren

Wormen spelen een belangrijke rol in het bovengrondse voedselweb. Regenwormen hebben een hoge calorische waarde, vergelijkbaar met ander vlees, en zijn daarmee een belangrijke voedselbron voor weidevogels en andere dieren (mollen, dassen etc.). Belangrijk hierbij is de bereikbaarheid van de verschillende soorten wormen (strooiselbewoners, bodembewoners of pendelaars). Een mol gaat wormen in de grond achterna. Sommige vogels stampen op de grond en proberen daarmee regenwormen omhoog te krijgen. Andere weidevogels hebben juist een lange snavel om daarmee de grond in te gaan en wormen te vangen. Om de snavel goed in de bodem te krijgen is een lage indringingsweerstand van de bodem heel belangrijk. Wymenga & Alma (1998) geven aan dat grutto's bij 100 gram wormen per m² aan 5,5 uur foerageren (ca. 35% van de daglichtperiode) genoeg hebben om de benodigde hoeveelheid energie binnen te krijgen. Goudplevieren en dassen eten juist 's nachts als de pendelaars als *Lumbricus terrestris* actief zijn en boven de grond komen.



Snavel Om de snavel goed in de bodem te krijgen is een lage indringingsweerstand van de bodem heel belangrijk.



Dassen

De das is een echte alleseter, maar ook een opportunist: hij eet wat beschikbaar is. Afhankelijk van de beschikbaarheid kan het aandeel wormen in z'n dieet oplopen tot 75%. In het rivierengebied worden aandelen in het dieet gemeten van 35% terwijl op de zuidoostelijke zandgronden, vanwege een lagere beschikbaarheid, het dieet voor slechts 10% uit wormen bestaat (Wansink, 1993). Dassen geven de voorkeur aan de grotere wormen zoals *Lumbricus terrestris* (pendelaars), die ze 's nachts opslurpen als die boven komen op zoek naar voedsel. Als de *Lumbricus terrestris* niet aanwezig is worden strooiselbewonende wormen als de *Lumbricus rubellus* gegeten.

Goudplevieren

Goudplevieren zijn trekvogels uit het hoge noorden die wormen komen eten op de Nederlandse weiden. In september komen ze aan in Nederland en bij een milde winter blijven ze tot mei. De goudplevier heeft maar een korte snavel; op zoek naar voedsel zijn ze zodoende vooral 's nachts actief als regenwormen zoals de *Lumbricus terrestris* naar boven komen.

4 Meten en beoordelen van regenwormen

4.1 Bovengrondse sporen van wormen

Molshopen

Veehouders zitten vaak niet te wachten op molshopen vanwege vervuiling van de graskuil met grond. De aanwezigheid van mollen is echter wel een teken van veel wormen (een mol eet wel 50 kg aan wormen per jaar). Als het mollenbeheer goed is kunnen er veel wormen zitten en weinig mollen.

>> In een vergelijkend onderzoek langs de IJssel in puur witte klaver en puur Engels raaigras waren er tot 20 keer meer molshopen in puur witte klaver vanwege de hoge aantallen regenwormen (van Eekeren e.a., 2009). In de foto is dit op de streep af te zien.



Wormenhoopjes

Wormenhoopjes zijn een teken van activiteit, maar zeggen niet per definitie iets over het aantal wormen. Wormenhoopjes zijn namelijk ook seizoens- en soortafhankelijk. Pendelaars hebben vaak maar één gang en één wormenhoop, terwijl strooiselbewonende wormen meerdere uitgangen hebben en dus meerdere wormenhoopjes (Faber, ongepubliceerde data).

>> De activiteiten in de grond van wormen maakt dat bijvoorbeeld tegels in een gazon steeds verder in de grond lijken te zakken. Darwin schatte dat de hoeveelheid wormenhoopjes uiteindelijk leidt tot een stijging van de bovengrond van 2,5-5 mm per jaar.



Sporen gewasresten

Pendelaars laten vaak een patroon zien van het verzamelen van gewasresten rond hun gangen.

>> Op de foto is een duidelijk patroon van stroresten te zien die een pendelaar naar zijn gang heeft togetrokken.



4.2 Ondergrondse sporen van regenwormen

In het voorjaar en najaar onder vochtige omstandigheden zijn wormen gemakkelijk te vinden in de bodem. Bij drogere of koude omstandigheden zijn de wormen niet te zien, maar zijn er wel verschillende sporen van wormenactiviteit te zien.



Wormengangen De gangen van bijvoorbeeld pendelaars zijn heel duidelijk zichtbaar onderaan een uitgestoken kluit. Soms steekt er een wortel van een plant uit. Onder grasland is het streven om onder aan een kluit van 20x20 cm op 20 cm diepte toch minimaal 2 wormengangen te tellen en liefst meer dan 15.



Wormengangen van bodembewoners zijn minder zichtbaar omdat ze zich door de grond heen eten. Bij hoge activiteit zijn de ondergrondse wormenhoopjes van deze wormen wel duidelijk zichtbaar.



Mengactiviteit Daarnaast zijn overgangen in kleur en patronen in de bodem een indicatie van regenwormen. Op deze foto een spoor van een verdwaalde regenworm in de ondergrond.



Cocons In de grond lijken het soms kleine kiezelsteentjes, maar het zijn cocons van regenwormen. De meeste wormen leggen cocons van 2-6 mm doorsnede (Edwards en Bohlen, 1996).

4.3 Aantallen wormen

Meer is beter?

Het al dan niet aanwezig zijn van wormen onder grasland is een belangrijk gegeven. In tabel 4.1 is weergegeven hoeveel wormen er onder grasland op melkveebedrijven van Nederland voorkomen. Gemiddeld over de bodemtype zijn er dit 328 per m², of te wel 3 miljoen per ha, of te wel 13 in een uitgestoken graskluit van 20x20x20 cm. De vraag is echter of 300 wormen per m² beter is dan 100 wormen per m². Voor afbraak van gewasresten en mestflatten, nutriëntenbeschikbaarheid, waterinfiltratiesnelheid en voedsel voor weidevogels zijn meer wormen meestal wel beter. Wat betreft draagkracht, versmering en lachgas uitstoot is er mogelijk ook wel een maximum aantal wormen wat gewenst is.

Bodemtype

In tabel 4.1 is weergegeven wat er gemiddeld per bodemtype aan aantallen wormen wordt gevonden. Gunstig voor wormen is een hogere pH, een hoger lutumgehalte, meer organische stof en een vochtige bodem. Kleigrond heeft veel wormen vanwege de hogere pH, het hoger lutumgehalte en de betere vochtvoorziening. Veengronden scoren hoog vanwege het hoge organische stofgehalte en het vochtgehalte.

Wormen meten

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 praktische haalbaarheid en de bepaling van een voldoende groot deel van de aanwezige wormen. Om wormen dieper dan 20 cm naar boven te krijgen kan gebruik worden gemaakt van een mosterdextract (Lawrence en Bowers, 2002).



Graaf een kleine kuil en steek een kluit van 20x20x20 cm voor het tellen van regenwormen.

Tabel 4.1: Huidige wormenbestand op de verschillende grondsoorten onder grasland in de melkveehouderij.

	Zeeklei ¹⁾	Rivierklei ¹⁾	Veen ¹⁾	Zand ¹⁾	Löss ¹⁾
Aantal bedrijven steekproef	60	21	71	192	11
Aantal soorten regenwormen	6,4	6,8	4,8	4,5	5,9
Totaal aantal per m ²	436	503	510	223	297
Totaal aantal wormen in kluit (20x20 cm)	17	20	20	10	12
Strooiselbewoners aandeel	17%	21%	20%	28%	9%
Bodembewoners aandeel	80%	77%	80%	63%	87%
Pendelaars aandeel	3%	1%	0%	9%	5%
Bedrijven met pendelaars	32%	29%	7%	22%	27%
Totaal vers gewicht (kg per ha)	830	1000	880	750	550

¹⁾ Bron BoBi-project. Monsters genomen in het voorjaar op bedrijfsniveau, 6 plaggen per bedrijf van 20x20x20 cm. Aandelen van groepen op basis van volwassen wormen.

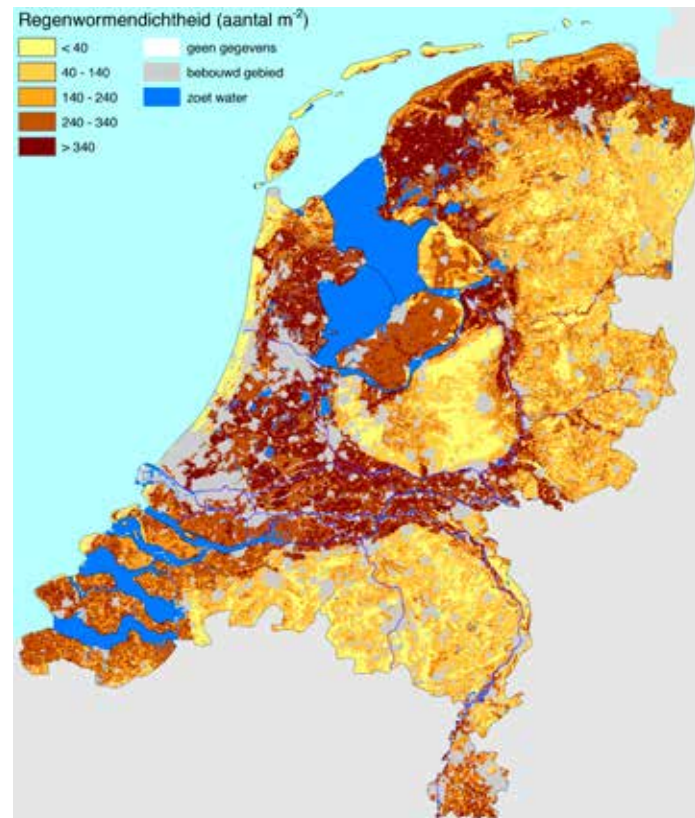
4.4 Wormensoorten en -groepen

Soorten

Wormen kunnen worden gedetermineerd op soort- en groepsniveau. In tabel 4.1 is het gemiddeld aantal soorten wormen die op melkveebedrijven voorkomen weergegeven. Op klei komen gemiddeld meer soorten wormen voor dan op zand en veen. Gedeeltelijk heeft dit met de hogere aantallen wormen op klei te maken. Daarnaast speelt op veen dat de over het algemeen lagere pH en de hogere waterstand beperkend zijn voor een aantal soorten.

Groepen

Belangrijk voor de verschillende functies van regenwormen is dat de verschillende groepen wormen zijn vertegenwoordigd op een melkveebedrijf. Over het algemeen komen op elk melkveebedrijf strooisel- en bodembewonende wormen voor. Pendelaars komen slechts op een minderheid van de bedrijven voor, en het aandeel pendelaars van het totaal aantal wormen is ook lager. De resultaten in tabel 4.1 geven weer dat het percentage bedrijven met pendelaars op zeeklei het hoogste is, en op veen het laagste. Dit laatste is logisch aangezien pendelaars niet van een hoge waterstand houden. Mogelijk spelen ook pH en lutum een rol. Zand zit wat betreft percentage bedrijven met pendelaars tussen veen en klei in. Opvallend is dat het percentage pendelaars van het totaal aantal wormen groter is op zand. Hieruit kan geconcludeerd worden dat, wanneer de condities goed zijn op zand, de pendelaars zich goed kunnen handhaven.



Op deze kaart zijn de aantallen wormen weergegeven. Opvallend zijn de hoge aantallen in de gebieden met klei en grasland. (Rutgers en Dirven-van Breemen, 2012).



Websites voor meer informatie en herkenning:

- www.mijnbodemconditie.nl

- <http://soilquality.org.au/>

- www.opalexplornature.org/soilsurvey

MijnBodemconditie: Kuilmeting
De BodemConditieScore online uitrekenen? Ga dan naar www.mijnbodemconditie.nl

1 Algemeen

Naam bedrijf Datum

Naam uitvoerder Positie bodemkuil /GPS coord. W

Perceel/volnummer [1] /GPS coord. N

Bodemtype [2] Gewascode [3]

Beschrijving historie perceel

[1] Zie gecombineerde opgave gewassen Ministerie EZ
[2] 1 = zware klei 2 = lichte klei 3 = zwak lemig zand 4 = sterk lemig zand 5 = veen
[3] 259 = mais rotatie, 259c = mais continu, 266 = tijdelijk gras (< 4 jaar), 265 = permanent gras

2 Bodemanalyse

Zuurgraad [pH-CaCl₂] [4]

Organische stof [%] [4]

[4] Zie bodemanalyse perceel, indien aanwezig, anders inschatten

3 BodemConditieScore (BCS)

	Wegingsfactor	Score	Score x Wegingsfactor
1 Gewasbedekking	2	0 = onbedekt, 1 = maais, 2 = goed	
2 Regenwurm	3		
3 Verdichting ondergrond 20-40 cm	3		
4 Regenwormen	3		
5 Bodemstructuur	3		
6 ...	3		
7 Organische stof (kleur)	3		
8 Aantal gekleurde vlekken	1		

4 Aanvullende waarnemingen

5 Factoren en maatregelen die regenwormen beïnvloeden

5.1 Inleiding

Wat zijn factoren die regenwormen beïnvloeden? Henri Boumans (melkvee- en varkenshouder te Bakel) zegt hierover: "Net als mijn koeien en varkens heeft het bodemleven zoals regenwormen huisvesting, water, zuurstof en voeding nodig".

Huisvesting en bescherming

Bodemleven heeft ruimte nodig om te leven en actief te zijn. Regenwormen kunnen hun eigen gangen maken, maar in een losse grond gaat dit beter dan in een dichte grond. Daarnaast biedt de bodem tot op zekere hoogte bescherming tegen verstoring, zonlicht, temperatuur (koude en warmte), droogte en niet onbelangrijk, predators.

Water en zuurstof

Regenwormen houden over het algemeen van een vochtige grond. Afhankelijk van de wormensoort trekken ze zich bij droogte dieper terug in de bodem of gaan in een soort ruststadium. Te veel aan water is ook



Bij droogte gaan wormen in een soort ruststadium.

weer niet goed, want een sterk waterverzadigde bodem is zuurstofarm. Iedereen herkent wel het beeld van dode wormen in plassen als er langere tijd water op het land blijft staan. Aan de andere kant is ook bekend dat in de uiterwaarden wormen tijdelijke inundatie overleven doordat er lucht in de bodemporiën blijft zitten. Daarnaast overleven cocons van regenwormen droogte en wateroverlast. Onderwaterdrainage in het veenweidegebied heeft geen invloed op het totaal aantal wormen (Deru e.a., in voorbereiding).

Voeding

De voeding van het bodemleven is in essentie vergelijkbaar met de voeding van de koe. Het gaat om de kwantiteit, kwaliteit (energie en eiwit) en de stabiliteit van het aanbod. De verschillende wormengroepen hebben behoefte aan verschillende soorten voeding. Bodembewonende wormen eten zich door de grond heen en houden meer van voorverteerde organische stof met een lager C/N-gehalte. Strooiselbewonende wormen en pendelaars gaan juist voor het grovere materiaal op de bovengrond met een hoger C/N-gehalte.



Niet uit te vlakken is het belang van bescherming. Meeste kans om een worm te vinden is onder een voorwerp dat op de grond ligt waarmee ze beschermt is tegen predators en temperatuur- en vochtwisselingen.

5.2 Landgebruik

5.2.1 Grasland versus bouwland

Aantallen regenwormen grasland en bouwland

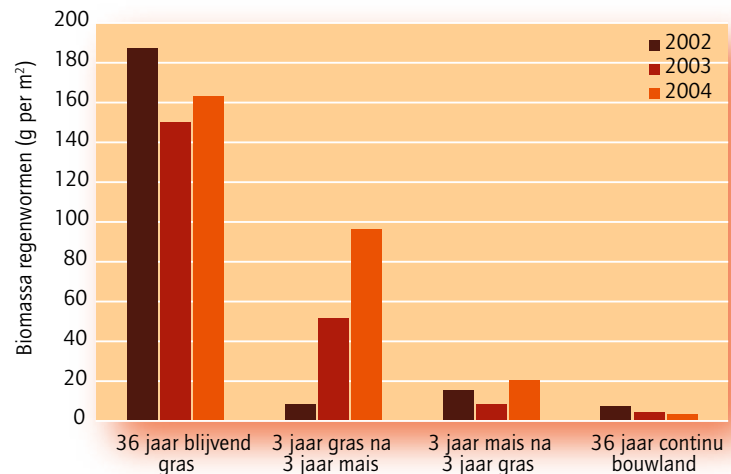
Grasland bevat over het algemeen veel meer wormen dan bouwland (zie figuur 5.1). Grasland biedt een stabiele leefomgeving met een constant aanbod van voedsel. Dit in tegenstelling tot bouwland waarin het aanbod van voedsel uit gewasresten heel wisselend is; niet alleen gedurende een jaar maar ook over de jaren (bijvoorbeeld verschillende gewassen). Daarnaast zorgt grondbewerking in bouwland voor directe schade aan regenwormen maar ook aantasting van het leefmilieu; zoals schade aan wormgangen en het onderwerken van gewasresten. Bovengrondse gewasresten zijn naast voedsel ook belangrijk als bescherming tegen wisselende weersomstandigheden en bovengrondse predators zoals vogels. Daarnaast kan het onderploegen van gewasresten leiden tot het “inkuilen” van de resten wat negatief op wormen kan werken.

Soorten regenwormen grasland en bouwland

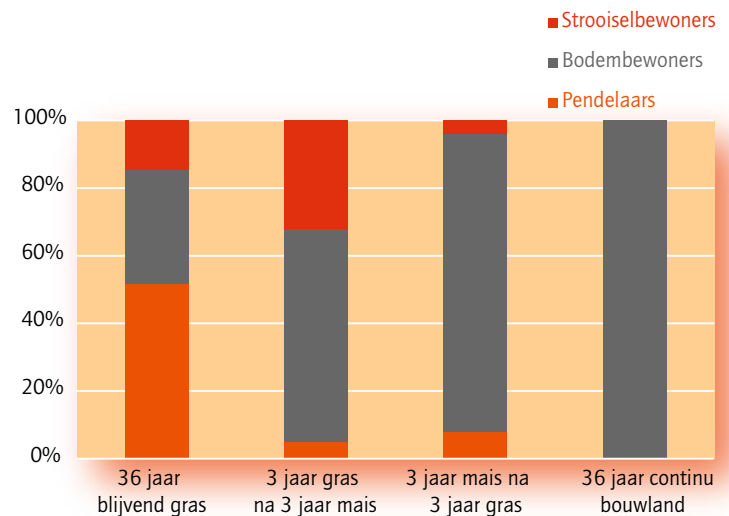
In grasland zijn veel bovengrondse gewasresten aanwezig wat de belangrijkste voedselbron is voor strooiselbewoners en pendelaars. Op bouwland zijn er nauwelijks bovengrondse gewasresten door onderploegen en onkruidbestrijding. Bovendien ondervinden zowel strooiselbewoners als pendelaars schade van grondbewerking. Bodembewonende wormen zijn minder afhankelijk van bovengrondse gewasresten als voedsel. Continu bouwland leidt uiteindelijk dan ook tot enkel bodembewonende wormen (zie figuur 5.2).



Met grasland kun je het aantal wormen en de soortendiversiteit op peil houden.



Figuur 5.1: Ontwikkeling van regenwormen gevolgd over 3 jaar onder 36 jaar grasland, 36 jaar bouwland en vruchtwisseling van 3 jaar gras met 3 jaar bouwland (van Eekeren e.a., 2008).



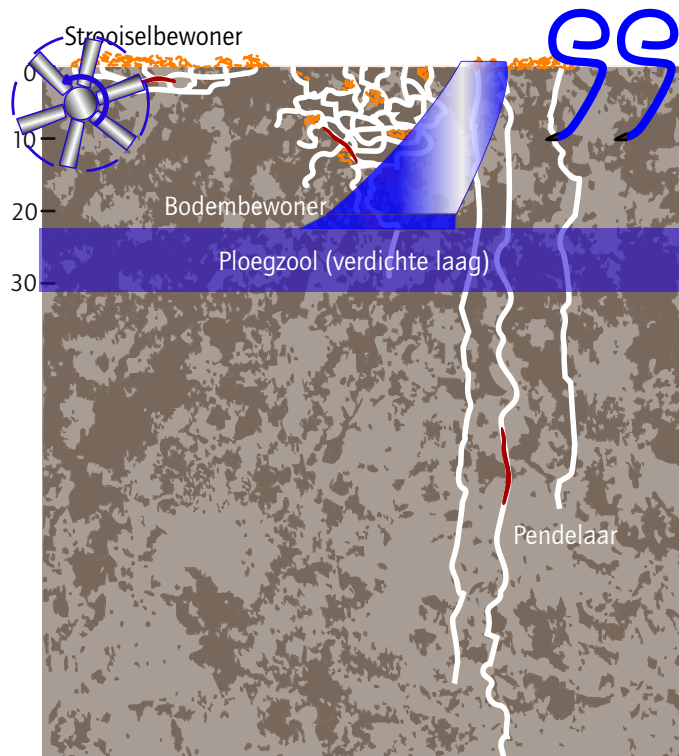
Figuur 5.2: Ontwikkeling van groepen wormen onder 36 jaar grasland, 36 jaar bouwland en vruchtwisseling van 3 jaar gras met 3 jaar bouwland (van Eekeren e.a., 2008).

5.2.2 Grondbewerking

Schade beperken

Schade van grondbewerking aan wormen en leefmilieu kan beperkt worden door:

1. Minder diep en intensief bewerken (zie figuur 5.3).
2. Geen machines met draaiende delen gebruiken omdat hiermee de directe beschadiging aan regenwormen over het algemeen hoger is dan bij ploegen.
3. Grondbewerking uitvoeren in de maanden waarin wormen minder actief zijn; als het koud en droog is en wormen zich in diepere bodemlagen hebben teruggetrokken.
4. Bij grondbewerking een Niet-Kerende Grondbewerking (NKG) i.p.v. ploegen gebruiken welke minder intensief is en waarmee gewasresten bovenin worden gehouden.



Dode wormen verzameld na ploegen van een graszode. Naast de directe beschadiging van wormen door grondbewerking, geeft grondbewerking schade aan het leefmilieu (schade aan wormengangen) en verlies van bescherming en voedsel (door het onderwerken van gewasresten).

Niet-Kerende Grondbewerking, plantschimmels en pendelaars

*Een angst bij Niet-Kerende Grondbewerking is dat sporen van schimmels op gewasresten op het oppervlakte achterblijven en zo het volggewas weer infecteren. Voor maïs levert dit mogelijk gevaar op van mycotoxines in het te oogsten product. Onderzoek heeft aangetoond dat vooral pendelaars *Fusarium* schimmels en mycotoxine afbreken en onschadelijk maken (Wolfarth e.a., 2011). Niet-Kerende Grondbewerking kan juist door gewasresten bovenin te houden pendelaars stimuleren. Dat heeft mogelijk ook zijn weerslag op de infectiedruk van ziekteverwekkende schimmels.*

< Figuur 5.3: Schade van verschillende grondbewerkingen aan wormen: meer schade aan wormen en leefmilieu bij intensieve grondbewerking en bij draaiende delen (naar Pfiffner, 2014).

5.2.3 Niet-Kerende Grondbewerking bij de teelt van maïs



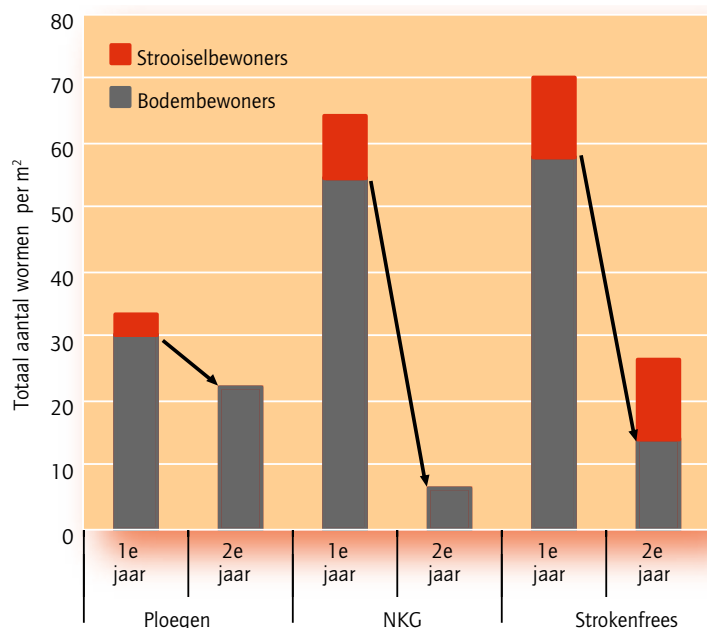
Niet-Kerende Grondbewerking is er in verschillende vormen en maten: van spitten tot en met geen grondbewerking. Bij de teelt van maïs in gras met een strokenfrees wordt enkel 15 % van de oppervlakte bewerkt in een doodgespoten graszode (www.maisteeltinstroken.nl).

Langjarig effect ook negatief

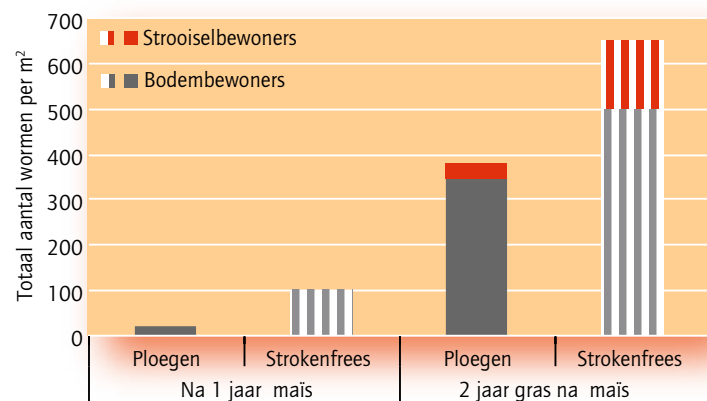
In de vorige paragraaf is aangegeven dat er meer regenwormen overleven bij een minder intensieve grondbewerking. In een proef op zandgrond met maïs teelt na gras werden in het eerste jaar na gras dan ook hogere aantallen wormen gevonden bij een Niet-Kerende Grondbewerking in vergelijking met ploegen (zie figuur 5.4). Dus een minder intensieve grondbewerking spaart wormen. Maar in het tweede jaar maïs was het aantal regenwormen overal laag, ongeacht de soort grondbewerking. Dit geeft aan dat de verstoring van het leefmilieu (o.a. voedsel en bescherming) door een andere teelt dan gras in het tweede jaar ook een belangrijke rol gaat spelen. Opvallend is wel dat strooiselbewonende regenwormen in de behandeling met strokenfrees wel overleven (omdat letterlijk een stuk grond niet wordt bewerkt).

Grondbewerking bouwland invloed op herstel

Het behoud van regenwormen bij het op stroken telen van maïs heeft een gunstig effect op de snelheid waarmee de populatie zich daarna onder het grasland herstelt (zie figuur 5.5).



Figuur 5.4: Effect van Niet-Kerende Grondbewerking met woelers en rotorkop, of direct maïs zaaien met de strokenfrees in vergelijking met ploegen op het aantal regenwormen in het eerste en tweede jaar maïs na grasland op zandgrond (Deru e.a., ongepubliceerde data).

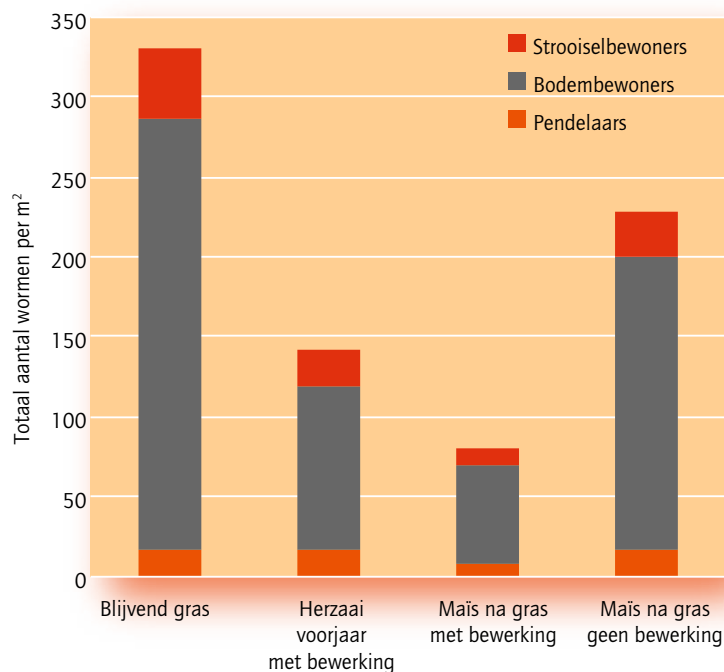


Figuur 5.5: Effect van één jaar maïs teelt (ploegen versus strokenfrees) op het aantal regenwormen na het jaar maïs en na twee jaar gras na maïs op zandgrond (Deru e.a., ongepubliceerde data).

5.2.4 Graslandvernieuwing

Opties in voorjaar

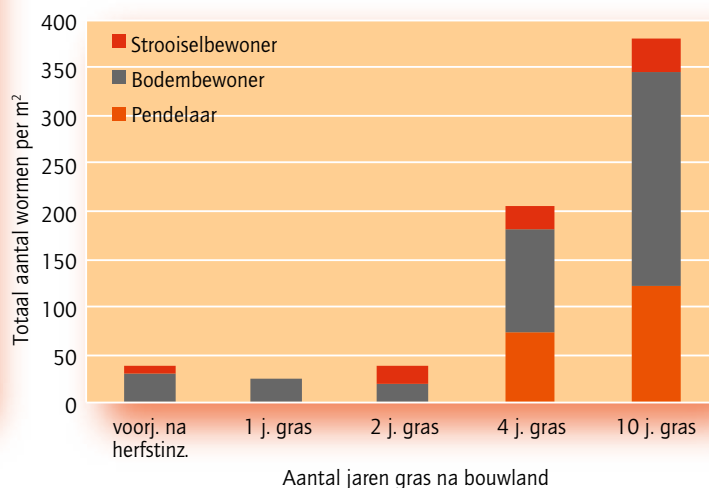
Sinds het verbod op graslandvernieuwing op zand- en lössgrond in het najaar heeft graslandvernieuwing zich verlegd naar het voorjaar. Dit geeft vaak teleurstellende resultaten, vooral bij een droog voorjaar. Veehouders op zandgrond kiezen daarom voor een tussenteelt van één of twee jaar maïs, met herinzaai van gras in het najaar na de maïsoogst. In figuur 5.6 zijn resultaten weergegeven van het effect van graslandvernieuwing in het voorjaar of na de maïsoogst op de wormenstand in het najaar van hetzelfde jaar. In het figuur is duidelijk te zien dat de grondbewerking in beide situaties het aantal wormen sterk terugbrengt. Indien maïs geteeld wordt heeft een minimale grondbewerking de voorkeur om de populatie regenwormen in stand te houden.



Figuur 5.6: Effect op regenwormen van herinzaai in voorjaar of najaar met of zonder een bewerking van frezen en spitten (gemeten 6 maanden na grondbewerking; van Eekeren e.a., in voorbereiding).

Sukkelperiode in gras na bouwland

Na bouwland zijn er altijd maar weinig wormen. Het aantal herstelt zich wel onder gras, maar deze opbouw gaat vaak veel langzamer dan de afname na ploegen (zie figuur 5.7). Dit heeft ook consequenties voor de groei van het grasland. Het eerste jaar na bouwland is de grond door bewerking los en kan het gras goed wortelen waardoor de productie goed is. Echter in het tweede jaar na herinzaai wordt de grond minder los. Als de wormenpopulatie zich dan nog niet heeft hersteld, treedt een verdere verdichting op waardoor de beworteling en graslandproductie teruglopen. Dit is het begin van de zogenaamde sukkelperiode of graslanddip waarin de bodem door machines en begrazing verdicht wordt, maar waarin de bodem nog niet genoeg "body" of bodemleven bevat om dit zelf te repareren. Deze periode kan wel 2-3 jaar duren afhankelijk van de uitgangspositie van organische stof en bodemleven. Gronden met een hoger organisch stofgehalte en bodemleven hebben vaak een beter herstellend vermogen dan gronden met een lager organisch stofgehalte en bodemleven.

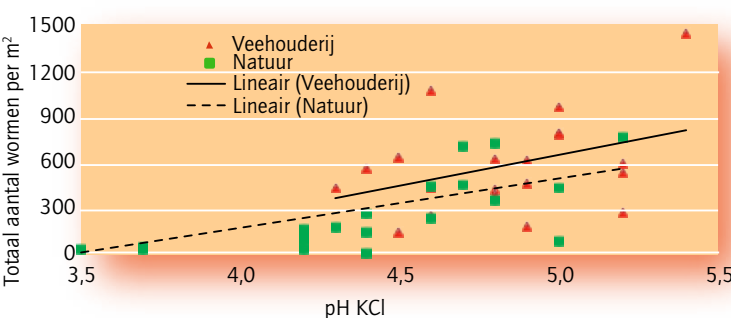


Figuur 5.7: Herstel van het aantal regenwormen na bouwland op zandgrond. Het duurt minstens 4 jaar voor weer substantiële aantallen wormen aanwezig zijn (de Wit e.a., ongepubliceerde data).

5.3 pH en bekalken

pH

De pH heeft een belangrijke invloed op het aantal wormen. Illustratief is een onderzoek in het veenweidegebied op 20 veehouderijpercelen en 20 natuurpercelen, waarbij het aantal wormen gemiddeld 2 keer hoger was op veehouderijpercelen (respectievelijk 587 en 270 wormen per m²). Dit wordt in belangrijke mate verklaard door de pH (respectievelijk 4,8 en 4,4) (Figuur 5.8).



Figuur 5.8: In onderzoek naar bodemkwaliteit in het veenweidegebied wordt een sterke relatie gevonden tussen de pH op natuur- en veehouderijpercelen, en de wormenaantallen (Deru e.a., 2012).

Bekalken

Over het algemeen reageren wormen sterk op bekalken. Dit is duidelijk te zien in een experiment van Vereniging Natuurmonumenten op veen (zie tabel 5.1). Na 8 jaar bemesting met verschillende mestsoorten werden er hoge wormenaantallen gevonden bij de varianten van bekalking met Dolokal en Kalkmergel terwijl de gewasproductie laag was. Schijnbaar kunnen de wormen - door de hoge pH - leven van de organische stof en reageren ze positief op het calcium in de kalksoorten. In de polder zijn proeven gedaan om wormen te bestrijden met kalkmeststoffen. Volgens PPO-onderzoeker Ester is gebleken dat de activiteit van de wormen stijgt naarmate de kalkmeststof een hoger percentage calcium bevat. Bij een hoog niveau van bekalken kan dit echter ook leiden tot overmaat, waarbij wormen dood gaan (Oogst, 2002).

Tabel 5.1: 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	Opbrengst t ds/ha	Totaal aantal wormen per m ²
Onbemest	4,1	1,3	110
10 ton Stalmest	5,8	5,8	520
1000 kg Kalkmergel	6,4	1,5	620
700 kg Dolokal	6,4	1,5	740

Calcium-carbonaat-granulaten

Regenwormen produceren calcium-carbonaat-granulaten in gespecialiseerde klieren (Lee e.a., 2008). Alle wormen doen dit, maar *Lumbricus terrestris* doet dit in extreme mate. De functie hiervan is onbekend maar er wordt gesuggereerd dat het een manier is om een overmaat van calcium uit te scheiden, neutralisatie van de pH bij de vertering en/of regulatie van CO₂. Gegevens laten zien dat de granulaten zowel C bevatten uit het voer als uit de lucht.



Zorg voor een goede pH en kalktoestand.

5.4 Gewaskeuze

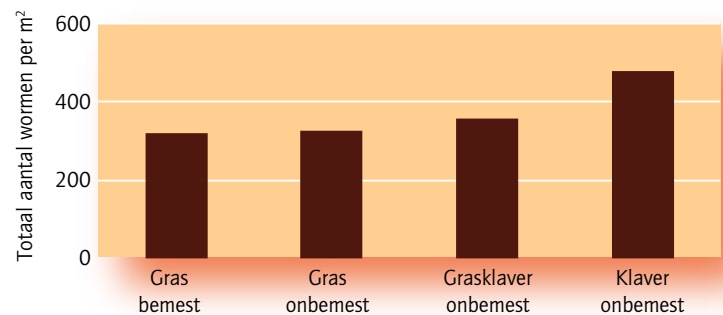
De gewaskeuze bepaalt, door de gewasgroei en gewasresten, de bescherming en de voedselkwantiteit, -kwaliteit en -stabiliteit voor regenwormen. Grasland creëert over het algemeen een heel stabiel milieu voor regenwormen. Bij maïs bepaalt de grondbewerking ook in welke mate gewasresten beschikbaar zijn voor wormen (§ 5.2). In tegelstelling tot snijmaïs zal CCM en korrelmaïs, door het groter aandeel gewasresten, meer kans geven voor wormen.

Gras versus klaver

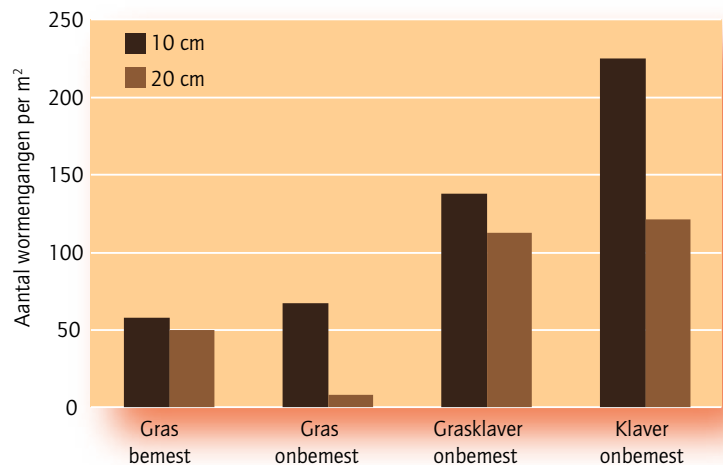
Regenwormen worden positief beïnvloed door de introductie van klaver. Door de stikstofbinding in de wortelknolletjes op de wortels van klaver zijn er veel stikstofrijke gewasresten voor de wormen beschikbaar. In een experiment langs de IJssel was de biomassa van wormen bijna verdubbeld in puur witte klaver ten opzichte van onbemest Engels raaigras (zie figuur 5.9). Hierdoor nam ook het aantal wormengangen onder klaver toe (zie figuur 5.10). Vooral bodembewonende regenwormen profiteren van de stikstofrijke wortelresten van klaver.



Klaver stimuleert met haar stikstofrijke gewasresten regenwormen.



Figuur 5.9: Aantal regenwormen onder puur witte klaver ten opzichte van bemest en onbemest Engels raaigras, en gras witte klaver (van Eekeren e.a., 2009).



Figuur 5.10: Aantal wormengangen onder puur witte klaver ten opzichte van bemest en onbemest Engels raaigras, en gras witte klaver (van Eekeren e.a., 2009).



Zaai na bouwland grasklaver voor een snel herstel van regenwormen.

5.5 Graslandmanagement

5.5.1 Mesthoeveelheid en -soort

Mesthoeveelheden

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. In een bemestingsproef met mestgiften van 50, 100, 200 en 400 ton per ha stalmest en drijfmest nam het aantal wormen tot een gift van 200 ton per ha toe en was er alleen een licht dalende trend bij 400 ton stalmest en drijfmest (Andersen, 1983).

Kunstmest versus organische mest

Ook kunstmeststikstof kan de wormenstand bevorderen. Dit komt door een versnelde afbraak van organische stof en/of door een verhoogde gewasproductie, die uiteindelijk weer tot een toename van gewasresten en voedsel voor wormen leidt. Toch worden er ook negatieve relaties tussen het gebruik van kunstmest en wormen gevonden. In een proef op 2 melkveebedrijven in de Noordelijke Friese Wouden werd bij een hoger bemestingsniveau met kunstmest N (250 kg N per ha versus 0 kg N per ha) een lagere wormendichtheid gevonden (de Goede e.a., 2003). In een bemestingsproef op grasland in Bakel hadden de organische mestsoorten een hogere wormenactiviteit dan de kunstmest variant (van Eekeren e.a., 2009). De verklaring voor het verschil in wormen onder kunstmest en organische mest lijkt op de eerste plaats te maken te hebben met het verzurende effect van kunstmest (Ma e.a., 1990), en het juist basische effect van organische mest. Het verzurende aspect van kunstmest hangt sterk af van de soort kunstmest. KAS werkt nagenoeg niet verzurend en zwavelzure ammoniak is juist sterk verzurend. Zwavelzure ammoniak wordt ook wel voor sportvelden aangeraden om de wormenaantallen te verminderen. Een tweede negatief effect van kunstmest kan eventueel zoutschade zijn. In de Flevopolder zijn proeven gedaan om hoge populaties van bodembewonende wormen uit te dunnen. Hiervoor was echter meer dan 2000 kg landbouwsout per ha

nodig. Dat staat niet in verhouding tot de gebruikte kunstmestniveaus op grasland in Nederland. Mogelijk speelt zoutschade wel voor de strooiselbewonende wormen.

Organische mestsoort

Verskil tussen het effect van verschillende organische mestsoorten op het aantal wormen lijkt voor grasland, met de hoge aanvoer uit gewasresten, minder bepalend (van Eekeren e.a., 2009). Wel hebben organische mestsoorten effect op de soortensamenstelling. Vaste mestsoorten stimuleren strooiselbewonende wormen (van Eekeren e.a., 2009) en pendelaars (Edwards en Lofty, 1982) t.o.v. bodembewonende wormen. Dit is niet verwonderlijk omdat strooiselbewonende wormen en pendelaars juist wat grover organische resten van de bovengrond eten. Drijfmest stimuleert, net zoals stikstofrijke wortelresten van klaver, bodembewonende regenwormen.

Bedrijfseigen mesteffect

Recent onderzoek op melkveebedrijven op zand- en veengrond laat zien dat het bodemleven zich aanpast aan de mestsoort op een bedrijf. Dit betekent dat op een bedrijf dat altijd drijfmest gebruikt, het bodemleven er langer over doet om vaste mest af te breken in vergelijking met een bedrijf dat altijd al vaste mest heeft gebruikt. Vergelijk het met de pens van een koe die zich ook moet aanpassen als er een ander rantsoen gevoerd wordt. Hoe lang deze aanpassing duurt, zal te maken hebben met het verschil in mestsoort en kwaliteit. Het lijkt erop dat op een bedrijf dat altijd drijfmest heeft gebruikt, het wel 3 jaar kan duren voordat de vaste mest optimaal wordt afgebroken (Rashid e.a., 2013).

5.5.2 Mesttoedieningstechniek

Mogelijk schade

Schade van mesttoedieningstechniek aan regenwormen zou door de volgende mechanismen en combinaties daarvan kunnen optreden:

- Snijdende werking bij zodenbemesten waardoor wormen worden doorgesneden;
- Giftige stoffen in drijfmest zoals ammoniak, fenolen of sulfaatverbindingen die wormen doden;
- Tijdelijke zuurstofarme omstandigheden in de grond;
- Trillingen van de machine waardoor wormen naar boven worden gedreven en daardoor blootstaan aan licht, predatoren en/of giftige stoffen in drijfmest;
- Rijdschade en structuurbederf waardoor wormen worden gedood.

Bovengronds versus zodenbemesten

In een vergelijkend onderzoek op 12 melkveebedrijven in Friesland hadden bedrijven met zodebemesting significant minder strooiselbewoners, maar juist meer pendelaars in vergelijking tot bedrijven die bovengronds uitrijden (zie tabel 5.2). Dat er met zodenbemesten minder strooiselbewoners zijn lijkt logisch omdat deze 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 deze wormen uniek zijn wat betreft functie in de bodem.

In hetzelfde Friese onderzoek was er 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. Vervolgonderzoek in Friesland liet zien dat schade aan wormen door mesttoedieningstechniek ook heel weersafhankelijk is. Juist onder natte omstandigheden gaf bovengronds uitrijden meer schade aan strooiselbewoners dan zodenbemesten (van Vliet en de Goede, 2006).

Onderzoek in Duitsland naar uitrijden van drijfmest (enkel bovengronds) laat resultaten zien van het uitdrijven van wormen van 1-6 % bij 25 m³ drijfmest per ha en 11-23% bij 75 m³ drijfmest per ha. Ook hier waren het met name de strooiselbewonende wormen die werden uitgedreven. Ondanks deze uitdrijving was het wormenaantal na 5 jaar (bovengronds) uitrijden van drijfmest stabiel hoog (Bauchhenß, persoonlijke communicatie).

Tabel 5.2: Regenwormaantallen en soorten in de laag 0-20 cm bij zodenbemesten en bovengronds mest uitrijden (de Goede e.a. 2003)

Regenwormen	Bovengronds (5 bedrijven)	Zodenbemesten (9 bedrijven)
Totaal aantal wormen per m²	478	642
Strooiselbewoners ¹⁾	14%	4%
Bodembewoners ¹⁾	82%	96%
Pendelaars ¹⁾	4%	10%

¹⁾ Percentage van volwassen wormen

Bedrijfseffect

Net zoals bij de mestsoort past een wormenpopulatie zich hoogstwaarschijnlijk aan aan de manier van uitrijden. Op percelen waar altijd zodenbemesting heeft plaatsgevonden is de wormenpopulatie hoogstwaarschijnlijk "aangepast" aan zodenbemesten (bijvoorbeeld minder strooiselbewoners en meer pendelaars) en zal het eventueel effect hiervan op soortensamenstelling minder duidelijk zijn dan in een perceel waar nooit zodenbemesten is toegepast.

5.5.3 Mestbewerking

Toevoegmiddelen

In een vergelijkend experiment op 12 Friese melkveebedrijven was het aantal wormen door de mesttoevoegmiddelen, Euromestmix en Effectieve Micro-organisme, niet toegenomen (zie tabel 5.3). Bij de bedrijven die Euromestmix gebruikten was 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 e.a., 2003).

Mestscheiding

Mestscheiding van drijfmest wordt steeds meer toegepast op melkveebedrijven. Hierbij komt ook de vraag uit de praktijk of de dikke fractie niet kan worden ingezet in natuurgebieden ter vervanging van vaste mest. Er zijn verschillende initiatieven in weidevogelgebieden waarin dit wordt onderzocht. De dikke fractie van drijfmest is dan wel droger, maar het is maar de vraag of dikke fractie niet net de strokwaliteit van vaste mest mist, waar strooiselbewonende wormen en pendelaars juist graag op foerageren. In Friesland loopt dan ook een proef waarbij dikke fractie en stro wordt gemengd tot een verhouding van 1:3 (www.Skalsumernatuurbeheer.nl).

Na vergisting

Onderzoek in Duitsland laat zien dat drijfmest na vergisting meer uitdrijving van regenwormen laat zien bij bovengronds uitrijden dan dezelfde drijfmest direct uit de opslag (Bauchhenß, persoonlijke communicatie).

Tabel 5.3: Regenwormaantallen en soorten in de laag 0-20 cm bij mesttoevoegmiddelen (de Goede e.a., 2003)

Regenwormen	Zonder (3 bedrijven zodenbemesten, 1 bedrijf bovengronds)	Euromestmix (4 bedrijven bovengronds)	Effectieve microben (4 bedrijven zodenbemesten)
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

5.5.4 Weiden versus maaien

De keuze voor beweiden of maaien heeft invloed op regenwormen via bovengrondse en ondergrondse gewasresten, mestflatten en al dan niet rij- of vertrappingsschade (zie § 5.5.5).

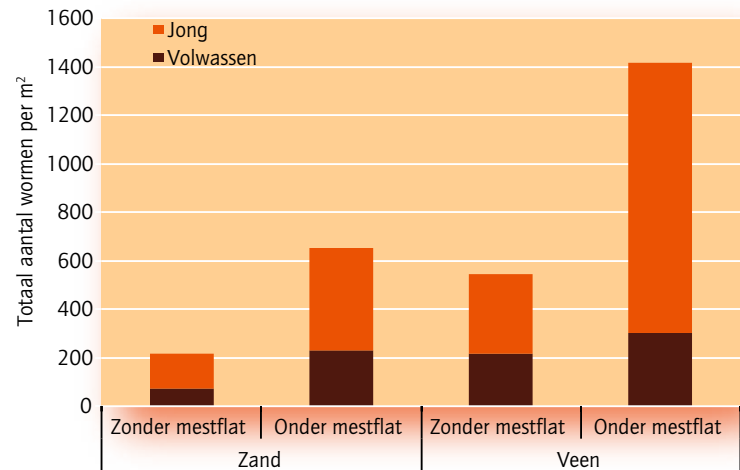
Maai- en beweidingsverliezen

Met beweiden zijn de verliezen van gewas over het algemeen hoger dan bij maaien. Hogere beweidingsverliezen zijn in principe niet gunstig voor de benutting van het grasland maar betekenen wel voer voor regenwormen. Ook bloten van een graslandperceel levert voer op voor regenwormen. Het is algemeen bekend dat gras in plantsoenen, waar grasresten na het maaien worden teruggebracht, veel wormen bevatten.

Naast de kwantiteit heeft het systeem van weiden en maaien ook invloed op de kwaliteit en structuur van de gewasresten. 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” grover en rijker zijn aan koolstof.

Mestflatten

Wormen zijn in Nederland heel belangrijk voor de afbraak en het transport van mestflatten naar de bodem. Vice versa zijn mestflatten een geweldige broedplaats voor regenwormen. De toename aan jonge wormen onder mestflatten is zo sterk dat het niet alleen migratie van wormen betreft, maar dat de mestflat ook een broedplaats is voor jonge wormen (figuur 5.11). De mestflatten vormen namelijk een isolatielaag waaronder de bodem vochtig blijft en de temperatuur niet te hoog wordt – prima omstandigheden voor wormen. Met de mestflatten is weidegang dus een geweldige stimulans voor regenwormen.



Figuur 5.11: Uit onderzoek in Noord-Brabant en het westelijk veenweidegebied blijkt dat het aantal wormen onder mestflatten gemiddeld verdrievoudigt en op veengrond nog sterker toeneemt dan op zandgrond. Op één bedrijf was het aantal wormen zelfs vervijfvoudigd: van 8 naar 40 onder het oppervlakte van een mestflat! Omgerekend is dit een toename van 400 wormen per m² naar 2000 per m² (Versteeg e.a., in voorbereiding).



Een mestflat is een “snackbar” voor regenwormen en weidevogels.

5.5.5 Rij- en vertrappingsschade

Aan de ene kant spelen wormen een belangrijke rol om de grond losser te maken. Aan de andere kant kost het wormen ook energie om zich te handhaven in een sterke verdichte bodem. Voorkomen van verdichting is dan ook de belangrijkste boodschap.

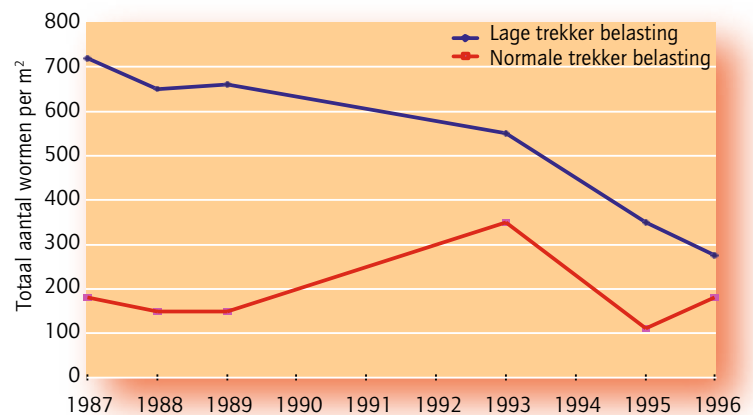


Een éénmalige verdichting met zodebemesting op Aver Heino liet op de korte termijn een negatief effect zien op de aantallen regenwormen (de Boer en van Eekeren, 2007).

Verdichting

Het effect van verdichting op regenwormen is wisselend en lijkt niet alleen veroorzaakt te worden door de verdichting van de grond op zichzelf maar ook door het effect van verdichting op andere bodemparameters (o.a pH). Langjarig onderzoek (3 jaar) in Duitsland naar een frequente verdichting (5x per jaar) op grasland liet echter geen effect op het wormenbestand zien (Diepolder e.a., 2005). Op een Noors proefbedrijf is in een vruchtwisselingsexperiment met akkerbouwgewassen en gras/klaver kunstweiden gekeken naar het effect van twee intensiteiten van tractor-verkeer ('laag' en 'normaal') op de regenwormendichtheid. Het verschil tussen 'normaal' en 'laag' tractor-verkeer bedroeg op jaarbasis 5x berijden met de trekker. Tijdens het experiment over een periode van 9 jaar daalde het aantal wormen (zie figuur 5.12). Tegelijkertijd met de proef daalde echter 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 de combinatie van verzuring van de bodem en de verdichting door tractorverkeer oorzaak waren van de teruglopende hoeveelheid regenwormen op deze lemige zandgrond (Hansen en Engelstad, 1999).



Figuur 5.12: Verandering in wormendichtheid bij 2 tractorverkeers-intensiteiten 'laag' en 'normaal' (Hansen en Engelstad, 1999).

5.6 Landschapselementen

In vergelijking met andere landgebruikstypes (akkerbouw maar ook bos) is het aantal soorten regenwormen onder gras (melkveehouderij, half natuurlijke grasland en parken) het hoogst (Rutgers e.a., 2009). Afhankelijk van het bouwplan op een melkveebedrijf (het % maïs), en de frequentie van graslandvernieuwing kan er verschraling van soortensamenstelling van regenwormen optreden. In continu bouwland komen vaak nog enkel bodembewonende wormen voor. Door bouwland af te wisselen met grasland kan het aantal soorten weer toenemen. Met name pendelende regenwormen staan bij bouwland met kerende grondbewerking onder druk. Een grasstrook of slootrand met permanent gras kan deze wormensoorten in stand houden. Ook andere landschapselementen als bomen langs percelen kunnen een populatie pendelende wormen in stand houden door de aanvoer van voeding via de bladeren in de herfst.



Landschapselementen, zoals bijvoorbeeld een houtwal, zijn belangrijk om de diversiteit aan wormensoorten op een bedrijf te handhaven.



Mulchen van het schouwpad lands watergangen stimuleert een andere diversiteit aan regenwormen.



Bij de beoordeling van een perceel op aantallen en soorten wormen is het ook interessant om eens te kijken hoeveel wormen en soorten in de rand van het perceel aanwezig zijn.

5.7 Introductie door enten

Enten algemeen

Als wormen niet aanwezig zijn kunnen ze ook geïntroduceerd worden. In het verleden is dit bijvoorbeeld gebeurd na de inpoldering van Flevoland. Hier zijn met name strooisel- en bodembewonende wormen geïntroduceerd door het opbrengen van grasplaggen met regenwormen. Zoals aangegeven in hoofdstuk 4 zijn op de meeste melkveebedrijven wel strooisel- en bodembewonende wormen aanwezig. Op veel melkveebedrijven ontbreken echter juist de pendelende wormen (zie tabel 4.1). Mogelijk zouden deze door enten kunnen worden geïntroduceerd.

Omstandigheden

Voordat er met introductie van pendelaars wordt begonnen is het goed te analyseren waarom er op een perceel geen pendelaars aanwezig zijn. Ligt dit aan het management (bijvoorbeeld intensieve grondbewerking), of is de pH te laag of de grondwaterstand te hoog. Bijvoorbeeld vanwege de hoge grondwaterstand op veen, komen hier geen pendelaars voor en heeft het dus weinig zin om ze te introduceren.

Enten pendelaars

Voor het introduceren van pendelaars is de methode van grasplaggen steken minder geschikt omdat pendelaars vaak niet in de toplaag zitten en hiermee dus geen pendelaars worden geïntroduceerd. Om zeker te zijn dat er pendelaars worden geïntroduceerd is het dus beter om gericht pendelaars op grasland te vangen of aan te kopen. Het meest praktische om pendelaars te vangen is ze 's nachts met een zoeklamp te rapen als ze boven komen (eventueel de lichtbundel iets afgedekt met een pantykous). Aangezien pendelaars moeilijk te kweken zijn, zijn de pendelaars die je kunt kopen vaak geïmporteerd uit Canada waar ze ook worden geraapt. *Lumbricus terrestris* uit Canada kosten 8 eurocent per worm inclusief transport (google op 'Canadian nightcrawler' voor adressen). Aangezien met deze wormen mogelijk ongewenste organismen mee komen, heeft het de voorkeur om pendelaars met beleid lokaal te vangen. Let op: ook pendelaars die je in Nederland op internet bestelt, hebben vaak hun oorsprong in Canada. Bij het

uitzetten van wormen is het belangrijk dat het weer zo gunstig mogelijk is (niet te warm en niet te koud en bij voorkeur nat) en heeft het voorjaar of herfst de voorkeur. Zorg ook voor zo min mogelijk predators als mollen, vogels maar ook dassen. Om de te introduceren pendelaars te beschermen tegen het weer en predators dienen ze afdekt te worden met een omgekeerde grasplag of compost of vaste mest of nat hooi.



Een van de problemen bij het enten van pendelaars is de bescherming in de eerste kolonisatiefase. De pendelaar moet zijn gang maken. In de Hoekse waard vindt op het moment een experiment plaats waarin gaten in de grond zijn gemaakt met een palenboor van 40-50 cm diepte. In deze gaten zijn 20 pendelaars uitgezet nadat de grond en wormen waren nat gemaakt. De gaten zijn opgevuld met losse grond (Joana Frazao, persoonlijke communicatie).

Earthworm Inoculation Unit (EIU)-methode

Dit is de meest succesvolle methode tot nu toe voor de introductie van pendelaars, maar nog erg onpraktisch en tijdrovend. Pendelaars worden vermeerderd in een langwerpige plastic zak. De zakken bevatten grond, voedsel en een beginpopulatie van volwassen regenwormen. Ten slotte wordt de grond uit de plastic zak, met zo min mogelijk verstoring, in het veld geplaatst. Het voordeel van deze methode is dat er verschillende levensstadia kunnen voorkomen (inclusief cocons) en de wormen beschermd zijn. De EIU-methode is gepatenteerd (GB2 240 456B) (Butt e.a., 1997).

Literatuur

- Andersen, N.C., 1983. Nitrogen turnover by earthworms in arable plots treated with farmyard manure and slurry. In: Satchell, J.E. (Eds.), *Earthworm Ecology: from Darwin to Vermiculture*, pp. 67-85. Chapman and Hall, London.
- Bouché, M. B., Al-Addan, F., 1997. Earthworms, water infiltration and soil stability: some new assessments. *Soil Biol. Biochem.* 29, 441-452.
- Butt, K.R., Frederickson, J., Morris, R.M., 1997. The Earthworm Inoculation Unit technique: An integrated system for cultivation and soil-inoculation of earthworms. *Soil Biol. Biochem.* 29:251-257.
- Clements, R.O., Murray, P.J., Sturdy, R.G., 1991. The impact of 20 years' absence of earthworms and three levels of N fertilizers on a grassland environment. *Agric. Ecosyst. Environ.* 36, 75-85.
- De Boer, H., Van Eekeren, N., 2007. Bodemverdichting door berijden bij zodebemesten: effecten op opbrengst en voederwaarde van gras-klover, bodemstructuur en biologische bodemkwaliteit. Rapport nr. 47, ASG-WUR, Lelystad, 20 pp.
- De Goede, R.G.M., Brussaard, L., Akkermans, A.D.L., 2003. On-farm impact of cattle slurry manure management on biological soil quality. *Neth. J. Agric. Sci.* 51, 103-133.
- Deru, J., Van Eekeren, N., Kloen, H., Dijkman, W., Van den Akker, J., De Goede, R., Schouten, T., Rutgers, M., Smits, S., Jagers op Akkerhuis, G., Dimmers, W., Keidel, H., Lenssinck, F., Bloem, J., 2012. Bodemindicatoren voor duurzaam bodemgebruik in de veenweiden: Ecosysteemdiensten van Landbouw- en natuurpercelen in het veenweidegebied van Zuid-Holland, Noord-Holland en Utrecht. Deel A: Onderzoeksrapportage. Rapport 2012-005 LbD. Louis Bolk Instituut, Driebergen. 115 p.
- Diepolder, J., Schröpel, R., Brandhuber, R., Bauchhenß, J., Jacob, B., 2005. Wie wirkt sich zunehmende mechanische Belastung im Intensivgrünland aus? Sub Heft 8-9/05.
- Dominiguez, J., Bohlen, P.J., Parmelee, R.W., 2004. Earthworms increase nitrogen leaching to greater soil depths in row cropping agroecosystems. *Ecosystems* 7, 672-685.
- Edwards, C.A., Bohlen, P. J., 1996. *Biology and Ecology of Earthworms*, 3rd edn., Chapman and Hall, London, 426 pp.
- Edwards, C.A., Lofty, J.R., 1982. Nitrogenous Fertilizers and earthworm populations in agricultural soils. *Soil Biol. Biochem.* 14, 515-521.
- Griffith, B., Türke, M., Weisser, W.W., Eisenhauer, N., 2013. Herbivore behavior in the anecic earthworm species *Lumbricus terrestris* L.? *Eur. J. Soil Biol.* 55, 62-65
- Haria, A.H., 1998. Impact of the New Zealand flatworm (*Artoposthia triangulate*) on soil structure and hydrology in the UK. *Sci. Total Environ.* 215, 259-265.
- Hoogerkamp, M., Rogaar, H., Eysackers, H.J.P., 1983. Effects of earthworms on grassland on recently reclaimed polder soils in the Netherlands. In: Satchell, J.E. (Eds.), *Earthworm Ecology: from Darwin to Vermiculture*, pp. 85-105. Chapman and Hall, London.
- Ma, W.C., Brussaard, L., De Ridder, J.A., 1990. Long-term effects of nitrogenous fertilizers on grassland earthworms (*Oligochaeta*, *Lumbricidae*) and their relation to soil acidification. *Agric. Ecosyst. Environ.* 30, 71-80.
- Mackay, A.D., Syers J.K., Springett J.A., Gregg P.E.H., 1982. Plant availability of phosphorus in superphosphate and a phosphate rock as influences by earthworms. *Soil Biol. Biochem.* 14, 281-287.
- Marinissen, J.C.Y., 1995. Earthworms, soil-aggregates and organic matter decomposition in agro-ecosystems in The Netherlands. Proefschrift Wageningen Universiteit.
- Lawrence, A.P., Bowers, M.A., (2002. A test of 'hot' mustard extraction method of sampling earthworms. *Soil Biol. Biochem.* 34, 549-552.
- Lee, M.R., Hodson, M.E., Langworthy, G.N., 2008. Crystallization of calcite from amorphous calcium carbonate: earthworms show the way. *Mineralogical Magazine* 72, 257-261.
- Lubbers, I.M., Van Groenigen, K.J., Fonte, S.J., Six, J., Brussaard, L., Van Groenigen, J.W., 2013. Greenhouse-gas emissions from soils increased by earthworms. *Nature Climate Change* 3 ,187–194
- Oogst, 2002. Lichtpuntjes in wormenstudie. Oogst landbouw - 15 maart.
- Pfiffner, L., 2014. *Earthworms-Architects of fertile soil.* Factsheet FiBL: 1-9, Frick, Switzerland.
- Piek H., Van Slogteren, H., Van Heijst, N., 1998. Herstel van verzuurde hooilanden in De Wieden. *Levende Natuur* 7, 283-288.
- Rashid, M.I., De Goede, R.G.M., Brussaard, L., Lantinga, E.A., 2013. Home field advantage of cattle manure decomposition affects the apparent nitrogen recovery in production grasslands. *Soil Biol. Biochem.* 57, 320-326.
- Rutgers, M., Dirven-Van Breemen, L., 2012. Een gezonde bodem onder een duurzame samenleving. RIVM Rapport 607406001.
- Rutgers, M., Mulder, C., Schouten, A.J., Bloem, J., Bogte, J.J., Brussaard, L., De Goede, R.G.M., Faber, J.H., Jagers op Akkerhuis, G.A.J.M., Keidel, H., Korthals, G.W., Smeding, F.W., Ter Berg, C., Van Eekeren, N., 2008. Soil ecosystems profiling in the Netherlands with ten references for biological soil quality. RIVM Report 6076040009/2008, Bilthoven, the Netherlands, 86 pp.
- Springett, J.A., 1985. Effect of *Allophora longa* Ude on root distribution and some soil properties in New Zealand pastures. In: Fritter, A.H., Atkinson, D., Read, D.J., Usher, M.B. (Eds.), *Ecological Interactions in Soil*. Blackwell Oxford, pp. 399-405.
- Syers, J.K., Springett, J.A., 1983. Earthworm ecology in grassland soils. In: *Earthworm ecology: from Darwin to vermiculture*. Satchell, J.E (Eds.) Chapman and Hall. London: pp 67-105.
- Van Eekeren, N., Murray, P., Smeding, F., 2007. Soil biota in grassland, its ecosystems and the impact of management. In: De Vliegheer, A., Carlier, L. (Eds.) *Permanent and Temporary Grassland Plant, Environment and Economy. Grassland Science in Europe Volume 12*, 247-258.
- Van Eekeren, N., Bommelé, L., Bloem, J., Rutgers, M., de Goede, R., Reheul, D., Brussaard, L., 2008. Soil biological quality after 36 years of ley-arable

cropping, permanent grassland and permanent arable cropping. Appl. Soil Ecol. 40, 432-446.

Van Eekeren, N., De Boer, H., Bloem, J., Schouten, T., Rutgers, M., De Goede, R., Brussaard, L., 2009a. Soil biological quality of grassland fertilized with adjusted cattle manure slurries in comparison with organic and inorganic fertilizers. Biol. Fert. Soils 45, 595-608.

Van Eekeren, N., Van Liere, D., De Vries, F., Rutgers, M., De Goede, R., Brussaard, L., 2009b. A mixture of grass and clover combines the positive effects of both plant species on selected soil biota. Appl. Soil Ecol. 42, 254-263.

Van Vliet, P.C.J., De Goede, R.G.M., 2006. Effects of slurry application methods on soil faunal communities in permanent grassland. Eur. J. Soil Biol. 42, S348-S352.

Wansink, D.E.H., 1993. Kansen voor de Gooise das?: Een onderzoek naar de populatieontwikkeling, het habitatgebruik en het dieet van een dassenpopulatie bij Hollandse Rading. Utrecht: Wetenschapswinkel Biologie P-UB-95-08, 69 pp.

Voisin, A., 1960. Better grassland sward: ecology, botany, management, 341 pp.

Whalen, J.K., Parmelee, R.W., 2000. Earthworm secondary production and N flux in agroecosystems: a comparison of two approaches. Oecologia 124, 561-573.

Wolfarth, F. Schrader, S., Oldeburg, E., Weinert, J., Brunotte, J., 2011. Earthworms promote the reduction of Fusarium biomass and deoxynivalenol content in wheat straw under field conditions. Soil Biol. Chem. 43, 1858-1865.

Wymenga, E., Alma, R., 1998. Onderzoek naar de achteruitgang van weidevogels in het natuurrecreatie De Gouden Bodem. A&W-rapport 170 Altenburg&Wymenga ecologisch onderzoek bv, Veenwouden.

Zaller, J.G., Wechselberger, K.F., Gorfer, M., Hann, P., Frank, T., Wanek, W., Drapela, T., 2013. Subsurface earthworm casts can be important soil microsites specifically influencing the growth of grassland plants. Biol. Fert. Soils 49, 1097-1107.

Maatregelen op een rij

Factoren en maatregelen die regenwormen beïnvloeden.

		Totaal wormen	Strooisel- bewoners	Bodem- bewoners	Pendelaars
Landgebruik (§ 5.2)	Grasland vs bouwland	+++	+++	+	++
	NKG vs ploegen	+	+	0	+
pH (§ 5.3)	Hoog vs laag	++	++	++	++
Gewaskeuze (§ 5.4)	Korrelmais vs snijmaïs	+	+	0	0
	Grasklaver vs gras	++	0	++	0
Management (§ 5.5)	Mesthoeveelheid hoog vs laag	+	+	+	+
	Organische vs kunstmest	+/-0	+/-0	+/-0	+/-0
	Vaste mest vs drijfmest	0	+	-	+
	Bovengronds vs zodenbemesten	0/-	+	-	-
	Beweiden vs maaien	+	+	0	0



Regenwormen op het melkveebedrijf

Regenwormen zijn met het blote oog het meest zichtbare onderdeel van het bodemleven en maken $\pm 15\%$ uit van de totale biomassa van het bodemleven onder grasland. Op een melkveebedrijf zijn regenwormen belangrijk voor de afbraak van organische stof, het beschikbaar maken van nutriënten, behoud van bodemstructuur, menging van gronddeeltjes, waterinfiltratie, beworteling en uiteindelijk gewasopbrengst. Deze brochure geeft een handreiking voor het herkennen, benutten en managen van deze ondergrondse biodiversiteit op een melkveebedrijf.